النبات العام

دكتور
محمد عبد الرسول
أستاذ النبات المتفرغ
كلية الزراعة - جامعة عين شمس

دكتور
التونى محمد على
أستاذ الأراضى المتفرغ
كلية الزراعة - جامعة عين شمس

حقوق النشر

اسم الكتاب : **النبات العام**
أسماء المؤلفون **أ.د. محمد عبد الرسول**

رقم الإيداع : 99/16947
الترقيم الدولي : 977 – 5991 – 10 – 2

حقوق الطبع والنشر محفوظة لمركز التعليم المفتوح بكلية الزراعة – جامعة عين شمس ، ولا يجوز نشر أي جزء من هذا الكتاب ، أو اختزان مادته بطريقة الاسترجاع أو نقله على أي وجه ، أو بأي طريقة ، سواء أكانت إليكترونية ، أو ميكانيكية ، أو بالتصوير ، أو بالتسجيل ، أو بخلاف ذلك إلا بموافقة الناشر على هذا كتابة ومقدما

المقدمـة

وضـع هـذا الكتـاب بحيـث يرشـد طالـب تحصـيل المعلومـات النباتيـة فـى الجامعـة المفتوحـة إلـى أوفـر البيانـات فـى أوجـز الكلمـات ، فـى جهـد مبـذول مـن المؤلفين ذوى الخبرة الطويلة بداية من النصف الثانى من القرن المنصرم إلـى الآن ، محاولين تقديم مادة علمية حديثة.

إن الهدف الرئيسى لهذا المنهج هو تزويد الطالب وإمتاعه بحصيلة علمية فـى فـروع النبـات المختلفـة مـن النـواحى التركيبيـة ظاهريـة وتشـريحية فضـلاً عـن الإلمـام بالناحيـة التصـنيفية لـبعض النباتـات ذات الأهميـة الاقتصـادية – مـع تزويـد هذا المرجـع بـالنواحى الوظائفيـة للكـائن النبـاتى بدءاً مـن الوحـدة الخلويـة بعضـياتها ووظائفها الحيويـة الدقيقـة والعلاقـات الفسـيولوجية الرئيسـية : بنائيـة وهادمـة ، فضـلاً عن النظم الهرمونيـة فـى الفسـيولوجيا الحديثـة ودورهـا فـى النمـو والتكشـف والأزهـار والاثمار.

يعرض كل ذلك فـى ايجـاز حسـب المجـال المسـموح بـه بـين ضـفتى نهـر المعرفة آملين لطلابنا التوفيق عبر صفحات ذلك المرجع الوجيز وحسن تذوقهم لما هو معروض على تلك المائدة الصغيرة.

وفـى النهايـة نتقدم بالشـكر لكـل مـن عـاون فـى اعـداد هـذا العمـل ونخـص بالذكر أ.د. على رأفت لمراجعته الكتاب ومشاركته فـى اعداد الجزء الخـاص بالبنـاء الضوئى والأشكال الخاصة به.

المؤلفان

مقدمة الطبعة الثانية

استمرار للفائدة المرجاه والهدف من اصدار هذا الكتاب ، فقد تم أنجاز الطبعة الثانية منه لإضافة الجديد من علوم النبات الواسعة وتخطى بعض الأخطاء المطبعية والتنظيمية فى طبعته الأولى ، وتنقيح بعض الأجزاء وتعديل فى بعض الأشكال التوضيحية والمعادلات أعمالاً للفائدة وتبسيطاً للفهم.

وفالنهاية اتذكر بكل التقدير والعرفان استاذنا الراحل الدكتور حسين توفيق الذى شاركنى فى اعداد الطبعة الأولى. كما اتوجه بالشكر إلى كل من ساعدنى فى أخراج هذه الطبعة الجديدة .

دكتور/ محمد عبد الرسول

المحتويات

	الصفحة
أولاً : تشريح النبات	1
الخلية النباتية	7
أولاً: الجدار الخلوى	9
ثانياً: البروتوبلاست	13
ثالثاً : الفجوة العصارية	24
الأنسجة	25
أولاً: الأنسجة الانشائية والمرستيمية	26
ثانياً: الأنسجة المستديمة	29
1- البشرة والبريدرم	34
2- النسيج البارنشيمى	37
3- الأنسجة الميكانيكية	40
4- الأنسجة الوعائية	46
5- الأنسجة الافرازية	56
الجسم الابتدائى	60
- تشريح الجذور الابتدائية	60
- تشريح الأوراق	80
- مقارنة بين التركيب التشريحى لأوراق الفلقتين والفلقة الواحدة	84
الجسم الثانوى	85
النمو الثانوى فى الجذر : المراحل العادية للنمو الثانوى	85
النمو الثانوى فى الساق	88
الحلقات الثانوية	89
الملخص	91
نماذج الأسئلة	94
ثانياً: التركيب التشكلى (المورفولوجى) للنباتاة البذرية	100
أولاً: المجموع الجذرى	104
ثانياً : المجموع الخضرى	107
الساق	107

تحورات الساق 118
البراعم 119
الورقة: مكونات الورقة الخوصية 122
ترتيب الأوراق على الساق 128
تحورات الورقة 131
التشكل الزهرى 134
الأوراق الزهرية غير الأساسية 134
الأوراق الزهرية الأساسية 134
التشريح التقسيمى للزهرة 143
التوجيه الزهرى 143
التناظر الزهرى 148
الترتيب الزهرى 150
أنواع النورات
أولاً: النورات البسيطة غير المحدودة 151
ثانياً: نورات غير محدودة مركبة 154
ثالثاُ : النورات المحدودة 154
التكاثر الزهرى 157
الثمار 167
مقارنة بين ذوات الفلقتين وذوات الفلقة الواحدة 179
بعض الفصائل النباتية الهامة 180
الملخص 192
نماذج أسئلة 195

ثالثاً : فسيولوجيا النبات 199
علاقة النبات بالماء 203
امتصاص النبات للماء 209
فقد الماء من النبات 213
التغذية المعدنية للنبات 215
الانتقال عبر الأغشية 220
الأنزيمات 226
التنفس 231

البناء الضوئى 242
التحولات الغذائية فى الكربوهيدرات 258
التحولات الغذائية فى اللبيدات 261
النمو والتطور النباتى 269
الملخص 298
نماذج الأسئلة 303
بعض التطبيقات العلمية 311

كيف تدرس هذا المقرر

عزيزى الدارس

اتبع الخطوات الآتية فى دراسة هذا المقرر

1. اقرأ الأهداف العامة للمقرر قبل دراسته لتعرف ما يجب أن يكون قادراً على تحقيقه بعد دراستك لهذا المقرر.
2. اقرأ الأهداف الخاصة بكل جزء من أجزاء المقرر قبل دراسته لتتعرف على ما يجب أن تكون قادراً على تحقيقه بعد دراساتك لهذا الجزء.
3. اقرأ كل فقرة داخل الفصل قراءة جيدة ولاتنتقل من فقرة الى أخرى الا بعد التأكد من فهمك لها فهماً جيداً.
4. حاول رسم الأشكال الموجودة بالكتاب داخل كل قسم أكثر من مرة حتى يمكنك أن تتقنها مستخدما القلم الرصاص والممحاة.
5. اقرأ ملخص كل جزء قراءة جيدة.
6. أجب عن الأسئلة التى تلى كل جزء ثم تأكد من صحة إجابتها بالرجوع الى المحتوى العلمى ، واذا أخفقت فى الاجابة على بعض الاسئلة فيمكنك الرجوع الى المحتوى العلمى ودراسته مرة أخرى حتى تتمكن من الاجابة على تلك التساؤلات.
7. بعد التأكد من الاجابة على كافة التساؤلات يمكنك الانتقال الى الجزء التالى لدراسته.

الأهداف العامة للمقرر

عزيزى الدارس

يتوقع بعد دراستك لهذا المقرر أن تكون قادراً على أن :

1. تذكر مكونات الخلية النباتية تحت المجهر الضوئى والألكترونى.
2. تقارن بين أنواع الأنسجة النباتية محدداً وظيفة ومكان كل نسيج منها.
3. تقارن بين نسيج الخشب ونسيج اللحاء.
4. توضح بالرسم تركيب الخلية النباتية تحت المجهر وتركيب الأنسجة النباتية.
5. توضح أنواع الجذور والسيقان والأوراق فى النبات مع ذكر أمثلة لكل نوع.
6. تذكر أنواع الأزهار وأنواع الثمار مع ذكر امثلة لكل نوع.
7. تقارن بين اجزاء نبات ذو فلقة واحدة واجزاء نبات ذو فلقتين.
8. توضح بالرسم تركيب قطاعات عرضية فى السيقان والجذور والأوراق النباتية.
9. توضح أهمية الماء للنبات وآلية أمتصاصه وفقده.
10. تذكر العناصر المعدنية الكبرى والصغرى وأهمية كل منها.
11. تعرف الانزيم وتذكر أنواع الانزيمات فى النبات وعمل كل منها.
12. توضح تفاعلات الضوء وتفاعلات الظلام فى عملية البناء الضوئى.
13. تذكر عوامل النمو فى النبات وتحدد دور كل منها.
14. توضح التحولات الغذائية للمركبات المختلفة فى النبات.
15. تقارن بين الطرق المختلفة لقياس النمو فى النبات.

أولاً: تشريح النبات

الأهـداف

يرجى عزيزى الطالب بعد دراسة هذا الجزء أن تكون قادراً على أن :

1. تحدد الفرق بين الخلية Cell والجسيمات الخلوية Organelles
2. تفرق بين الخلايا حقيقية النواة Eukarytic Cell والخلايا أولية النواة Prokaryotic Cell .
3. ترسم رسماً تخطيطاً لمكونات الخلية النباتية.
4. تحدد تركيب ووظيفة الجدار الخلوى.
5. تفرق بين مكونات الجدار الخلوى: (الصفيحة الوسطى–الجدار الابتدائى–الجدار الثانوى).
6. تحدد المقصود بالنقر Pits .
7. تحدد خصائص النقر البسيطة.
8. تفرق بين النقرة الضحلة والنقرة الغائرة.
9. تحدد خصائص النقر المضفوفة.
10. تحدد تركيب ووظيفة كلا مما يأتى (مع الرسم):
11. النواة.
12. المتوكونريا
13. الريزومات
14. الشبكة الاندوبلازمية
15. البلاستيدات الخضراء
16. أجسام جولجى (الدكتيوزومات).
17. الليسوسومات
18. الأنابيب الدقيقة
19. اللويفات الدقيقة
20. الفجوات العصارية Vaculoes
21. تحدد المقصود بمفهوم النسيج Tissue .
22. تفرق بين النسيج البسيط والنسيج المركب والجهاز النسيجى
23. تذكر أمثلة على وجود الأنسجة المرستيمية

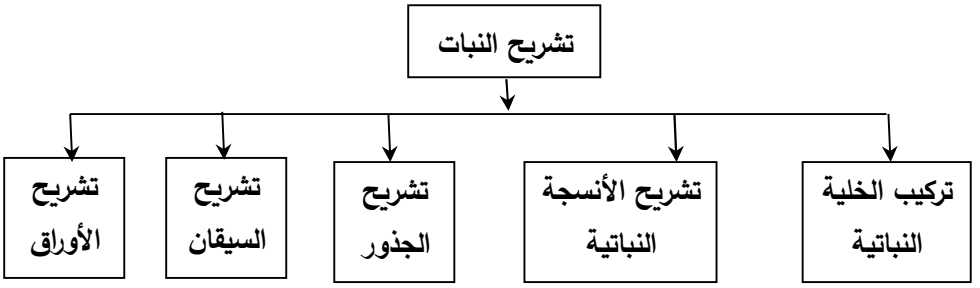
24. تحدد المقصود بالبشرة ووظائفها والمقصود بالثغور Stomata وتركيبها.
25. تفرق بين الثغر النرجسى والثغر النجيلى
26. تحدد أهمية نسيج البريدرم Periderm مع ذكر أمثلة مع الرسم.
27. تحدد تركيب ووظيفة العديسات Lenticles مع الرسم.
28. تذكر أمثلة على وجود الخلايا البارنشيمية وتحدد وظائفها.
29. تحدد تركيب ووظيفة النسيج البارنشيمى الخاص بالبناء الضوئى.
30. تحدد تركيب ووظيفة النسيج البارنشيمى الخازن
31. تحدد تركيب ووظيفة النسيج البارنشيمى الخاص بالتهوية مع الرسم.
32. تحدد تركيب ووظيفة النسيج الكولنشيمى.
33. تحدد توزيع النسيج الكولنشيمى داخل النبات مع الرسم.
34. تحدد مع الرسم صفات الخلايا الكولنشيمية وأنواعها (الركنى- التماسى-الأنبوبى).
35. تفرق بين خلايا كلا من النسيج الكولنشيمى والنسيج الاسكلرنشيمى.
36. تحدد المقصود بالالياف وتوزيعها داخل النبات.
37. تحدد المقصود بالاسكلريدات وأنواعها مع الرسم.
38. تحدد تركيب ووظيفة الأنسجة الوعائية.
39. تحدد مكونات نسيج الخشب.
40. تفرق بين الأوعية والقصيبات فى نسيج الخشب مع الرسم.
41. تفرق بين الخشب الأول والخشب الثانى.
42. تفرق بين أنواع التغليظ فى الجدار الثانوى للأوعية مع الرسم.
43. تحدد مكونات اللحاء ووظيفته.
44. تفرق بين أنواع الحزم الجانبية مع الرسم.
45. تفرق بين أنواع الغدد الداخلية والخارجية.
46. تحدد المقصود بالجسم الابتدائى.
47. تحدد خصائص التركيب التشريحى لجذور ذوات الفلقة الواحدة.
48. تحدد خصائص التركيب التشريحى لجذور ذوات الفلقتين.
49. تقارن بين التركيب التشريحى لجذور ذات الفلقتين والفلقة الواحدة.

50. تحدد خصائص التركيب التشريحى لساق ذوات الفلقة الواحدة.
51. تحدد خصائص التركيب التشريحى لساق ذوات الفلقتين.
52. تقارن بين التركيب التشريحى لساق الفلقتين وساق الفلقة الواحدة.
53. تقارن بين التركيب التشريحى لكل من الجذر والساق.
54. تقارن بين التركيب التشريحى لأوراق الفلقتين والفلقة الواحدة.
55. تحدد المقصود بالجسم الثانوى.
56. ترسم رسماً تخطيطياً لمراحل تغليظ الجذر.
57. ترسم رسماً تخطيطا لمراحل تغليظ السوق.
58. تحدد المقصود بالحلقات السنوية Annual rings.
59. تحدد مكان تكون الحلقات السنوية.
60. تحدد فوائد الحلقات السنوية بالنسبة للنبات.

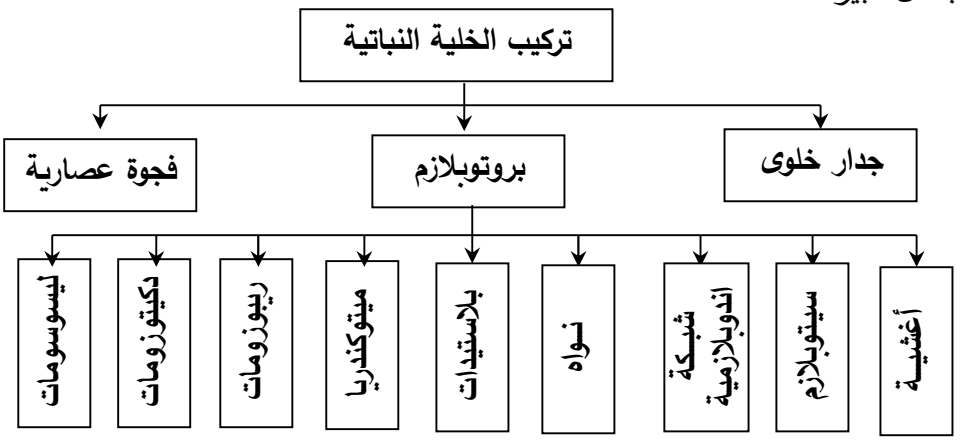
تقديم

ويشمل هذا الجزء الموضوعات الأتية :

أولاً : تشريح النبات Plant anatomy



يرتبط علم تشريح النبات بنشأة وتطور المجهر الضوئي المركب Light Microscope وبتحسن طرق الفحص . ومع التطور المستمر للمجاهر توالت الاكتشافات لمكونات الخلايا المختلفة. كما أدى اختراع المجهر الإلكتروني Electron Microscope إلى الكشف عن جسيمات أدق. كما تجدر الإشارة إلى وجود طرق أخرى عديدة لدراسة الخلايا والأنسجة النباتية أدت إلى تطور هذا العلم بشكل كبير.



الخلية النباتية Plant Cell

عند فحص نسيج نباتى بالمجهر فإننا نلاحظ أنه يتكون من وحدات صغيرة مميزة تمثل كل منها وحدة تسمى الخلية Cell . وبتقدم طرق الفحص المجهرى واختراع المجهر الإلكترونى توالى إكتشاف المحتويات الداخلية للخلايا وملاحظة

جسيمات أدق تركيباً فى داخلها ودراسة تركيب هذه الجسيمات الخلوية Organelles بدقة . ويطلق على خلايا جميع الكائنات الحية عدا البكتريا والطحالب الخضراء المزرقة اسم خلايا حقيقية النواة Eukaryotic Cells واهم ما يميزها احتوائها على الجسيمات الخلوية المختلفة محاطة بأغشية خاصة ويقوم كل منها بوظيفة محددة ومن هذه الجسيمات النواة التى تحتوى على الحمض النووي DNA المسئول عن حمل المعلومات الوراثية كما تحتوى على نوية أو أكثر داخل غشاء محدد هو غشاء النواة أما خلايا البكتريا والطحالب الخضراء المزرقة فيطلق عليها خلايا أولية النواة Prokaryotic Cells وهى بسيط التركيب لا تحتوى على جسيمات خلوية منفصلة تقوم بوظائف خاصة. كما أن المادة الوراثية DNA تتوزع فى الخلية دون أحاطتها بغشاء خاص.

تركيب الخلية النباتية The Structure of plant Cell

تختلف الخلايا النباتية كثيراً من حيث الشكل والحجم والمحتويات والوظيفة وغير ذلك. ويمكن بدراسة تركيب إحدى الخلايا البارنشيمية والتى يمكن أن تحتوى على أكثر من 80% من محتويات الخلايا الحية أن نتفهم تركيب الخلية والتى تمتاز بما يأتى : (شكل 1) .

1- الجدار الخلوي Cell wall

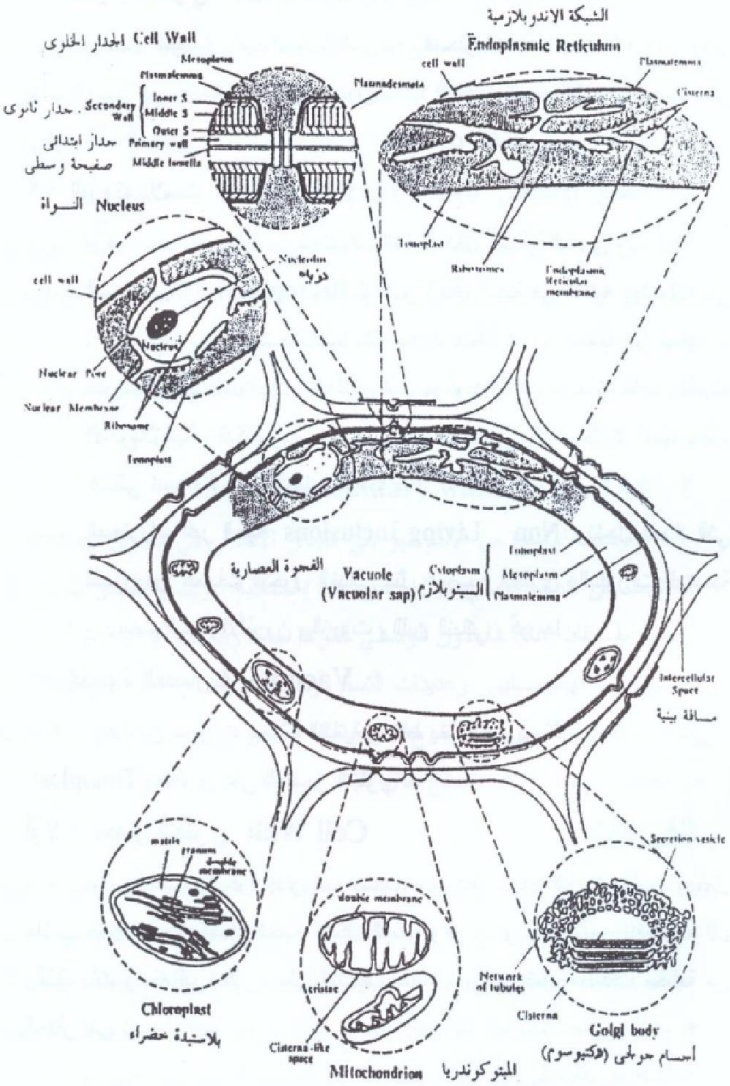
وهو الجدار شبه الصلب الذى يحد المحتويات الداخلية للخلية وهو جدار غير حى ويميز الخلايا النباتية دون خلايا الكائنات الحية الأخرى ويغلب على تركيبه مادة السليلوز.

2- البروتوبلاست Protoplast

وهو اصطلاح يعبر عن محتويات الخلية داخل الجدار الخلوى ويشمل :

أ- **البروتوبلازم Protoplasm** : وهو المادة الحية فى الخلية ويشتمل على السيتوبلازم والأغشية السيتوبلازمية المحيطة به وما يحويه من جسيمات خلوية كالنواه والبلاستيدات والميتوكوندريات والريبوزومات والشبكة الأندوبلازمية والدكتيوزومات والليسوسومات وغيرها وتحاط كل منها بنظام غشائى شبيه بالأغشية السيتوبلازمية.

ب-**المحتويات غير الحية Non living Inclusions** : وتشمل المواد التى تنتج من عمليات التحول الغذائي مثل العصير الخلوي والبللورات المعدنية وحبيبات النشا والألبرون والزيوت واللبن النباتي وغيرها.



(شكل 1) تركيب الخلية النباتية

3- الفجوة العصارية Vaculoe

وهى من مميزات الخلايا النباتية وتحاط بغشاء بروتوبلازمى خاص يسمى Tonoplast وتحتوى على العصير الخلوي.

أولاً : الجدار الخلوى Cell Wall

وهو عبارة عن جدار شبه صلب مرن وهو يغلف البروتوبلاست ويعمل على حمايته وإعطاء الخلية الشكل المميز وهو جدار منفذ يسمح بنفاذ السوائل والذائبات وله قدرة كبيرة على التشرب بالماء . ويمكن تمييز طبقات مختلفة من الجدار هى :

1- الصحيفة الوسطى Middle lamella

وتتكون الصفيحة الوسطى فى الخلايا البالغة من تركيب صلب يتكون أساساً من مركبات بكتينية مثل بكتات الكالسيوم وتكون لها وظيفة لاصقة للخلايا المتجاورة وبالتالى تشترك كل خليتين فى صفيحة وسطى واحدة.

2- الجدار الإبتدائى Primary wall

وهو الطبقة التالية للصفيحة الوسطى وأول جدار يتكون للخلية ويتركب أساساً من السليلوز وبعض المركبات البكتينية ونسب مختلفة من الهيميسليولوز وبعض عديدات التسكر ونسبة عالية من الماء قد تصل إلى حوالى 90% من وزنه وهذا التركيب يجعل هذا الجدار مرن له القدرة على التمدد والزيادة فى المساحة التي تتطلبها المراحل الأولى لنمو الخلية.

3- الجدار الثانوي Secondary wall

وكما يتضح من الاسم فهو يلي الجدار الإبتدائى فى التكوين بعد أن تصل الخلايا إلى الحجم النهائى حيث يتميز عادة بالصلابة. ويتميز الجدار الثانوي إلى ثلاث طبقات غالباً ما تكون الوسطى أكثرها سمكاً ويتركب هذا الجدار أساساً من السليلوز والهيميسليولوز وعديدات التسكر ونسبة ضئيلة من المواد البكتينية. وقد يتشرب بمواد أخرى حسب نوع النسيج مثل اللجنين فى أنسجة الخشب والسوبرين فى الفللين والكيوتين على أسطح خلايا البشرة ونسبة الماء به قليلة.

النقر Pits

مـن المعـروف أن بروتـوبلازم الخلايـا المتجـاورة يتصـل بواسـطة خيـوط سيتوبلازمية دقيقة تعرف بالروابط البلازمية Plasmodesmata قد تتبعثر عبر الجدار وغالباً ما تتجمع فى تجاويف خاصة فى الجدر تسمى النقر Pits. ويعتقد أن هـذه الـروابط البلازميـة تقـوم بنقـل المـواد وتبادلهـا عبـر الخلايـا أو توصـيل التنبيهات الخاصة من خلية إلى أخرى . ويتميز بالخلايا نوعان أساسيان من النقر هما:

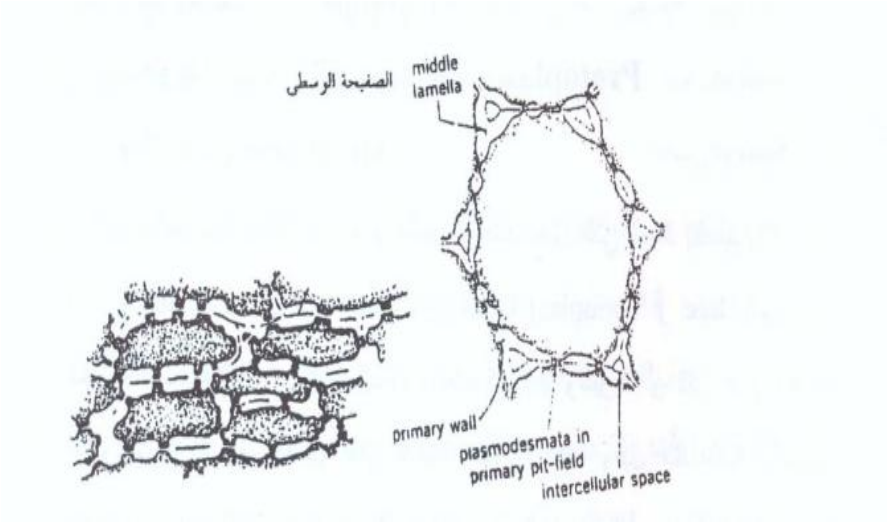
أ- النقر البسيطة Simple Pits

وهى النقر التى لا يتغير قطر فجوتها مع استمرار تغلظ الجدار. وبذلك تبدو فى المنظر السطحى دائرية نتيجة تطابق الفتحة العليا مع الفتحة السفلى للتجويف.

وهناك عدة مظاهر للنقر البسيطة تختلف باختلاف درجة الترسيب . فإذا كان الجدار رقيقاً وبالتالى فإن الترسيب يكون قليلاً ويصبح تجويف النقرة قصيراً وتسمى حينئذ نقرة ضحلة Shallow وتشاهد فى كثير من الخلايا البارنشيمية للنخاع وفى أليـاف اللحـاء وغيرهـا. وفـى حالـة ازديـاد سـمك الجـدار وزيـادة الترسـيب وطـول التجويف تسمى نقرة غائرة Deep مثل الموجودة فى اندوسبرم بذور البلح (شكل 2) .

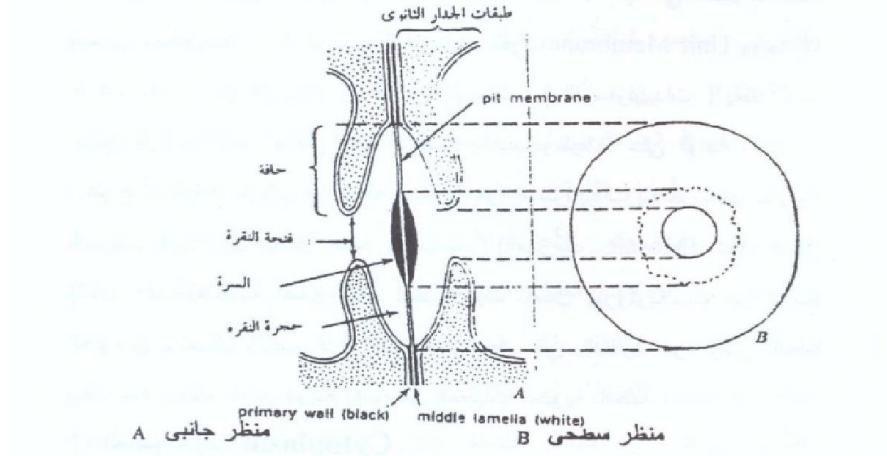
ب- النقر المضفوفة Bordered Pits

يتكون الخشب فى بعض النباتات مثل الصنوبر من وحدات طولية تسمى القصيبات تتصل ببعضها بأزواج نقرية خاصة تسمى النقر المضفوفة. فعند تكون الجدار الثانوى بهذه القصيبات يلاحظ ترسبه بشكل خاص فوق منطقة النقرة وذلك بتكون نتوء حافي مرتفع يأخذ شكل القبة من كل جانب تحصر بداخلها غرفة النقره Pit Chamber وللقبة فتحة خارجية ضيقة نوعاً ما عن الجزء الداخلي الذى يحدده غشاء النقرة (جدار أولى وصفيحة وسطى) والذي يتميز بجزء مغلظ فى وسطه يسمى السرة Torus من مادة اللجنوسليلوز تأخذ شكل قرص ذو مساحة أكبر من فتحة النقرة لذلك فله دور هام فى تنظيم سريان العصارة وعلى هذا فتبدو النقرة المضفوفة فى المنظر السطحى فى شكل دوائر متتالية (شكل 3) .



نقره بسيطة ضحلة **نقره بسيطة غائرة**

(شكل 2) النقر البسيطة



(شكل 3) النقرة المضفوفة

ثانياً : البروتوبلاست Protoplast

أ- المحتويات الحية (البروتوبلازم) Protoplasm

1- الأغشية Memberanes

تتميز الخلايا الحية بوجود نظم غشائية مختلفة مثل التى تحيط بالسيتوبلازم من الخارج Plasmalemma أو الداخل حول الفجوة Tonoplast أو تحيط بالجسيمات الخلوية المختلفة كالنواة والبلاستيدات والميتوكوندريا وغيرها أو التى تميز الشبكة الأندوبلازمية ، وقد استدل على وجود هذه الأغشية وقبل مشاهدتها بالمجهر الإلكترونى عن طريق عدة ملاحظات هامة مثل الخاصية الأسموزية للخلايا الحية وعدم اختلاط محتويات الفجوة بالسيتوبلازم وتم إثبات وجود هذه الأغشية بالرؤية بعد اكتشاف المجهر الإلكتروني. وتتشابه كل هذه الأغشية فى مظهرها تحت المجهر ويطلق على هذا التركيب لفظ غشاء منفرد Unit Membrane ووجد أنه يتركب كيميائياً من البروتين ونوع من اللبيبدات (الفوسفوليبيدات) يعتقد أنهما يترتبا بترتيب خاص يسمح لهذه الأغشية بالقيام بوظيفتها على الوجه الأكمل. ويقترح أن الغشاء يتركب من طبقة مزدوجة من الفسفوليبيدات يتداخل معها كتل من البروتين فى شكل يطلق عليه الفسيسفاء (الموزايك Mosaic) شبه السائل (شكل 4) . وللأغشية أهمية كبيرة للخلية حيث تفصل البروتوبلاست عن الوسط الخارجى وتحيط بالجسيمات المختلفة وتتحكم فى النفاذية من والى الخلية والجسيمات ، كما تعتبر موافع لكثيرمن العمليات الحيوية بالخلية.

2- السيتوبلازم Cytoplasm

وهو عبارة عن المادة البروتوبلازمية الأساسية (طامرة) Protoplasmic Matrix التى تحيط بالنواة وتحمل جسيمات الخلية المختلفة ويمتاز بلزوجته وبالمظهر الحبيبيى لبعض أجزائه . ويحاط السيتوبلازم كما سبق بالأغشية السيتوبلازمية. وقد تتم بعض التفاعلات الحيوية الهامة داخل الطامرة السيتوبلازمية.

ويلاحظ فى الخلايا الحية أن السيتوبلازم فى حركة مستمرة تسمى الحركة أو الأنسياب السيتوبلازمى Cytoplasmic Streaming وقد استدل عليها من ملاحظة انتقال الجسيمات الخلوية الكبيرة كالبلاستيدات داخل الخلية.

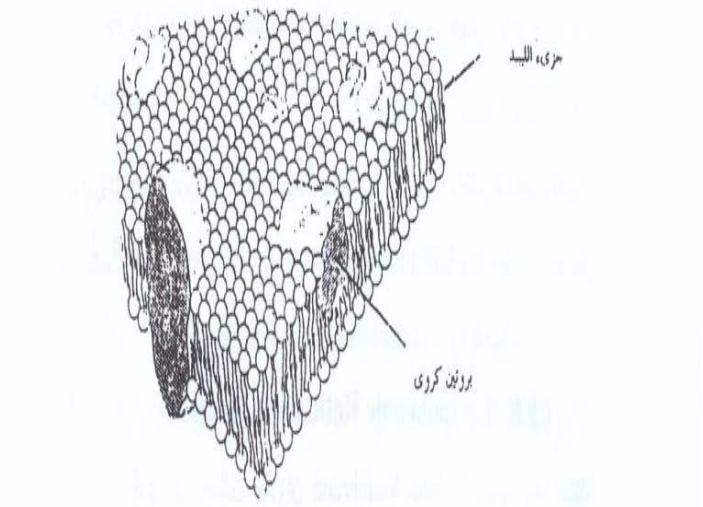
3- الشبكة الأندوبلازمية Endpolasmic Reticulum (ER)

وتتكون من غشائين منفردين 2Units Membrane بينهما مادة سائلة وتظهر الشبكة بشكل أنابيب أو صفائح حسب زاوية الفحص أو قد يتسع الحيز بين غشائيها بشكل حويصلات. وتتصل الشبكة الاندوبلازمية بالغشاء السيتوبلازمى الخارجي (وليس الداخلي) وكذلك بأغشية النواة وبعض الجسيمات الأخرى (شكل 4).

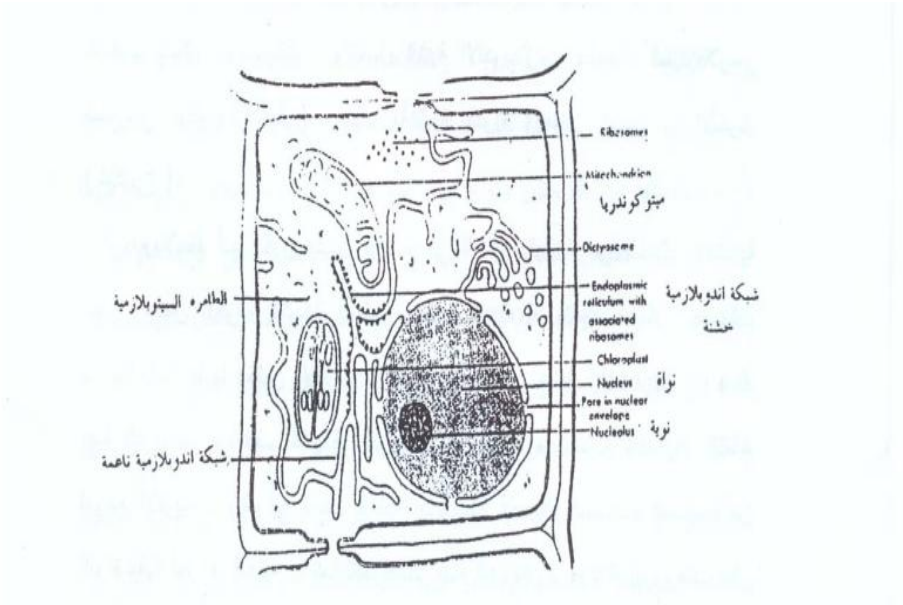
ويلاحظ أنها تكون بشكل واضح فالخلايا البالغة عن الخلايا الإنشائية. تظهر بعض أجزاء الشبكة بمظهر خشن Rough نتيجة تمركز جسيمات الريبوزومات عليها بعكس الأجزاء الاخرى التى تعتبر ملساء Smooth. وهناك عدة اقتراحات لوظائف الشبكة الاندوبلازمية كاعتبارها وسيلة سطحية لانتظام توزيع الإنزيمات والنواتج داخل الخلية أو وسيلة لإيصال التنبيهات الصادرة من النواة لبقية أجزاء الخلية . كما تشترك فى بناء البروتين لوجود الريبوزومات على سطحها. كما أن امتداد الشبكة خلال الروابط البلازمية بين الخلايا Plasmodesmata يرجح إمكانية اشتراكها فى عملية النقل بين الخلايا.

4- النواة Nucleus

وهى أكبر الجسيمات الخلوية. ووجد أن معظم تركيبها (80%-50) من البروتين. وتلعب النواة دوراً هاماً فى الخلية حيث تسيطر على النشاط الحيوي وتلعب الدور الرئيسي فى انقسام الخلية وتحمل الصفات الوراثية المختلفة. ويحد النواة من الخارج غشاء نووي Nuclear Envelope يتركب من زوج من الأغشية المنفردة يتصلا كما سبق بالشبكة الاندوبلازمية ويمتاز بوجود ثقوب Pores بأعداد كبيرة تتميز بتركيب معقد. وداخل الغشاء النووي يوجد البلازم النووي Nucleoplasm والذي يتصل بالسيتوبلازم من خلال معقد الثقوب . ويسبح فى البلازم النووي كتلة الكروماتين(أو الشبكة النووية) وهى عبارة عن الكروموزومات فى حالة عدم انقسام الخلية والتى تتركب أساساً من البروتين والحمض النووي DNA وهو المسئول عن حمل الصفات الوراثية. أيضاً فى داخل البلازم النووي يوجد واحد أو اكثر من جسيمات معتمة تسمى النوية Nucleolus والتى لا تحاط بأغشية خاصة وتبدو مكونة من جزئين أحدهما ليفي الشكل والأخر حبيبي. والوظيفة الأساسية للنوية هى تخليق الحمض النووي. وتختفي النوية أو النويات أثناء انقسام الخلية فى نهاية الطور الإبتدائى وفى المراحل النهائية للأنقسام تتكون مرة أخرى.



(شكل 4) نموذج الفسيفساء شبه السائل لوحدة الغشاء
Fluid Mosaic System



(شكل 5) السيتوبلازم والشبكة الأندوبلازمية

5- البلاستيدات Plastids

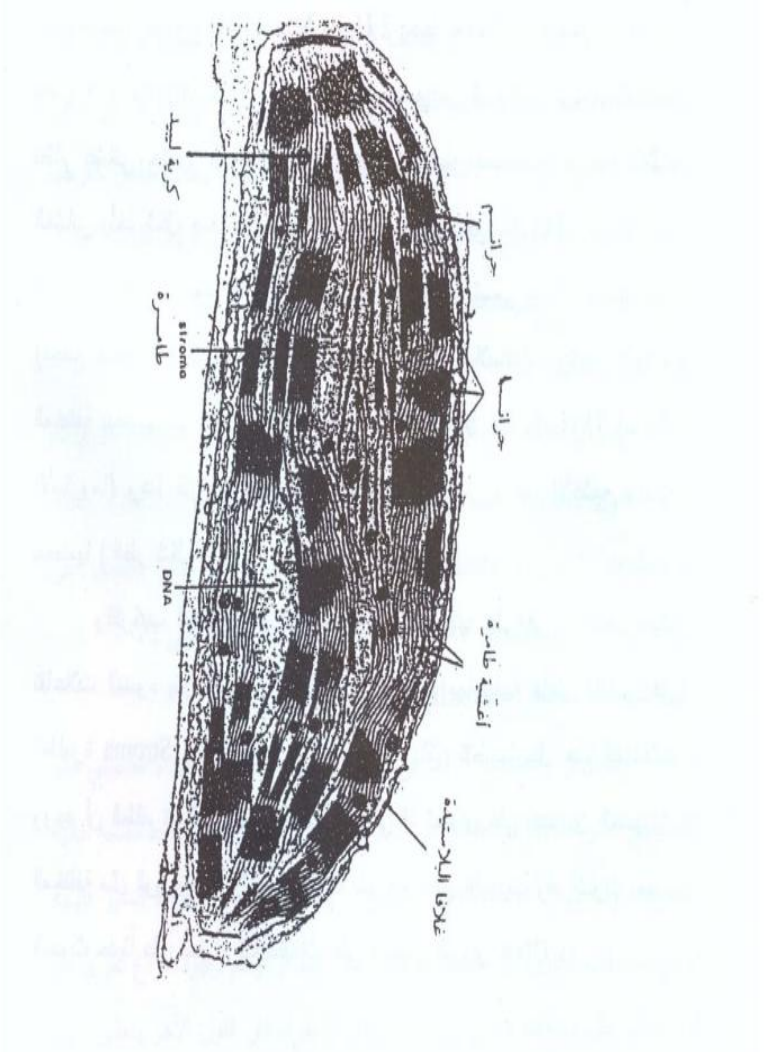
وهى جسيمات بروتوبلازمية واضحة ذات تركيب ووظائف محددة. وبعض النباتات الأقل رقياً قد تخلو من البلاستيدات كما فى حالة الفطر والبكتريا أو قد تحتوى خلاياها على عدد محدود منها يتراوح بين واحدة واثنتين فى كل خلية كما فى كثير من الطحالب. ولكن فى النباتات الراقية يحتوى البروتوبلاست على العديد من البلاستيدات قد يصل إلى عشرون بلاستيدة أو أكثر فى الخلية الواحدة . وتعتبر البلاستيدات إحدى مميزات الخلايا النباتية وتخلو منها الخلايا الحيوانية.

وتتميز البلاستيدات فى النباتات الراقية بتنوع كبير فى أشكالها وألوانها وفى تركيبها ووظائفها ولكن يمكن لكل نوع أن يتحول إلى الأنواع الأخرى فى غالبية الأحيان . والبلاستيدات لا تختلط بالسيتوبلازم نتيجة لأحاطتها بغشاء خاص خارجها (غشاء مزدوج) وكل البلاستيدات تنشأ أصلاً من بلاستيدات أولية Proplstide تتواجد فى الخلايا المرستيمية أو خلايا الجنين وتتكشف فى خطوات سريعة لتعطى البلاستيدة الناضجة.

ويتركز تصنيف البلاستيدات على وجود الصبغات بها. فهناك بلاستيدات عديمة اللون Leucoplasts وهناك البلاستيدات الملونة Chromoplasts وهناك البلاستيدات الخضراء chloroplasts هى أهم أنواع البلاستيدات لأهميتها البالغة فى عملية البناء الضوئي).

البلاستيدات الخضراء Chloroplasts

وتتركز وتتضح أساساً فى الأنسجة التى تقوم بعملية البناء الضوئى مثل النسيج المتوسط Mesophyll فى الأوراق . وقد توجد أيضاً فى عدة أنسجة نباتية مختلفة ولكنها لا توجد عادة فى الجذور . وتأخذ البلاستيدات لونها المميز نتيجة وجود صبغات الكلوروفيل الخضراء (أ ، ب ، جـ) ورغم وجود أنواع أخرى من الصبغات مثل صبغات الكاروتين والزانثوفيل الصفراء فإن اللون الآخضر يغطى عليها . والبلاستيدات الخضراء فى النباتات الراقية قرصية الشكل ذات سطحين منحنيين بحيث تأخذ غالباً شكل العدسة (شكل 6) وفى معظم النباتات تتراوح من 4-6 ميكرون فى القطر رغم وجود بلاستيدات أصغر أو أكبر من ذلك.



شكل (6) : البلاستيدة الخضراء فى النباتات الراقية

تركيب البلاستيدات الخضراء

البلاستيدات الخضراء فى النباتات الراقية تبدو تحت المجهر الإلكترونى محاطة بغشاء مزدوج 2 Units Membrane يحيط بمادة أساسية طامرة Matrix يطلق عليها Stroma تتكون أساساً من نوع خاص من البروتين. ويتواجد داخلها نظام غشائى خاص Membrane system مرتبط بالصبغات. وهذا النظام

الغشائي يأخذ شكل صفائح أو أكياس مفلطحة تسمى Thylakoids وفى النباتات الراقية تتحد كل مجموعة من هذه الأكياس فى حزمة تسمى جرائم Granum (الجمع Grana) والتى تحتوى على معظم صبغات البلاستيدات وتتصل الجرانا المختلفة ببعضها بنوع أخر من الأغشية يسمى ThyLakoids Stroma (صفائح الأستروما) وهذا الترتيب يجعل كل التجاويف المحصورة بين الأغشية متصلة ببعضها (انظر شكل 6).

والتركيب السابق يجعل البلاستيدة تقوم بوظيفتها على الوجه الأمثل حيث تفاعلات الضوء يتم داخل الجرانا لوجود الصبغات بها بينما تفاعل الظلام فى الطامرة Stroma والتى تتركز بها الأنزيمات التى تتطلبها مثل هذه التفاعلات. ووجد أن الطامرة والتى تحيط بالنظام الغشائى قد تحتوى على عدد من الجسيمات المختلفة مثل الريبوزومات وأحياناً حبيبات نشوية وبعض الليبيدات وقد أشارت بعض البحوث حديثا على احتواء البلاستيدات على الحمض النووى DNA .

6- الميتوكوندريا Mitochondria

وهى جسيمات خلوية بروتوبلازمية توجد فى كل الخلايا الحية (ماعدا البكتريا والطحالب الخضراء المزرقة) يمكن مشاهدتها بالمجهر الضوئى العادي ولكن تركيبها الدقيق لا يرى إلا بالمجهر الإلكترونى. وهى تختلف فى الشكل والحجم ولكنها غالباً ترى على شكل قضبان أسطوانية قصيرة ذات حجم من نصف إلى واحد ميكرون أو أكثر حسب العمر والحالة الفسيولوجية.

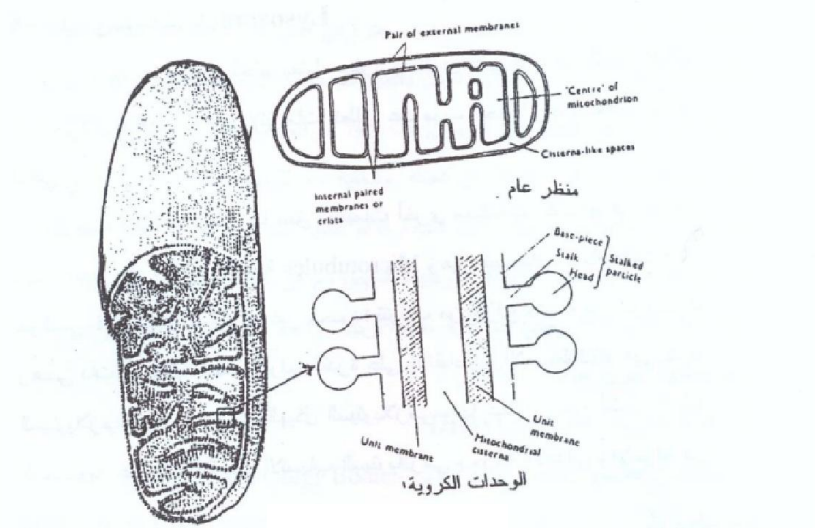
وتبدو الميتوكوندريا (كما تظهر تحت المجهر الإلكترونى) (شكل 7) محاطة بغشاء مزدوج الخارجي ذو شكل عادى منبسط – بينما الداخلى ذو تركيب معقد يمتد بشكل طيات أو أنابيب تسمى حواجز ميتوكوندرية أو أعراف Cristae ويحيط الغشاء بالمادة الأساسية Matrix . وفى المجاهر الإلكترونية الأكثر قوة تبدو على الأعراف امتداد كروية Heads Piece . وكل هذه التركيبات مع العدد الكبير للميتوكوندريا يؤدى إلى زيادة سطح التفاعلات بدرجة كبيرة جداً مما يتلاءم مع وظيفة الميتوكوندريا . فمن المعروف أن معظم عمليات التنفس وإنتاج الطاقة تتم داخل الميتوكوندريا والتى تتوزع أنزيماتها المختلفة على غشائى الجسيم فبعض عمليات الأكسدة تتم حول الغشاء الخارجى وتتركز أنزيمات إنتاج الطاقة فى صورة ATP على الداخلي. وقد يصل عدد الميتوكوندريا فى الخلية إلى 700 . وقد أشار بعض الباحثين إلى إمكان انقسام جسيمات الميتوكوندريا حيث وجد بداخلها الحمض النووي DNA وبعض الريبوزومات.

7- الريبوزومات Ribosomes

وهى جسيمات كروية صغيرة يصل قطرها لـ 250 انجستروم فلا تظهر إلا بالمجهر الإلكترونى وقد يصل عددها فى الخلية الواحدة إلى أكثر من نصف مليون ريبوزوم . وقد توجد الريبوزومات مبعثرة فى السيتوبلازم ولكنها غالباً تتصل بالشبكة الأندوبلازمية أو تتواجد داخل بعض الجسيمات المختلفة كما سبق ذكره . وتتركب الريبوزومات من البروتين (60%) والحمض النووى RNA والتى تحتوى على حوالى 80% من كميته داخل الخلية . وللريبوزومات دوراً هاماً فى عملية بناء البروتين بالخلية وعادة تتجمع أثناء عملية بناء البروتين فى أعداد أكبر تسمى بولى سوم Polysome . ووظيفة الريبوزومات فى عملية بناء البروتين هامة حيث أنها تكون المكان الذى يتم عليه عملية ترتيب واتحاد الأحماض الأمينية بنظام خاص دقيق لتكوين جزيئات البروتين .

8- الدكتيوزمات Dictyosomes

ويطلق عليها أيضاً أجسام جولى Golgi Bodies وتتواجد فى الستوبلازم وتختلف كثيراً فى الحجم والشكل وعددها فى الخلية الواحدة حوالى 400 ديكتيوزوم . وغالباً فأنها تبدو فى مظهرها السطحى كأقراص مستديرة ذات حواف مثقبة تسمى Cisternae محاطة بغشاء فردى في أطرافها حويصلات كروية مثقبة وتتجمع الـ Cisternae فى أعداد من 3-12 ولا تحتوى على ريبوزمات . الوظيفة المقترحة للديكتيوزومات هى الإخراج والإفراز فتتجمع النواتج المكونة للإفراز فى غشاء الحويصلات التى تنفصل وتحملها إلى خارج الخلية عبر الأغشية والجدار الخلوى وبهذه الطريقة فإن انحلال وتكوين الـ Cisternae يستمر داخل الخلية . كما أن لها وظائف هامة أخرى مثل بناء مواد كربوهيدراتية معقدة والاشتراك فى تكوين الأغشية السيتوبلازمية الجديدة والانتقال داخل الخلية .



(شكل 7) الميتوكوندريا

(شكل 8) حبيبات النشا

9- الليسوسومات Lysosomes

وهى جسيمات صغيرة تحاط بغشاء منفرد وتحتوى على إنزيمات التحلل المائى بتركيزات مرتفعة . وهذه الإنزيمات تنطلق عند موت الخلايا وتقوم بعملية التحلل الذاتى لها .

وتوجد بالإضافة إلى ما سبق جسيمات أخرى مختلفة تم اكتشافها فى مراحل حديثة نسبياً مثل الأنابيب الدقيقة Microtubules وهى عضيات خيطيه ذات قطر حوالى 24 nm ذات أطوال غير محدودة تتركب من أنواع خاصة من البروتينات وهى ذات صلابة نسبية ولها القدرة على الانقباض والانبساط لذلك فهى تدعم السيتوبلازم مكونة ما يعرف بالهيكل السيتوبلازمى ولها علاقة بجميع أنشطة الخلية المحتوية على الحركة مثل الانسياب السيتوبلازمى وحركة الأهداب والأسواط فى الكائنات الدقيقة .

ومن الجسيمات الأخرى اللويفات الدقيقة Microfilaments وهى خيوط دقيقة بروتينية التركيب أيضا ولكنها أقل سمكاً من الأنابيب الدقيقة وتعاونها فى العمل .

ب- المحتويات غير الحية Non Protoplasmic Components

1- المحتويات السائلة Fluid Inclusions

أ- الزيوت والدهون Oils and Fats

وتوجد فى كثير من الخلايا وتكون كغذاء مخزن فى البذور الزيتية مثل القطن والسمسم وغيرها وبعض الثمار . وقد يوجد ما يعرف بالزيوت الطيارة Volatile Oils.

ب- المحتويات اللبنية Latex

وتشاهد فى بعض النباتات خاصة عند حدوث جرح أو قطع وتاخذ الشكل اللبنى.

2- المحتويات الصلبة Solid Inclusions

أ- **البلورات المعدنية Mineral Crystals**: وتوجد فى بعض النباتات. والبعض يفسر وجودها على أنها ناتجات صلبة لعمليات التحول الغذائى يجمعها النباتات فى خلايا خاصة لعدم قدرته على التخلص منها . ويمكن تقسيمها عموماً إلى نوعين هى بللورات أكسلات الكالسيوم وبللورات كربونات الكالسيوم .

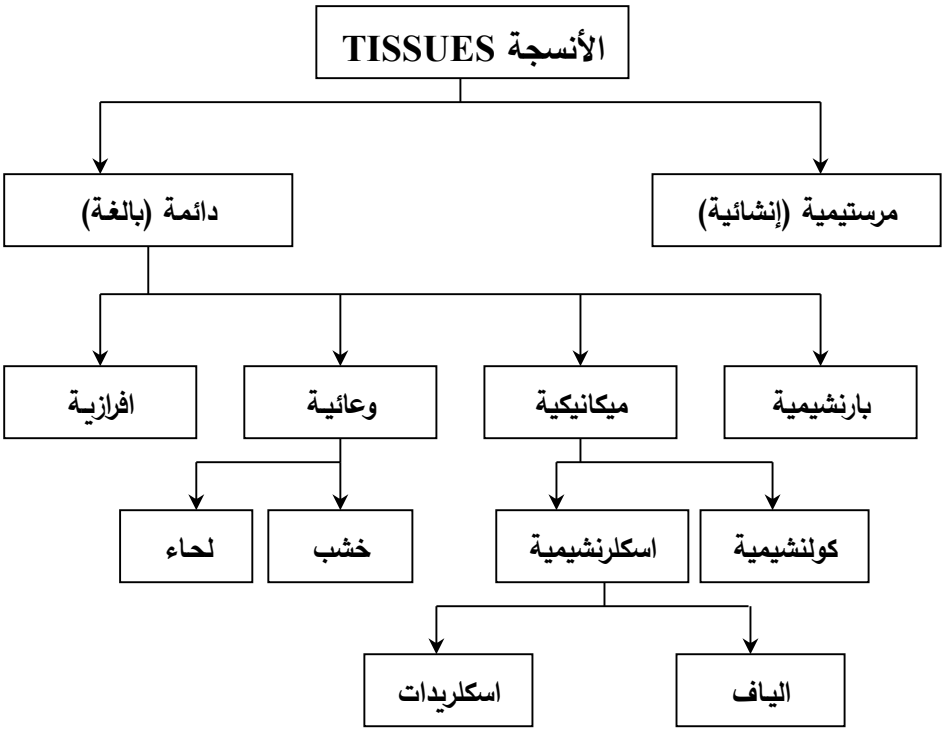
ب- **الحبيبات الأليرونية** : وهى أجسام مستديرة أو بيضاوية الشكل تشاهد فى مناطق تخزين الغذاء وتقوم بتخزين البروتين .

ج- **حبيبات النشا** : وتتكون داخل البلاستيدات غير الملونة التى يتجمع فيها السكر الناتج من عملية البناء الضوئى فى الأوراق والمنقول عبر اللحاء إلى مناطق التخزين ، حيث يتجمع فى صورة نشا حول مركز خاص يسمى السرة . وتأخذ الحبيبات النشوية عدة أشكال وأحجام مختلفة (شكل 8).

ثالثاً: الفجوات العصارية Vacuoles

والفجوات العصارية بما تحويه من سائل خلوى تعتبر أحد مكونات الخلايا النباتية المميزة حيث توجد فى كل أنواعها . وقد يوجد بالخلية فجوة واحدة مركزية أو عدة فجوات . وبالفجوة يوجد السائل أو العصير الخلوى وهو غالباً فى صورة محلول مائى وقد تكون المواد الذائبة من مركبات عضوية مثل السكريات وبعض البروتينات والصبغات أحياناً مثل الأنثوسيانين الحمراء وبعض الأحماض العضوية وغيرها مثل المطاط والصموغ أحياناً أو مركبات غير عضوية مثل الأملاح المعدنية. وتختلف النباتات كثيراً فى محتواها من هذه المواد . وتعتبر الفجوة مكان لمخلفات عمليات الأيض بالخلية كما تعتبر مخزن للماء وانتفاخها يساعد على استقامة الأعضاء النباتية الغضة .

وعموماً فإن كل مجموعة من الخلايا سواء كانت متشابه أو غير متشابه تتجمع لتقوم بوظيفة معينة يطلق عليها أسم النسيج Tissue .



تتميز النباتات الأولية ببساطة تركيبها وعدم وضوح التخصص الخلوى بها فمثلاً فى الكائنات وحيدة الخلية يقوم البروتوبلاست بجميع الوظائف الحيوية – ثم يزداد تعقيد جسم النبات بزيادة الخلايا ويبدأ التخصص بين مجموعاتها المختلفة وهكذا تظهر الأنسجة والأعضاء النباتية . وفى النبات الراقى يتضح من دراسة التركيب الداخلى لأى عضو نباتى أنه مكون من مجموعات من الأنسجة Tissues ويمكن أن نميز منها :

أ- نسيج بسيط Simle Tissue

وهو مجموعة من الخلايا المتشابهة فى المنشأ والتركيب وتؤدى كل منها وظيفة هذا النسيج مثل نسيج البشرة .

ب- نسيج مركب Compound Tissue

يتكون من عدة مجموعات كل منها يتكون من خلايا متشابهة فى المجموعة الواحدة ومختلفة بين المجموعات ولكنها تتعاون فى تأدية وظائف النسيج المركب مثل نسيج الخشب.

ج- الجهاز النسيجى Tissue system

يمكن القول أنه عبارة عن مجموعة من الأنسجة البسيطة أو المركبة ومعها بعض التركيبات الخلوية (التى تعتبر أنسجة فى حد ذاتها) وتلعب جميعها دورها لتحقيق الوظائف المختلفة لذلك الجهاز النسيجى مثل الجهاز الوعائي الناقل.

ويمكن تقسيم الأنسجة عموماً إلى قسمين رئيسين :

أولاً : الأنسجة الإنشائية أو المرستيمية

Initiative or Meristematic Tissues

تشاهد خلايا هذا النوع فى قمم الجذور والبراعم الطرفية للسوق والأفرع وكذلك الأجنة الصغيرة ومناطق أخرى عديدة. والخلية المرستيمية عادة منتظمة الشكل مكعبة جدرها الرقيقة مستقيمة وتتميز بها نواة مركزية كبيرة. يملأ السيتوبلازم جميع الحيز الداخلى المحيط بالنواة. والنسيج فى مظهرة كثيف داكن اللون لوفرة البرتوبلاست وعدم وضوح الفجوات العصارية كما يتميز النسيج بخلاياه المرصوصة فى انتظام وعدم وضوح المسافات البينية وإن كانت تظهر فى مراحل مبكرة. لا يوجد بها بلاستيدات خضراء أو ملونة بل بها بلاستيدات أولية (شكل 9) مع ملاحظة أن هناك خلايا إنشائية تتميز بوجود فجوات عصارية (وهي الخلايا البالغة التى استعادت قدرتها على الأنقسام).

تصنيف المرستيمات : يمكن تصنيف المرستيمات على عدة أسس مختلفة :

أولاً : الموقع Position تقسم الأنسجة المرستيمية حسب موقعها (شكل 10) إلى:

1) مرستيم قمي (طرفي) Apical meristem

ويشاهد فى النهايات المحورية للأعضاء النباتية مثل القمم النامية للجذور والسوق وافرعها وكذلك فى البراعم بأنواعها وهي فيها جميعاً مستمرة الوجود ولكنها تكون مؤقتة فى الأوراق وبعض الأعضاء الزهرية. وينتج عن نشاطها بناء الجسم الإبتدائى للنبات.

2) مرستيم بينى Intercalary meristem

وقد أطلق عليه ذلك الأسم لوجود بين أنسجة بالغة ويشاهد فى السلاميات فى مواضع محددة فمثلاً فى النجليليات تتميز سوقها بوجود المرتسم البيني فى قواعد السلاميات ويسبب نشاطه استطالة الساق فى إحدى مراحل نموها.

3) مرستيم جانبي Lateral meristem

وهى الخلايا التى تتميز بانقسامها فى مستو واحد فقط وتعمل على زيادة قطر أو سمك.

ثانياً : االوظيفة Function

يعتمد هذا التقسيم على الأهمية الوظيفية للمرتيسم ويمكن أن تقسم المرستيمات إلى :

1) المرستيم الأولى : Promeristem

وهو المرستيم الموجود فى أقصى موضع للعضو النباتي ويرث النبات هذا المرستيم من القمم النامية للجذير والريشة وتختلف المرستيمات الأولية فى مظهرها ومكوناتها.

2) المرستيمات الإبتدائية Primary meristems

وتلى المرستمات الأولية مباشرة (أي تقع خلفها) وهى ناتجة منها وينتج عن تكشفها تكوين الأنسجة المستديمة للجسم الإبتدائى ، ويمكن تقسيمها إلى :

أ- منشئ البشرة (بروتودرم) Protoderm

ويختص بتكوين البشرة وينقسم عادة بجدر عمودية على السطح الخارجى .

ب- منشي الأنسجة الوعائية (البروكمبيوم) Procambium

وهو النسيج المرستيمى الذى تتكشف وحداته إلى الأنسجة الوعائية الإبتدائية (الخشب واللحاء الإبتدائى). وقد يستمر نشاطه ليعطى الكمبيوم الحزمى كما فى النباتات ذات النمو الثانوى.

جـ- منشئ النسيج الأساسي (المرستيم الأساسي) Ground meristem

ويختص بتكوين النسيج الأساسي فى كل من القشرة والنخاع والأشعة النخاعية.

3) المرستيمات الثانوية Secondary mersitems

تنشأ هذه الأنسجة من أنسجة مستديمة حية يعادوها النشاط وتصبح قادرة على الأنقسام وذلك مثل الكامبيوم بين الحزامي (الوعائي) Vascular cambium الذى ينشأ من الخلايا البارنشيمية بين الحزم على امتداد الكامبيوم الحزمي فى سوق

ذوات الفلقتين – ومثل الكامبيوم الفلينى Phellogen الذي يتكون من خلايا القشرة أو اللحاء أو البشرة.

الكامبيوم الوعائى Vascular cambium

وهو نوع من الخلايا الإنشائية النشطة ولكنها تتميز بوجود فجوة عصارية كبيرة تشغل معظم الحيز الداخلي للجدار الخلوي وهى تشبه الخلايا البارنشيمية البالغة ولكنها تتميز عنها بقدرتها على الأنقسام وتكوين خلايا جديدة . ويوجد الكامبيوم الوعائى بين الخشب واللحاء فى كل من الجذور والسوق المسنة وفى أعناق الأوراق وعروقها الكبيرة.

الكامبيوم الفلينى Phellogen

نوع آخر من الأنسجة الإنشائية أو المرستيمية الثانوية يعطى بانقسامه نوعاً "من الأنسجة الضامة تسمى البريدرم ، وتختلف نشأته باختلاف موضعه ففي الجذور المسنة ينشأ من البريسيكل أما فى السوق فينشأ من البشرة أو القشرة أو اللحاء الثانوي. ويعطى للخارج الفلين الواقي وللداخل خلايا القشرة الفللينية وتعرف جميعها بأسم البريديوم Priderm.

ثانياً : الأنسجة المستديمة PERMANENT TISSUES

تنشأ هذه الأنسجة نتيجة لنشاط وانقسام الأنسجة المرستيمية . وتمتاز خلاياها بتوقف النمو فيها ولو مؤقتاً (حيث يتحول النسيج الدائم أحياناً – كله أو جزء منه – إلى نسيجاً مرستيمياً كما سبق)

ويمكن تقسيم الأنسجة المستديمة بعدة طرق :

أ) حسب المنشأ

وتقسم إلى أنسجة إبتدائية وهى التى تنشأ من المرستيمات الإبتدائية مثل الخشب الإبتدائي أو اللحاء الإبتدائي والقشرة والنخاع وغيرهما. وأنسجة دائمة ثانوية وهى التى تنشأ من مرستيمات ثانوية مثل الفللين والأشعة النخاعية الثانوية وغيرها.

ب) حسب الوظيفة : تنقسم الأنسجة المستديمة إلى :

1- الجهاز الضام ويضم البشرة والبريديوم

2- الجهاز البارنشيمى

3- الجهاز الميكانيكى
4- الجهاز الوعائى
5- الأجزاء الإفرازية والإخراجية

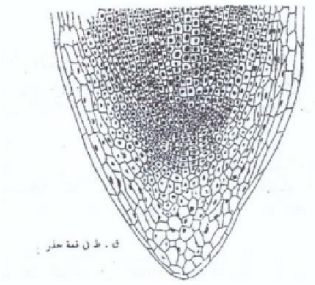
1- البشرة EPIDERMIS

عبارة عن الطبقة السطحية التى تحيط بالأوراق والسوق الحديثة الغضة والجذور الحديثة والأوراق الزهرية والثمار والبذور. وللبشرة وظائف هامة للنبات يمكن إيجازها فيما يلي:

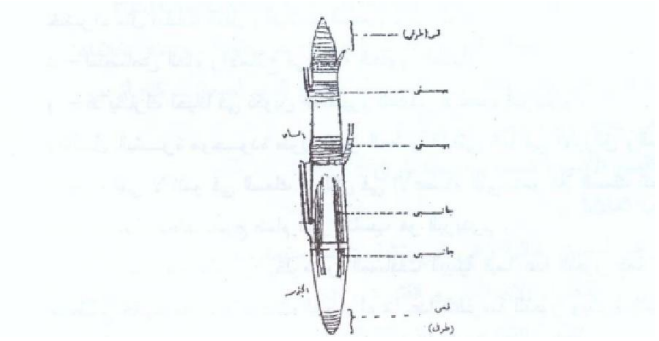
أ- حماية الأنسجة الداخلية للنبات (نسيج ضام) وتتحمل فى ذلك ضغطاً معقولاً .
ب- تقليل وتنظيم فقد الماء من النبات عن طريق الثغور.
ج- قد تشارك فى عملية البناء الضوئى عندما تحتوى على بلاستيدات خضراء مثل نباتات الظل والنباتات المغمورة فى الماء.
د- امتصاص الماء والأملاح فى حالة الجذور الحديثة.
هـ- قد يتشارك أحياناً فى تكوين الكامبيوم الفللينى لإعطاء البريدرم.

وتظل البشرة موجودة طول عمر العضو النباتي كما فى الأوراق والسوق العشبية التى لا تنمو فى السمك . ولكن فى الأعضاء التى تنمو فى السمك فتتمزق البشرة ويحل محلها نسيج ضام آخر مناسب هو البريدرم.

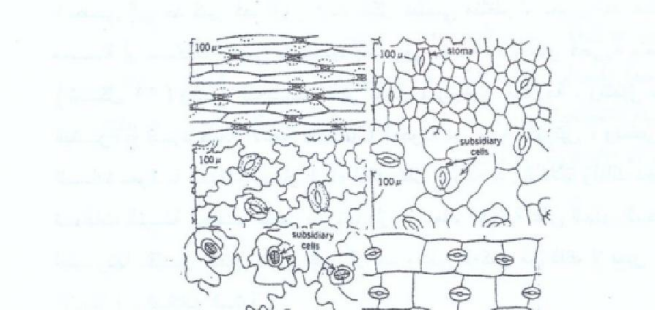
وتتميز خلايا البشرة بخلوها من المسافات البينية فيما عدا الثغور كما تخلو معظم خلاياه من البلاستيدات الخضراء ما عدا الخلايا الحارسة للثغور وبشرة النباتات المائية والنباتات ذات البيئة الظليلة الثقيلة. وتختلف خلايا البشرة فى منظرها السطحى إلى حد كبير فقد تكون ذات شكل هندسي منتظم أو تكون مفصصة أو مسننة أو متداخلة في بعضها بطرق مختلفة ذات جدر قطرية متموجة (شكل 11) وفى النجيليات تظهر بشكل تعرجات متقاربة. وتتميز خلايا البشرة بوجود طبقة الأدمة Cuticle المكونة من مادة الكيوتين ، وتعتبر هذه المادة معوقة لنفاذية بخار الماء لذلك تقلل تسربه من الخلايا ولذلك نجد أن نباتات البيئة الجافة تتميز بشرتها بإزدياد سمك الكوتنة على الجدر السطحية لبشرتها لتقليل النتح الآدمي إلى أقل حد وعلى العكس من ذلك لا تميز طبقة الآدمة فى النباتات المائية.



(شكل 9) الخلايا المرسيمية



(شكل 10) : توزيع المرسيمات فى النبات



(شكل 11) بعض الأشكال السطحية لخلايا البشرة

أنواع البشرة

إذا تكون نسيج البشرة من صف واحد من الخلايا يسمى البشرة البسيطة Simple epidermis ولكن في بعض النباتات يلاحظ عند نضج الخلايا أن النسيج الضام أصبح مكوناً من طبقة خارجية تمثل خلاياها البشرة ويليها صف أو أكثر من خلايا أكبر حجماً (لتوقف الانقسام بها مبكراً) . ويطلق عليها تحت البشرة Hypodermis وتعرف البشرة وصفوف تحت البشرة مجتمعة باسم البشرة المتضاعفة Multiple Epidermis .

الثغور Stomata

يتكون الثغر من مسافة بينية تسمى فتحة الثغر Pore تحاط بخليتين لهما قدرة على التحكم فى اتساع الفتحة تسمى الخلايا الحارسة Guard Cells وهى عبارة عن زوج من خلايا البشرة تتحور بنظم مختلفة لتأدية وظيفتها ، وتتصل الفتحة بتجويف داخلي يسمى الغرفة الهوائية Air Chamber ويطلق على هذا التركيب اصطلاح جهاز الثغر Stomatal Apparatus . وتتوزع الثغور فى صفوف طولية كما فى أوراق النباتات النجيلية أو تظهر مبعثرة بدون نظام في أغلب الأوراق ذات التعريق الشبكي.

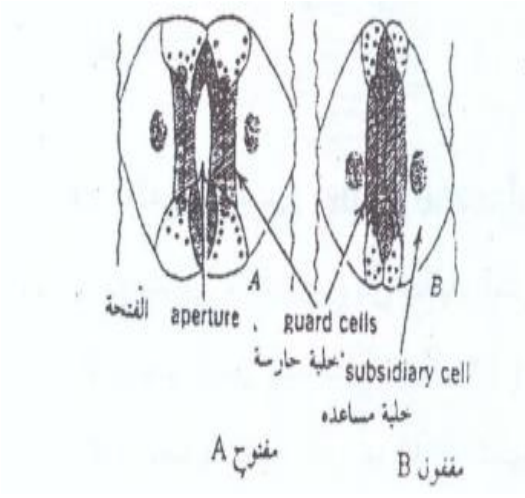
وتختلف الثغور تبعاً لأختلاف خلاياها الحارسة ونظم تغلظها إلى أحد الأنواع الآتية:

أ- الثغر النرجسي Amaeryllidaceae Type

ويتميز هذا النوع بأن خلاياه الحارسة كلوية الشكل ويوجد على جدرها ترسيب غير منتظم (شكل 12) . فيلاحظ إزدياد سمك الجدر الأمامية المحيطة بفتحة الثغر أما الجدار الظهري (فى الجهة المقابلة) فيظل بدون تغلظ . وبإزدياد التوتر فى الخلية الحارسة نتيجة زيادة نسبة الماء تتقوس الجدران ويزداد الشكل الكلوي وذلك نتيجة لتمدد الجدار الظهري بدرجة أكبر من الجدار البطني لرقة الأول وإزدياد سمك الثاني الأمر الذي يسبب تباعد الجداران البطنيان ويزداد اتساع فتحة الثغر . وعند زوال التوتر نتيجة لفقد الماء تعتدل الجدر المقوسة ويستقيم محور الخلية فتتقارب الجدر البطنية وتغلق فتحة الثغر . ويوجد هذا النوع من الثغور فى معظم نباتات ذوات الفلقة الواحدة وجميع نباتات ذوات الفلقتين.

ب- الثغر النجيلي Graminae Type

يشاهد هذا النوع فى نباتات الفصيلة النجيلية والفصيلة السعدية وتمتاز خلاياه الحارسة بشكلها المستطيل وإكتسابها شكل حديدة القوى Dumb-Bell Shape ويمتاز هذا التركيب برقة جدر الأجزاء النهائية واستدراتها مع إزدياد سمك الجزء الموصل بينهما. ويمتد على جانبي الخلايا الحارسة من الخارج زوج من الخلايا المساعدة Subsidiary Cells (شكل 12) التى تظهر فى القطاع العمودي حرة خالصة لا يوجد تحتها سوى تجويف الغرفة الهوائية للثغر حتى يتسنى لها المعاونة فى انفتاح الثغر. فعندما تتوتر الخلايا الحارسة نتيجة لإزديادة ضغطها الإنتفاخى تستجيب الأجزاء الطرفية الرقيقة للخلايا الحارسة فيزداد تكورها وينتج عن ذلك تباعد الأجزاء المغلظة الموصلة بين الانتفاخيين فى كل منهما وينفتح الثغر ويحدث العكس عند زوال التوتر فيقترب الجزءان السميكان وتضيق فتحة الثغر وتعمل الخلايا المساعدة على إفساح المجال لتمدد الخلايا الحارسة وتسهيل حركتها.

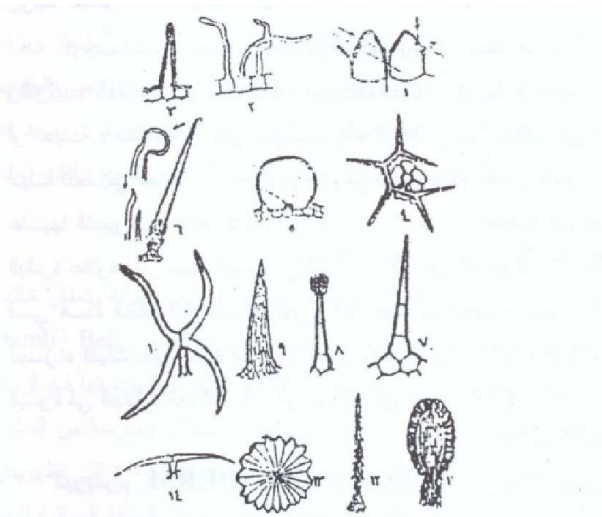


الثغر النجيلى الثغر النرجسى

(شكل 12) أنواع الثغور

زوائد البشرة Trichomes

توجد على بشرة معظم النباتات زوائد تختلف فى الشكل والحجم والتركيب. فقد تكون وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا ، فردية أو فى مجاميع ، عادية أو غدية ، متفرعة أو غير متفرعة وهذه الزوائد رغم إختلافها فى الشكل إلا أنها تتحد فى المنشأ حيث تتكون من نمو بعض خلايا أصل البشرة ، ويطلق عليها الشعيرات Hairs or Trichomes وقد تشترك الخلايا الموجودة أسفل البشرة علاوة على طبقة البشرة فى تكوين زوائد البشرة غير الشعيرات ، ويطلق عليها فى هذه الحالة النتوءات أو البروزات Emergences وتوجد الزوائد على أجزاء النبات النبات طول حياة النبات أو مؤقتاً ويمكن تمييز الأنواع الأتية من زوائد البشرة فى النباتات المختلفة كما هو موضح فى (شكل 13).



١ ــ الخلايا مع إنحناء مسار الأشعة الضوئية الساقطة عليها بزوايا مختلفة
٢ ــ شعيرات جذرية . ٣ ــ شعيرات وحيدة الخلية ٤ ــ شعيرة وحيدة الخلية متفرعة فى المنتصف
٥ ــ حويصلة مائية فى نبات النتح
٦ ــ الشعيرة اللاسعة فى الحرين
٧ . شعيرة عديدة الخلايا .
٨ ــ شعيرة عديدة الخلايا غدية
٩ــ شعيرة شأجية
١٠ ــ شعيرة عديدة الخلايا نجمية
١١ ــ ترء غدى فى أذنات البنسية
١٢ ــ ترء شوكى فى اتين الشوكى
١٣ ــ إحدى حراشيف الزيتون .
١٤ ــ قطاع عرضى فى إحدى حراشيف الزيتون .

(شكل 13) أشكال توضيحية لبعض زوائد البشرة

3- البريدرم Periderm

تعمل النباتات على حماية أنسجتها الحية ، وتوفر البشرة هذه الحماية فى الفترة الأولى من عمر النبات. ولكن فى النباتات المعمرة ذات النمو الثانوي فى السمك (سوق وجذور عاريات البذور وذوات الفلقتين) نجد أن البشرة وما تحتها من أنسجة سرعان ما تتمزق لعدم مسايرتها للزيادة المستمرة فى محيط العضو النباتي ولذلك تتكون طبقة وقائية تسمى البريدرم (شكل 14).

ويتكون البريدرم كذلك على الأسطح المعرضة بعد انفصال الأوراق والأفرع عن النبات . كما يتكون حول الأنسجة المريضة أو الميتة وكذلك يقفل الجروح خاصة الجروح العميقة. وبدراسة قطاع عرضي فى تلك الطبقة يلاحظ أنها تتركب منالأنسجة الآتية الكمبيوم الفلليني – الفلين – الفللودرم.

أ- الكمبيوم الفلليني (الفللوجين) Phellogen

نسيج إنشائى ثانوي ينتج أنسجة جديدة تساهم فى حماية العضو النباتي. يتميز هذا الكامبيوم ببساطة التركيب إذا قورن بالكامبيوم الوعائي حيث يتركب من نوع واحد من الخلايا وينشأ الفللوجين من خلايا بالغة تعاود نشاطها ففي الساق قد ينشأ من البشرة كما فى كثير من الأشجار الخشبية . أما فى الجذر فينشأ الفللوجين من نسيج البريسيكل . وعلى العموم ينتج من نشاط الفللوجين تكوين خلايا فللين جهة الخارج وخلايا بارنشيمية جهة الداخل.

ب- الفللين Phellen

يتميز هذا النسيج بانتظام وحداته فى الشكل وهى عبارة عن الهيكل الجدارى لخلايا الفلين الميتة وقد ترسبت على جدارها خليط من السليلوز واللجنين والسوبرين غير المنفذ للسوائل والغازات.

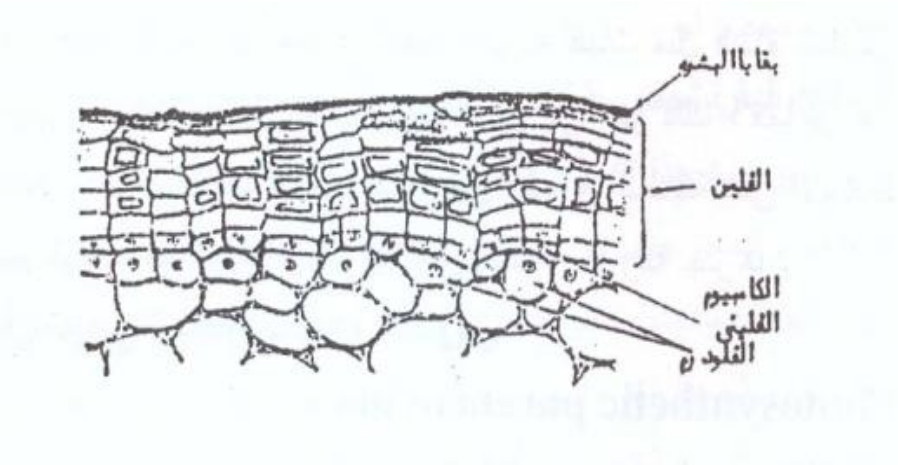
ج- القشرة الفلينية (الفللودرم) Phlloderm

نسيج بارنشيمى يتكون بكمية ضئيلة نتيجة لأنقسام الفللوجين للداخل ويتميز بوجود المسافات البينية كما يحتوى أحياناً على بلاستيدات خضراء.

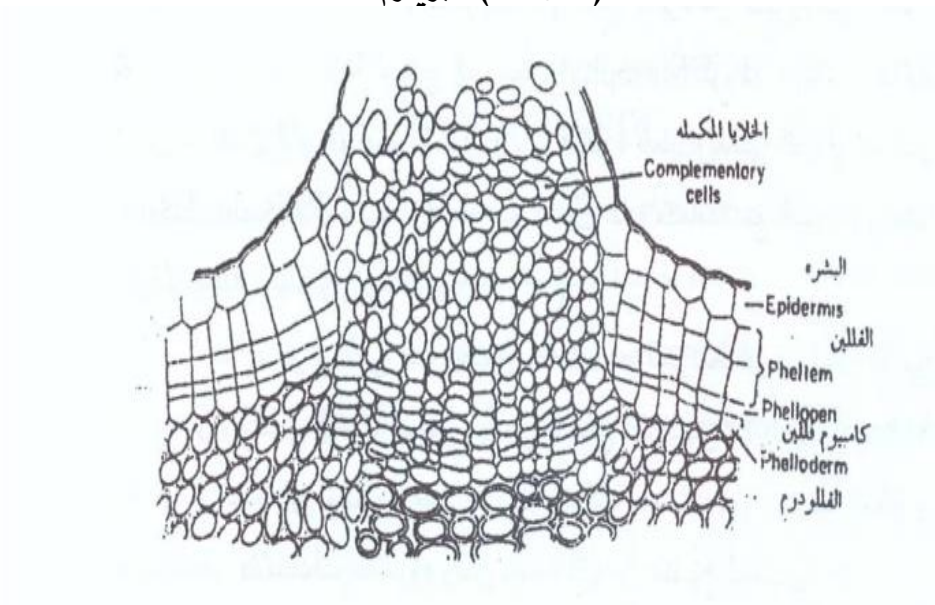
العديسات Lenticeles

هى عبارة عن فتحات تتكون فى البريدرم تسهل من تبادل الغازات بين أنسجة النبات والجو الخارجي أي أنها تحل محل الثغور فى البشرة وتؤدى وظيفتها (شكل 15) ويبدأ تكوين العديسة بظهور طبقة كمبيومية خاصة تسمى الفللوجين العديسى

Lentical Phellogen تنقسم وتنتج للخارج خلايا بارنشيمية رقيقة تكون متراصة ثم تتمدد وتظهر بينها مسافات بينية متسعة . ويسبب تمددها ضغطاً على الأنسجة الخارجية (بشرة أوبريدرم) وتمزقها وتصبح معرضة للجو الخارجى ونظراً لتركيبها المفكك فأنها تسمح بتسرب الغازات خلالها وتسمى هذه المجموعة بالنسيج المتمم Complementary Tissue .



(شكل 14) البريدرم



(شكل 15) العديسة

3- النسيج البارنشيمى Parenchyma Tissue

مكوناته :

يتكون هذا النسيج من خلايا حية تعرف فى مجموعها بالنسيج الأساسي لوجودها فى كل أعضاء النبات. والخلايا البارنشيمية لها القدرة على استعادة نشاطها المرستيمى أي قدرتها على الانقسام والنمو.

مكانه :

تشغل الخلايا البارنشيمية كل أو معظم القشرة والنخاع فى السوق والجذور وكذلك النسيج المتوسط فى الأوراق والأعضاء الزهرية ولب الثمار وأندوسبرم البذور ، كذلك تكون الأشعة النخاعية الإبتدائية والثانوية والفيللودرم وقد توجد ضمن أنسجة مركبة مثل بارنشيمة اللحاء.

الشكل والتركيب :

يختلف شكل الخلية البارنشيمية فقد تكون بيضية أو كروية أو أسطوانية أو عديدة الأسطح (ذات أربعة عشر وجهاً أو أكثر) والخلية عادة ذات جدار رقيق يلاحظ به نقر بسيطة إلا أنه قد يكون سميكاً مثل خلايا اندوسبرم بذرة البلح وبعض البذور الآخرى نتيجة لترسيب الهيميسليولوز الذى يعتبر مادة غذائية مدخرة تهضم وتستنفذ أثناء الإنبات. وقد يترسب اللجنين فى بعض الخلايا البرانشيمية فى مرحلة متقدمة كما يحدث فى خلايا بارنشيمية الخشب الثانوي.

ويبطن السيتوبلازم فى الخلايا البارنشيمية الجدر نتيجة لوجود فجوة أو فجوات كبيرة مملوءة بالعصير الخلوي ، ويوجد بين الخلايا مسافات بينية واسعة.

وظائفه :

يقوم هذا النسيج بمعظم الوظائف الحيوية للنبات مثل البناء الضوئى والتنفس وتخزين المواد الغذائية والإفراز والإخراج إلى غير ذلك . كما أن هذه الخلايا تساعد أعضاء النبات الرخوة كالأوراق والسوق الحديثة على الاحتفاظ بوضعها القائم نتيجة لامتلائها بالعصير الخلوي وذلك رغم رقة جدرها.

النسيج البارنشيمى الخاص بالناء الضوئي

Photosynthetic parenchyma

توجد خلايا هذا النوع فى الأعضاء النباتية الخضراء المعرضة للضوء وتمتاز الخلية باحتوائها على كمية وافرة من البلاستيدات الخضراء.

وتوجد هذه الخلايا فى الساق العشبية أو الأطراف الغضة للسوق الخشبية فى الأجـزاء الخارجيـة مـن منطقـة القشـرة ويطلـق عليهـا خلايـا كلورنشـيمية Chlorenchyma نتيجة لاحتوائها على نسبة كبيرة من الكلوروفيل. كذلك توجد فى الأوراق مكونة للنسيج المتوسط Mesophyll للورقة ، وتتميز خلاياه إلى نوعين الأول وهو الذي يلي البشرة العليا ويسمى النسيج العمادى Palisade Tissue خلاياه اسطوانية الشكل عادة متعامدة مع البشرة ويتخللها مسافات بينية ضيقة (راجع تشريح الورقة).

أما النوع الثاني الذى يتكون منه النسيج المتوسط فيوجد أسفل النسيج العمادى وأعلى البشرة السفلي ويسمى النسيج الإسفنجي Spongy Tissue وخلاياه عادة غير منتظمة الشكل ولذلك تتخللها مسافات بينية واسعة وتحتوى الخلايا على بلاستيدات خضراء ولكن بنسبة أقل من النسيج العمادى.

النسيج البارنشيمى الخازن Storage parenchyma

من المعروف أن النبات عادة لا يستهلك ناتجات عملية البناء الضوئى عقب تكوينها مباشرة ، لذلك يلجأ إلى تخزينها لحين استعمالها فى اطوار نموه المختلفة وفى كثير من العمليات الحيوية أثناء النمو . هذه المواد المخزنة مثل المواد الكربوهيدراتية والبروتينية وغيرها توجد فى الخلايا البارنشيمية للبذور والثمار والأبصال والدرنات والكورمات والريزومات وغير ذلك من أعضاء التكاثر الخضراء.

النسيج البارنشيمى الخاص بالتهوية Aerenchyma

يوجد هذا النسيج بنوع خاص فى النباتات المائية وخلاياه رقيقة الجدر صغيرة الحجم بينها فراغات هوائية واسعة بحيث يحاط كل فراغ بطبقة واحدة من الخلايا وتتصل الفراغات فى سائر أجزاء النبات مكونة جهازاً للتهوية أو لاختزان الغازات حيث يختزن الأكسجين الناتج من عملية البناء الضوئي لاستعماله فى التنفس ، وكذلك يختزن ثاني أكسيد الكربون الناتج من التنفس لاستعماله فى عملية البناء الضوئي. ويلاحظ هذا النسيج فى نباتات كثيرة مثل الألوديا والكنا ونباتات الفصيلة السعدية وغيرها (شكل 16).

4- الأنسجة الميكانيكية Nechanical Tissues

وهـى الأنسـجة الخاصـة بالتـدعيم والتقويـة لمـا تتميـز بـه مـن ترسـيبات أو تغليظات خاصة تؤهلها لهذه الوظيفة.

أ- النسيج الكولنشيمي Collenchyma Tissue

أحد الأنسجة الخاصة بالتقوية وتدعيم النبات – خلاياه حية ذات جدر إبتدائية مغلظة بنظم خاصة وغير ملجننة لها القدرة على استرداد نشاطها المرستيمى إذا ما دعت الضرورة إلى هذا لانشاط.

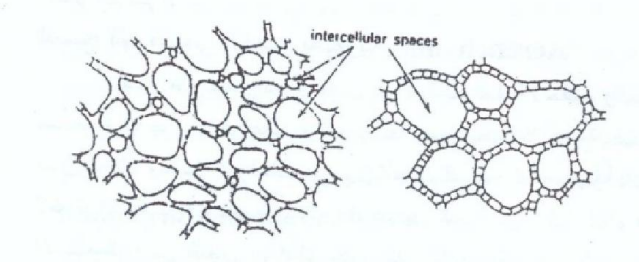
توزيع النسيج الكولنشيمى داخل جسم النبات : (شكل 17)

1- الساق :

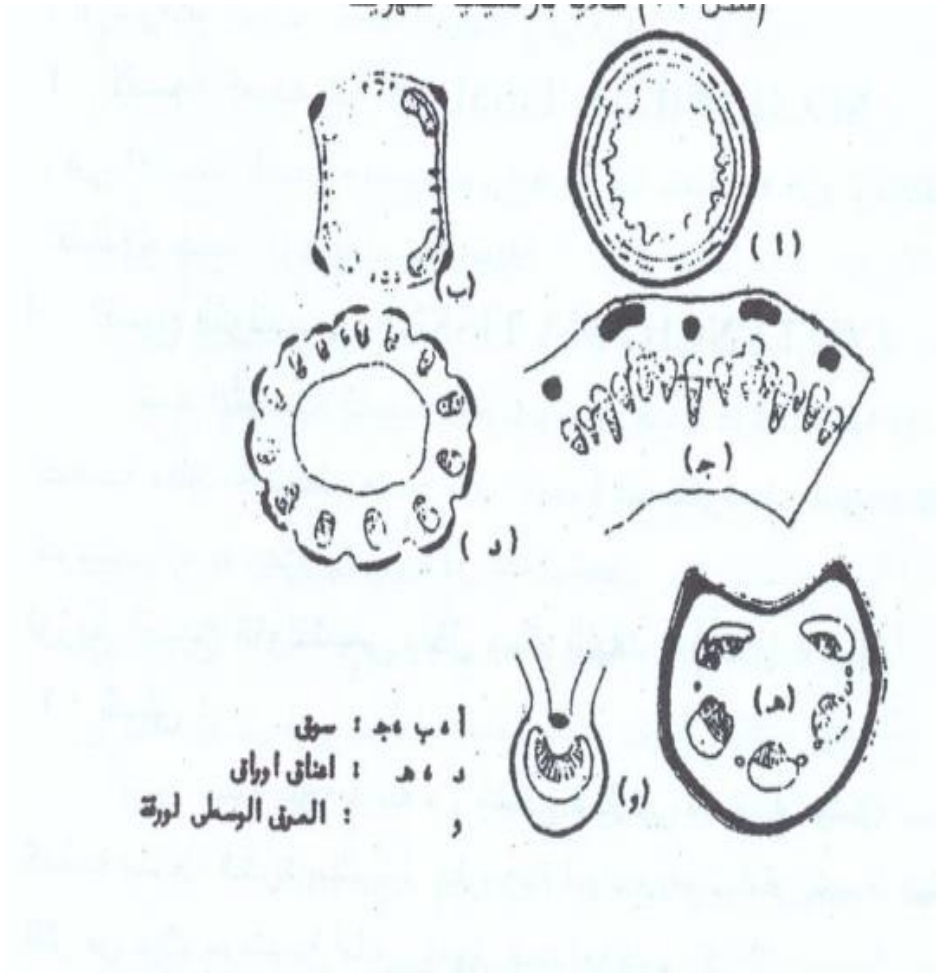
توجد بصفة عامة قريبة من السطح الخارجي للساق أما بشكل اسطوانة كاملة أسفل البشرة مباشرة أو على هيئة مجاميع يفصلها عن البشرة طبقة أو أكثر من خلايا بارنشيمية أما فى السوق المضلعة فتوجد فى الأركان.

2- الأوراق :

يتشابه توزيع النسيج الكولنشيمى فى أعناق الأوراق مع مثيله فى الساق أما النصل فينحصر وجود النسيج اكولنشيمى فى العروق فقط .



(شكل 16) خلايا بارنشيمية للتهوية



(شكل 17) توزيع النسيج الكولنشيمى داخل النبات

نشأة الخلايا الكولنشيمية :

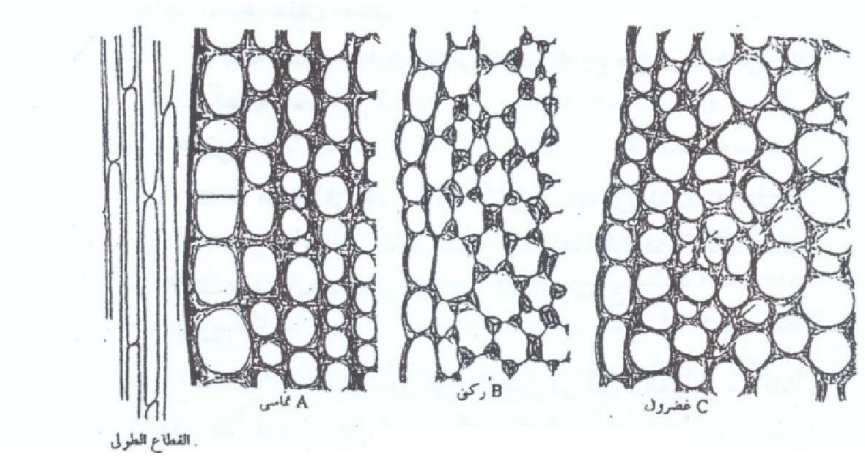
تنشأ الخلايا الكولنشيمية من انقسام خلايا المرستيم الأساسي Ground Meristem.

صفات الخلايا الكولنشيمية :

تمتاز الخلية الكولنشيمية بأنها حية ، مستطيلة الشكل . يتكون جدارها من السليلوز والبكتين . والجدار به نسبة عالية من الرطوبة تصل إلى 70% تقريباً وهو مرن قابل للشد والاستطالة أثناء النمو . هذا علاوة على أن الجدر غنية بالمواد البكتينية.

ونظراً لقدرة الجدر على النمو ومسايرة استطالة الأعضاء الموجودة بها فإن هذا النسيج يمتاز بقابليته للشد والثني وكذلك طواعيته فى التشكيل الأمر الذي يجعله أكثر الأنسجة الدعامية ملاءمة للأعضاء الحديثة النامية.

تظهر الخلية الكولنشيمية فى القطاع العرضي مضلعة الشكل أما فى القطاع الطولي فتبدو مستطيلة بدرجات متفاوتة (شكل 18).



شكل (18) : أنواع النسيج الكولنشيمى

أنواع النسيج الكولنشيمى :

يمكن تمييز الأنواع الآتية من الخلايا الكولنشيمية تبعاً لنظام تغليظ الجدر هى :

1- كولنشيمى ركنى Angular Collenchyma

وهو الشكل النموذجى للخلايا الكولنشيمية ويتم الترسيب بخلاياه على الأركان.

2- كولنشيمى تماسي Lamellar Collenchyma

يحدث التغلظ على الجدر التماسية وذلك إذا كانت الخلايا مرتبة فى صفوف تماسية .

3- كولنشيمى انبوبى Lacunate or Tubular Collenchyma

يمتاز هذا النسيج بوجود مسافات بينية تتخلل خلاياه وتتلغظ الأجزاء من الجدر التى تواجه المسافات البينية فى شكل أنبوبي.

ب- الأنسجة الأسكلرنشيمية Scleronchyma Tissues

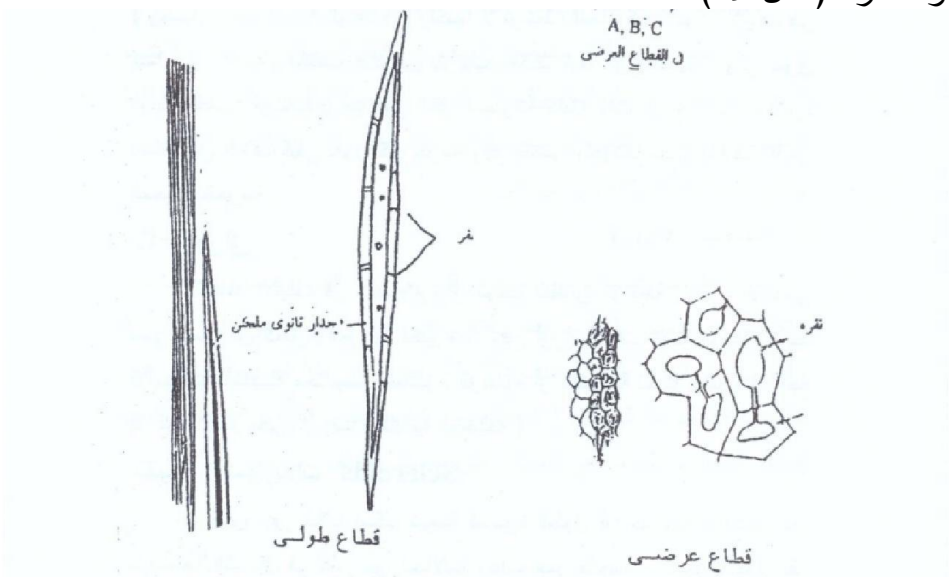
نوع من التراكيب الخلوية ذات جدر ثانوية ملجننة وسميكة تختص بالتقوية والتدعيم . تمتاز خلايا الأنسجة الأسكلرنشيمية عن الكلولنشمية بأنها :

1- ذات جدر ثانوية صلبة ملجننة غالباً.
2- الجدر بها نسبة منخفضة من الرطوبة.
3- خلاياها ميتة ألا نادراً.

تختلف الخلايا الأسكلرنشيمية عن بعضها البعض اختلافاً كبيراً فى الشكل والتركيب والمنشأ لذلك تقسم هذه الخلايا إلى نوعين هما:

أولاً : الألياف Fibers

هى عبارة عن خلايا مغزلية الشكل عادة أى ذات أطراف مدببة . ويختلف طولها فقد تكون قصيرة وقد تكون طويلة تصل إلى 10مم أو أكثر وقد تصل إلى حوالى نصف المتر فى نبات الرامى Boehmeria nivea . ويتراوح عرض الألياف فى أوسع منطقة من 0.015 إلى 0.28 مم . تظهر الليفة فى القطاع العرضى كخلية مضلعة ، جدرها ذات تغلظ متساوى إلى حد كبير ، ويختلف فراغ الخلية الداخلي فى الأتساع تبعاً لسمك الجدار ويظهر على الجدر نقر بسيطة مائلة أو مختزلة (شكل 19) .



(شكل 19) خلايا الألياف

توزيع الألياف داخل النبات

توجد الألياف أما فردية أو فى مجاميع تتوزع على الوجه التالى داخل الأعضاء النباتية المختلفة .

1- الجذر

تشاهد الألياف فى جذور ذوات الفلقتين الحديثة مرتبطة باللحاء الأبتدائى فى الجزء الخارجي منه وفى بعض جذور ذوات الفلقة الواحدة قد تشاهد مجاميع من الألياف موزعة بلا نظام فى القشرة أو القشرة والنخاع.

2- الساق

تشاهد الألياف فى سوق ذوات الفلقتين فى الجزء الخارجي من اللحاء الأبتدائى على هيئة أشرطة وقد توجد كأسطوانة كاملة داخل القشرة مباشرة (وخارج الأسطوانة الوعائية) ولكنها لا ترتبط باللحاء كما تتكون الألياف فى كل من اللحاء والخشب الثانويين بترتيب يختلف تبعاً لنوع النبات. وفى سوق ذوات الفلقة الزاحدة توجد على شكل اسطوانة كاملة ذات أذرع تتصل بالبشرة فضلاً عن غلاف ليفى حول كل حزمة وقد يقتصر وجودها على الغلاف الليفى المحيط بالحزمة.

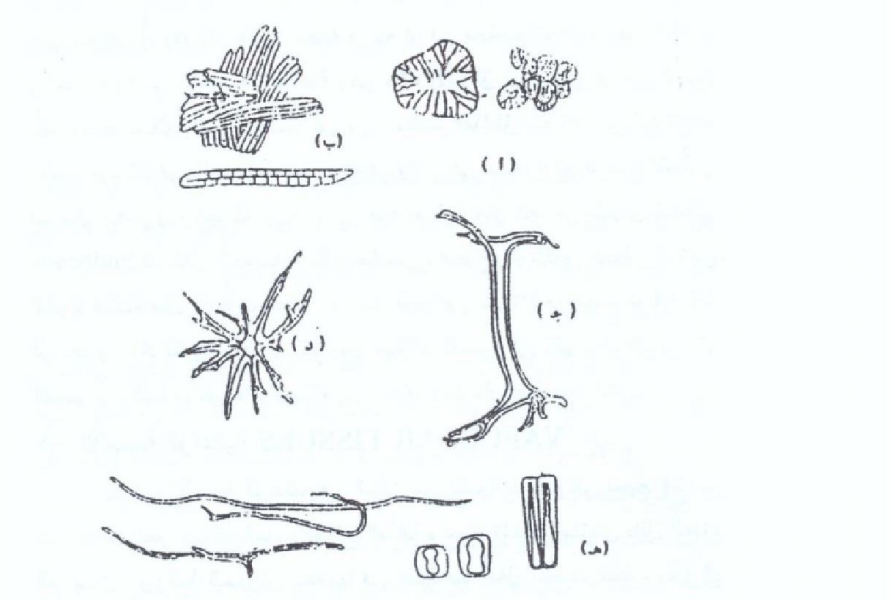
3- الأوراق

تشاهد الألياف فى بعض أوراق ذوات الفلقتين مرتبطة باللحاء الأبتدائى فى كل من العنق والعروق الكبيرة. وفى أوراق ذوات الفلقة الواحدة توجد الألياف كأغلفة محيطة بالحزم الوعائية أو كأشرطة تحت البشرة (راجع التركيب التشريحى للأعضاء النباتية المختلفة)

ثانياً : الأسكلريدات Sclereids

عبارة عن خلايا اسكلرنشيمية قصيرة الطول أو متساوية الأقطار غير منتظمة الشكل فى كثير من الحالات ، ذات جدر ملجننة – توجد بالجدار نقر بسيطة . وتتوزع الاسكلريدات بكثرة فى جسم النبات فتوجد فى قشرة ونخاع عاريات البذور وذوات الفلقتين بحالة فردية أو فى مجاميع كما توجد فى الخشب واللحاء وفى الأشعة النخاعية وفى حالة الأوراق توجد موزعة فى النسيج المتوسط للأوراق وخاصة أوراق نباتات المناطق الحارة. وكذلك توجد الاسكلرديات فى الثمار أما على حالة فردية أو فى مجاميع فى النسيج الشحمى لها مثل الكمثرى والجوافة ، وقد تكون طبقة صلبة تمثل الغلاف الثمرى الداخلى Endocarp للثمار الحسلية مثل

المشمش والخوخ أو تكون الجدار الخشبى للثمرة البندقة مثل البندق وغيره. وتوجد أيضاً فى بشرة الحراشيف الواقية كما فى الثوم. وقد تكون طبقة أو أكثر من طبقات القصرة فى كثير من البذور مثل الفاصوليا والبسلة وغيرها وإليها تعزى صلابة ومناعة أغلفة هذه البذور.



(شكل 20) بعض أنواع الأسكلريدات
أ- الخلايا الحجرية
ب- الخلايا العمادية
جـ- الخلايا العظمية
د- الخلايا النجمية
هـ- أشكال أخرى

5- الأنسجة الوعائية Vascular Tissues

تتركب الأنسجة الوعائية فى النبات من أنسجة مركبة هى نسيج الخشب الذى يختص بنقل الماء والملاح المذابة ونسيج اللحاء ويختص بنقل الغذاء المجهز. ويرتبط النسيجان ببعضها فى امتدادهما داخل أعضاء النبات ومن ثم يطلق عليهما معاً اسم الجهاز الوعائى.

أ- الخشب Xylem

الخشب عبارة عن نسيج مركب من عدة أنسجة بسيطة بعضها حى والأخر ميت منها ما هو مختص بالنقل والتوصيل ومنها ما هو خاص بالتقوية والتدعيم ومنها ما يقوم بمختلف الأنشطة الحيوية. وينشأ الخشب الابتدائى من منشئ الأسطوانة الوعائية (البروكامبيوم) أما الخشب الثانوى فيتكشف نتيجة لنشاط الكامبيوم الوعائى فى النباتات التى يحدث بها نمو ثانوى.

مكونات الخشب :

يتكون نسيج الخشب من التراكيب الخلوية الآتية :

1- العناصر الناقلة Tracheary Elements .

وتتكون من نوعين رئيسيين هما القصيبات Tracheids والأوعية Vessels.

2- ألياف الخشب Xylem Fibers .

3- بارنشيمية الخشب Xylem Parenchyma .

وقد يتحول بعض هذه الخلايا البارنشيمية إلى اسكلريدات .

4- فى بعض الأنواع النباتية قد توجد تراكيب إفرازية

1- العناصر الناقلة Tracheary Elements

تتكون العناصر الناقلة للماء من القصيبات والأوعية ، والأولى توجد أساساً فى النباتات الوعائية اللابذرية وعاريات البذور وتوجد كذلك فى بعض كاسيات البذور. أما الأوعية فتوجد عادة فى كاسيات البذور ، وتوجد فى بعض السرخسيات.

والعناصر الناقلة بنوعيها (شكل 21) عند تمام تميزها تكون مستطيلة عادة وقد يزداد بعضها فى العرض وتأخذ شكل الطبلة Drum Shaped ولها جدر ثانوية ملجننة وخالية من البروتوبلاست.

والقصيبة عبارة عن خلية ميتة طويلة فى اتجاه التوصيل ذات فراغ متسع نوعاً وتتصل القصيبات بعضها طولياً على امتداد المحور الطولى للعضو النباتى. ويوجد بالجدر كثير من الأزواج النقرية حيث يتم اتصال السوائل بها عن طريق أغشية هذه النقرة . وتظهر القصيبة فى القطاع العرضى مضلعة وقد تكون مستديرة.

أما الوعاء فهو عبارة عن عدة خلايا كل منهما يعرف بالوحدة الوعائية وتتلاشى الجدر العرضية جزئياً أو كلياً ويتكون من تلاشى هذه الجدر ثقب واحد أو عدة ثقوب وقد توجد هذه الثقوب أيضاً فى الجدر الجانبية.

مكونات عناصر الخشب

تتميز العناصر الناقلة فى الخشب الإبتدائى إلى نوعين حسب ميعاد ظهورها هما الخشب الأول Protoxylem والخشب الثانى Metaxylem إذ يظهر الخشب الأول عند بداية تكشف الأنسجة الوعائية وعادة يتم نضج وحداته وترسيب الجدر الثانوية بها قبل تمام استطالةالعضو النباتى ، ويكون الترسيب الثانوى فى هذه الحالة من النوع الحلقى أو الحلزونى ، أما وحدات الخشب الثانى فتظهر بعد الخشب الأول أثناء استطالة العضو النباتى ولكن يتم الترسيب الثانوى بها عند تمام استطالة العضو ويكون الترسيب من النوع السلمى أو الشبكى أو النقرى.

تركيب الجدار الثانوى للعناصر الناقلة (شكل 22)

تتغلظ الجدر الإبتدائية للعناصر الناقلة فى الخشب جزئياً بأنظمة مختلفة ، وعموماً كلما تأخر الوعاء أو القصيبة فى التكشف كلما زادت المساحة من الجدر الإبتدائي التى تغطى بالجدر الثانوية بمعنى أنه فى الخشب الأول Protoxylem (وهو أول عناصر الخشب تكشفاً) تكون المساحة من الجدر الإبتدائية المغطاه بالجدر الثانوية أقل منها فى الخشب الثانى Metaxylem وهذه أقل منها فى الخشب الثانوى Secondary xylem . وأبسط أنواع التغلظ يشاهد على صورة حلقات ويعرف بالتغلظ الحلقى Annular أو يزاد الترسيب عن ذلك ويصبح الجدار الثانوى بشكل حلزونى واحد أو أكثر ويطلق عليه التغلظ الحلزونى Spiral or Heical . وقد يكون على شكل سلم أو شبكة .

وقد يغلظ الجدار كله مع ترك نقر بسيطة أو مضفوفة ويسمى نقرى Pitted وقد يوجد أكثر من تغلظ فى الوعاء كوجود الحلقى والحلزونى معاً.

2- ألياف الخشب Xylem Fibers

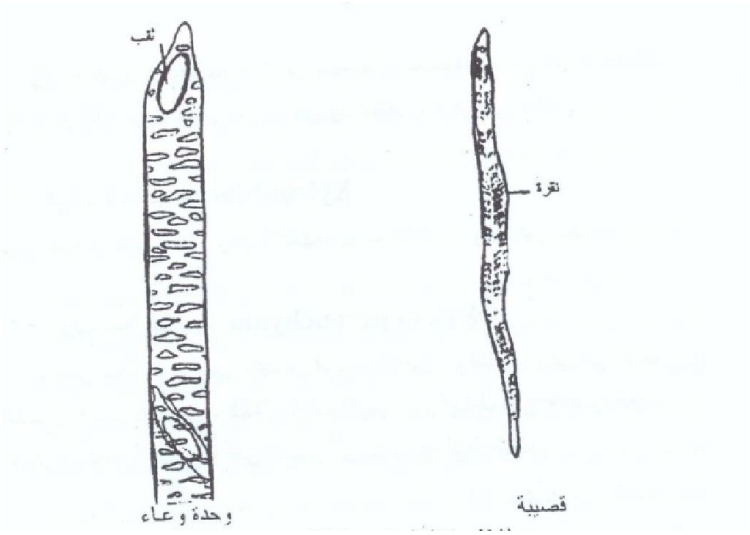
وهى عناصر ميتة ملجننة وحيدة الخلية ومدببة الأطراف وقد تكون مقسمة.

3- بارنشيمة الخشب Xylem parenchyma

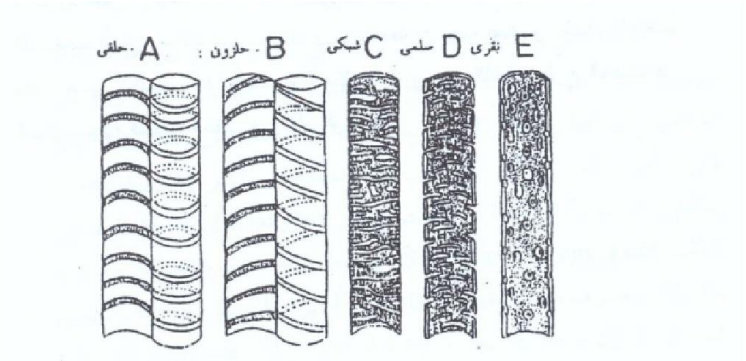
وهى خلايا توجد بين مكونات الخشب الإبتدائى والثانوى وهى فى الأخير تكون على نوعين : الخلايا البارنشيمية الموازية للمحور الطولى للعضو النباتى ، والخلايا العمودية على المحور أى بارنشيمة أشعة الخشب.

ب- اللحاء Phloem

يختص هذا النسيج بتوصيل الغذاء المجهز ويشابه الخشب فى كونه نسيجاً مركباً . ينشأ اللحاء الإبتدائى من منشئ الأسطوانة الوعائية (البروكامبيوم) بينما ينشأ اللحاء الثانوى من نشاط الكامبيوم الوعائى وذلك فى النباتات التى يحدث بها نمو ثانوى ويلاحظ أن جدر عناصر اللحاء لا تتغلظ كما فى الخشب عدا الألياف والاسكلريدات ويوجد اللحاء خارج الخشب فى السوق وجهة السطح السفلى فى الأوراق.



(شكل 21) العناصر الناقلة فى الخشب



(شكل 22) تركيب الجدار الثانوى للأوعية

عناصر أو مكونات اللحاء :

يتكون اللحاء من التراكيب الخلوية الآتية :

1- العناصر الغربالية Sieve Elements

وتتكون من نوعين رئيسيين هما الخلايا الغربالية Sieve cells (وهى تقابل القصيبات فى نسيج الخشب) والأنابيب الغربالية (وهى تقابل الأوعية).

2- الخلايا المرافقة Companion Cells (فى كاسيات البذور).

3- بارنشيمة اللحاء Phloem Parenchyma.

4- ألياف اللحاء والاسكلريدات Phloem Fibers and Sclereids .

5- تراكيب إفرازية Glandular Structures .

وكما هو الحال فى الخشب الإبتدائى فإن أول ما يتكشف من اللحاء الإبتدائى هو اللحاء الأول Protophloem ويلاحظ أنه يتكشف عادة ويتضح أثناء استطالة العضو النباتي بسرعة وبذلك تشد وتتكسر عناصره.

ثم يتكون اللحاء الثانى Metaphloen أما اللحاء الثانوى فيتكون من العناصر الغربالية (خلايا أو أنابيب) والخلايا المرافقة (فى كاسيات البذور) وبارنشيمة اللحاء والألياف وفيما يلى وصف مكونات اللحاء باختصار.

1- العناصر الغربالية Sieve elements

سبق القول أنها قد تكون خلايا غربالية كما فى عاريات البذور وهى خلايا طولية أطرافها مستدقة ، تتراكب أطرافها على بعضها البعض وتوجد المسطحات الغربالية على هذه الأطراف بكثرة وهذه المسطحات تمتاز بخيوط موصلة رفيعة وثقوب ضيقة وبالتالى لا يطلق عليها أسم الصفائح الغربالية . أو قد تكون أنابيب غربالية تتكون من وحدات تتصل ببعضها طولياً كما فى كسيات البذور ، ويفصل بين هذه الوحدات جدر عرضية بها مساحات مثقبة تسمى المسطحات الغربالية Sieve Areas وتعرف أجزاء الجدر الحاملة للمسطحات الغربالية بالصفائح الغربالية Sieve plates . (شكل 23) .

2- الخلايا المرافقة Companion Cells

هى عبارة عن خلايا تجاور الأنابيب الغربالية فى كاسيات البذور فقط ولا توجد فى عاريات البذور والنباتات التيريدية ، وتعتبر خلايا بارنشيمية عالية التخصص تشترك مع وحدات الأنابيب الغربالية فى المنشأ والموضع والوظيفة. وقد لا توجد الخلايا المرافقة فى اللحاء الأول فى بعض نباتات كاسيات البذور.

3- برانشيمة اللحاء Phloem parenchyma

يحتوى اللحاء على خلايا بارنشيمية تقوم بتخزين المواد النشوية والدهنية وبعض المواد الأخرى مثل التينينات والراتنجات. والخلية ذات أشكال مختلفة فقد تكون مستطيلة أو عديدة الأسطح أو أسطوانية ، وقد ينشأ الكامبيوم الفلينى من بارنشيمة اللحاء فى بعض النباتات.

4- ألياف اللحاء والاسكلريدات Phloem Fibers and Sclereid

سبق وصفها فى دراسة النسيج الاسكلرنشيمى وتوجد الألياف فى لحاء كثير من النباتات البذرية سواء فى اللحاء الإبتدائى أو الثانوى . وهى فى ذوات الفلقتين لا توجد عادة فى اللحاء الثانى ولكنها توجد فى اللحاء الأول والثانوى. وفى ذوات الفلقة الواحدة تكون الألياف غلافاً حول الحزم الوعائية.

نظم ترتيب الأنسجة الوعائية

تنتظم الأنسجة الوعائية (الخشب واللحاء) فى تراكيب خاصة تعرف بالحزم الوعائية Vascular Bundles وتعرف الحزمة الوعائية بأنها عبارة عن جزء

شريطى من الجهاز الوعائى ويختلف وضع كل من الخشب واللحاء بالنسبة للآخر وعلى ذلك توجد الأنواع التالية من الحزم.

1) الحزم الجانبية Collateral Bundles

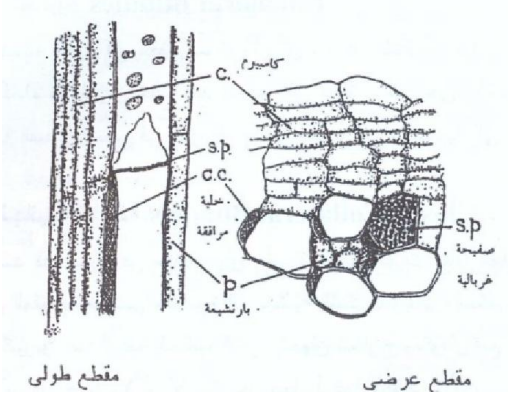
توجد هذه الحزم فى معظم سوق وأوراق النباتات البذرية ، وفيها يوجد الخشب واللحاء متجاوران حيث يقع اللحاء على الجانب الخارجي للخشب فى السوق وناحية السطح السفلى فى الأوراق ويمكن تقسيم الحزم الجانبية إلى :

أ- الحزم الجانبية المقفلة Closed Collateral Bundles

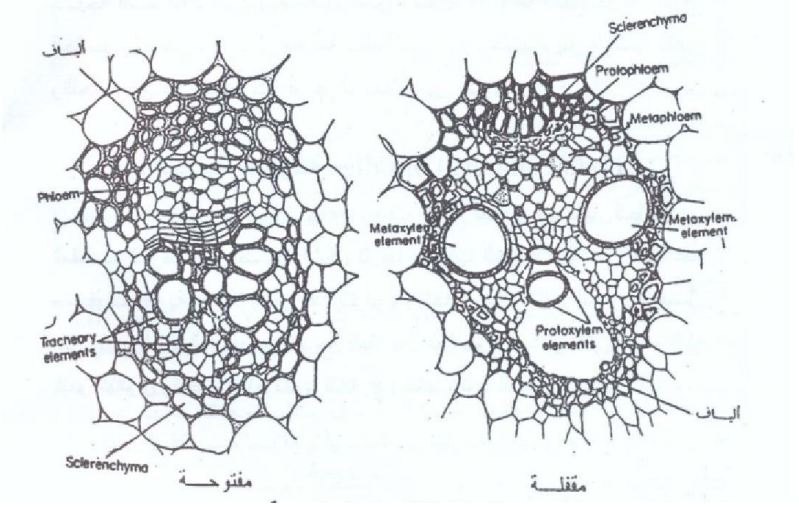
توجد هذه الحزم فى معظم سوق وأوراق نباتات ذوات الفلقة الواحدة ، وتظهر فى المقطع العرضي مستديرة إلى بيضية الشكل ، ويتميز الخشب عادة إلى وعائين كبيرين هما اوعية الخشب الثانى يتجهان للخارج ويكونان مع اوعية الخشب الأول شكل حرف Y أو V وقد يحل محل أوعية الخشب الأول نتيجة للأستطالة السريعة أثناء النمو فراع نتيجة تكسر بعض وحداته. (شكل 24) أما اللحاء فيوجد خارج الخشب الثانى وتسمى الحزمة مغلقة لعدم وجود كامبيوم بين الخشب الثانى واللحاء وهى عادة تحاط كلياً أو جزئياً بغلاف من الألياف.

ب- الحزم الجانبية المفتوحة Open Collateral Bundles

توجد هذه الحزم فى سوق معظم نباتات ذوات الفلقتين ، وتظهر الحزمة فى المقطع العرضي بيضية الشكل تقريباً ويترتب الخشب فيها على هيئة عدة صفوف قطرية وقد لا يظهر هذا الترتيب ويتجه الخشب الثانى للخارج ويفصل بينه وبين اللحاء الذى يوجد خارجه طبقة من الكامبيوم الوعائى التى تنقسم أثناء النمو الثانوى وتعطى لحاءاً ثانوياً للخارج وخشباً ثانوياً للداخل (شكل 24).



(شكل 23) تركيب اللحاء فى ذوات الفلقتين



(شكل 24) الحزم الجانبية

2) الحزم ذات الجانبين Bicollatcral Bundles

قد يوجد الخشب بين لحائين أحدهما خارجى والآخر جهة الداخل كما فى العائلة القرعية والباذنجانية وغيرهما ولذلك تسمى الحزمة الوعائية ذات الجانبين.

3) الحزم المركزية Concentric Bundles

تسمى الحزمة الوعائية المركزية إذا شغل أحد مكوناتها مركز الأخر الذى يحيط به ويغلفه وبذلك تقسم الحزم المركزية إلى :

أ- الحزم مركزية الخشب : وفيها يوجد الخشب فى مركز اللحاء.

ب- الحزم مركزية اللحاء : وفيها يتوسط اللحاء مركز الحزمة ويحاط بالخشب .

4) الحزم القطرية Radial Bundles

يعتبر البعض الأسطوانة الوعائية فى الجذور نوعاً من الحزم الوعائية ويطلق عليه اصطلاح الحزم القطرية ، وفيها يترتب الخشب واللحاء قطرياً فى مجاميع متبادلة كل منهما على نصف قطر مستقل عن الآخر ويتساوى عدد أشرطة الخشب مع أشرطة اللحاء المتبادلة معها . وفى جذور نباتات ذات الفلقتين يكون عدد

أشرطة الخشب محدوداً من أثنين إلى ستة بينما فى ذوات الفلقة الواحدة فهى عديدة (راجع تشريح الجذور).

6- الأنسجة الإفرازية Secretory Tissues

يشمل هذا النوع من الأنسجة جميع الخلايا التى لها علاقة مباشرة بأفراز الصموغ والراتنج والزيوت والرحيق وما شابه ذلك ، ويلاحظ أن وضع هذه الأنسجة فى مجموعة واحدة يعتمد على الناحية الفسيولوجية فقط ، حيث أن الخلايا والأنسجة الأفرازية غالباً لا تتحدد فى المنشأ ولا فى الشكل ، ولكنها تتحدد فى الوظيفة وهى الإفراز . ويمكن تمييز النسيج الإخراجى عن الإفرازى حيث الإفرازات فى الأول تتسرب من الخلايا المفرزة مثل الغدد الرحيقية والغدد المائية ، أما النسيج الإفرازى فتحتفظ خلاياه بإفرازاتها داخلها ولا تخرج منها إلا فى حالة جرح النبات وذلك مثل الغدد اللبنية.

وتمتاز الخلية المفرزة بكبر حجمها ، ووجود طبقة رقيقة من السيتوبلازم وكبر حجم لنواة وكبر تجويف الخلية الذى يمتلئ بالمواد المفرزة. وتتحور الخلايا المفرزة عادة وتأخذ شكلاً خاصاً يسمى الغدة Gland .

تصنيف الغدد :

تنقسم الغدد إلى قسمين رئيسيين هما الغدد الخارجية والغدد الداخلية.

1. الغدد الخارجية :

تختلف المواد المفرزة اختلافاً كبيراً من نبات إلى أخر بل وفى نفس النبات فقد تكون زيوتاً أو سائلاً سكرياً أو راتنجات أو أملاحاً (فى كثير من نباتات البيئة المالحة) أو رحيق أو مواد مخاطية أو عصارات هاضمة كما تقوم الثغور المائية بإفراز الماء ومن أهم التراكيب أو الغدد الخارجية.

أ- الشعيرات الغدية :

عبارة عن شعيرات وحيدة الخلية (بسيطة) أو عديدة الخلايا وفى الحالة الأخيرة تتكون الشعيرة من عنق ورأس وهو الذى يقوم بالإفراز.

ب- الغدد الرحيقية Nectaries :

تنتج معظم النباتات حشرية التلقيح Entomophilous Plants رحيقاً Nectar لجذب الحشرات يفرز من خلايا خاصة توجد على الأعضاء الزهرية نفسها ونادراً ما توجد على أعضاء خارج الزهرة كالقنابة مثلاً.

ج- الغدد المائية Hydathodes

تتخلص كثير من النباتات من الماء الزائد وهو فى حالته السائلة عن طريق الغدد المائية ، وهذه الغدد تكون سطحية Epidermal Hydathodes أى لا تتصل أتصالاً مباشراً بالجهاز الناقل وفى هذه الحالة أما أن تكون وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا.

وقد يصل البعض الآخر اتصالاً مباشراً بالجهاز الناقل كالتى توجد فى نهايات الحزم الوعائية فى أوراق ذوات الفلقة الواحدة وبعض ذوات الفلقتين.

2. الغدد الداخلية

ومنها الأنواع الآتية :

أ- الخلايا الافرازية :

تشاهد كخلايا متخصصة بين الخلايا الأخرى للأنسجة المختلفة وقد تكون هذه الخلايا أكبر حجماً من جارتها.

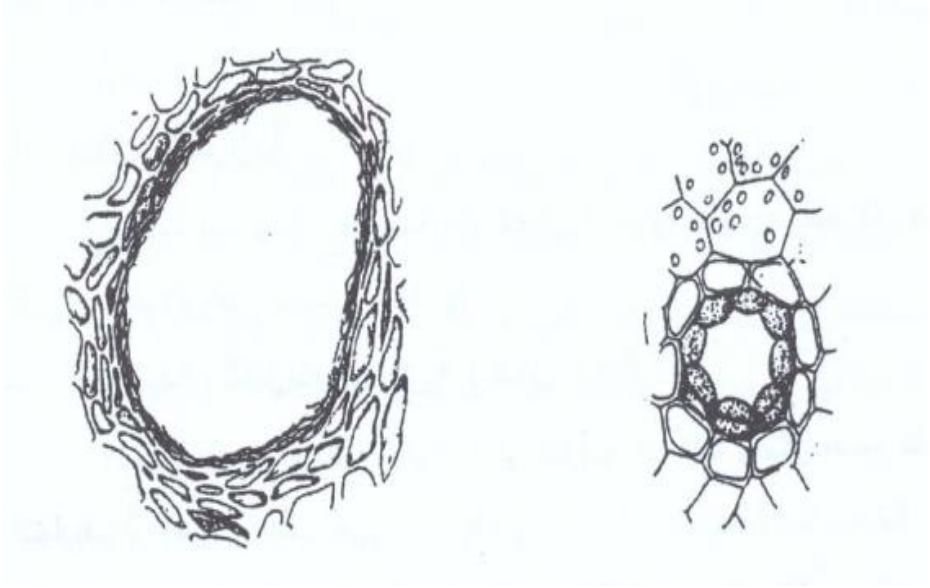
ب- التجاويف والقنوات الإفرازية (شكل 25)

تختلف عن الخلايا الافرازية فى تكوينها فراغات ويمكن تقسيم هذه التجاويف أو القنوات حسب طريقة نشأتها إلى :

1) تجاويف تباعدية Schieogenous Cavities وهى التى تنشأ من تباعد الخلايا المفرزة بعد تمام تكوينها كما يلاحظ فى الغدد الراتنجية فى الصنوبر والكافور.
2) تجاويف تكسرية أو تهشمية Lysigenous Cavities وهى التى تنشأ نتيجة لتمزق وتهشم بعض الخلايا تاركة فراغاً يمثل القناة ويلاحظ ذلك فى القنوات الزيتية.
3) تجاويف تباعدية تكسرية Schizlysigenous Cavities وهى التى تتكون بتباعد الخلايا المفرزة أولاً ثم يتمزق جدرها ثانياً كما فى القنوات الزيتية فى قشرة المانجو.

ج-القنوات اللبنية Laticiferous Ducts

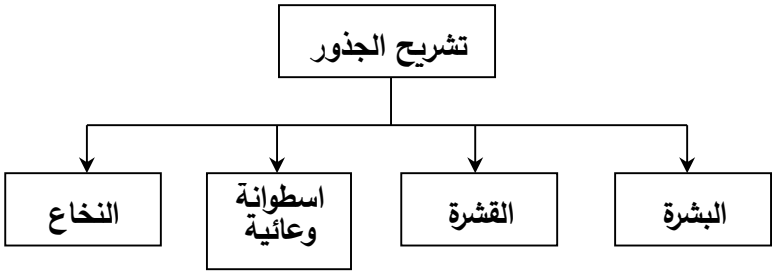
عبارة عن قنوات تحتوى على سائل يعرف باللبن النباتى Latex



قناة تباعدية **تجويف تكسرى**

شكل (25) التجاويف والقنوات الأفرازية

تشريح الأعضاء النباتية
الجسم الإبتدائى
THE PRIMARY PLANT BODY



يبدأ النبات حياته بمرحلة مرستيمية كاملة تسمى الجنين ويحاط برعاية كاملة داخل البذرة – وعند توافر الشروط الملائمة للأنبات يخرج الجنين من كمونة وينشط للنمو خارج الغلاف الواقى للبذرة مكوناً البادرة . وخلال نمو الجنين بسرعة تتحول الكثير من خلاياه إلى أنسجة بالغة ما عدا قمم الجذور والسوق وأفرعهما التى تستمر بحالتها المرستيمية لكى تعطى أنسجة جديدة لبناء جسم النبات الإبتدائى بأعضائه من جذور وسوق وأفرع وبراعم والتى تختلف فى التركيب التشريحى الخاص الذى يتلائم مع دور كل منها فى الجسم النباتى الإبتدائى (شكل 26 ، 27).

تشريح الجذور الإبتدائية Anatomy of roots

الجذور root هو الجزء من المحور النباتى الذى يتواجد عادة داخل التربة ومن سماتها المورفولوجية المميزة :

1- تكسو قمتها عادة قلنسوة مميزة .
2- خالية من الثغور .
3- عدم حملها لبراعم.
4- غير مقسمة إلى عقد وسلميات .
5- الأفرع الجانبية تنشأ داخلية من البريسيكل وعلى ابعاد غير منتظمة.
6- تنتهى القشرة المتسعة بنسيج الأندودرمز.

دراسة التطور Developmental Study

ينمو الجذير فى ذوات الفلقتين ومعراة البذور لتكوين الجذر الوتدى (الإبتدائى) الذى يتفرع مكوناً مجموعاً جذرياً أصلياً أما فى ذوات الفلقة فإن دورة الحياتي قصير (طور البادرة) ولذلك تخرج من المحور الساقي جذور عرضية عديدة تكون المجموع الجذرى العرضى الليفى.

التركيب التشريحى : (28)

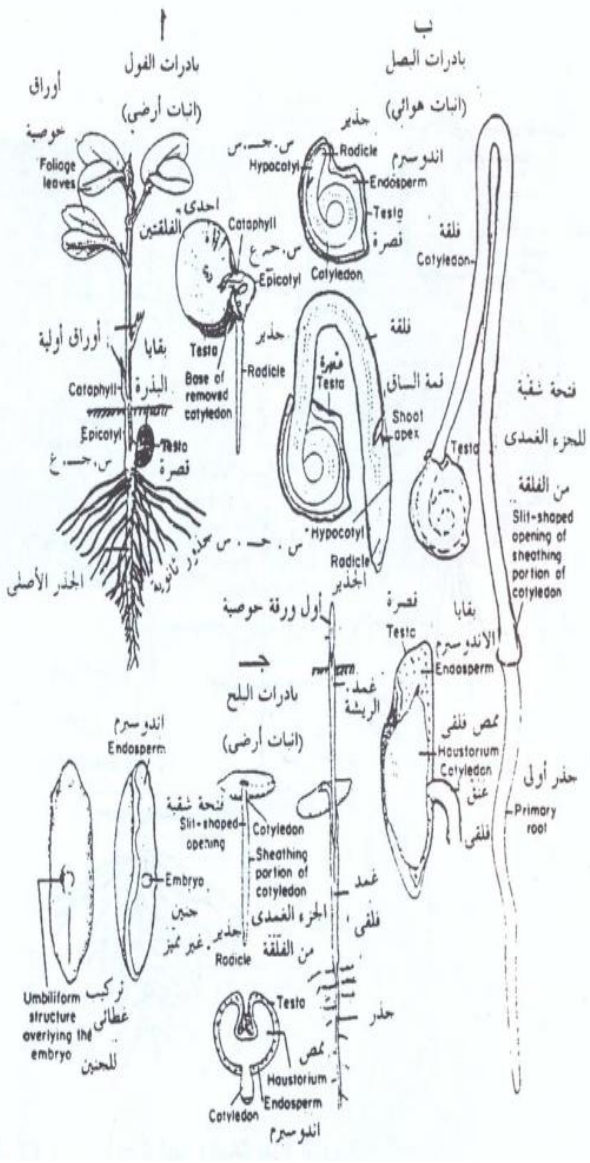
يعتمد البناء الجذرى على ثلاث أجهزة نسيجية : بشرى وأساسى ووعائى.

الجهاز الأدمى (البشرى) Dermal System

يختلف النسيج الأدمى بأختلاف نوع الجذر وعمر المنطقة الجذرية بصفة عامة. تغطى الجذور من الخارج بصف واحد من الخلايا يسمى الطبقة الخارجية (السطحية) Epibema كما تعرف أيضاً بأسم الطبقة الوبرية Piliferous Layer لأنها تعطى من خلاياها النتوءات الشعرية الدقيقة المعروفة بالشعيرات الجذرية Root Hairs تتخصص خلايا الطبقة السطحية فى عملية الامتصاص فنلاحظ فى بعض النباتات وجود خلايا مميزة تنشأ منها الشعيرة الجذرية تسمى Trichiblast التى تمتد بشكل أنبوبى بين حبيبات التربة لزيادة سطح الأمتصاص بينما الخلايا عديمة النموات فتسمى Atrichoblast وتسهم بنسبة ضئيلة فى عملية الأمتصاص – تتناقص النتوءات الشعرية بتزايد الرطوبة ولذلك تختفى فى جذور النباتات المائية.

تتميز البشرة الجذرية بخلوها من الكوتنة ولكن أحياناً تظهر ترسيبات مغلظة لتلك الجدر لتسهم البشرة فى عملية الحماية.

نظراً لتمزق الشعيرات الجذرية لذلك يعمل النبات على تغليظ الطبقة الخارجية من خلايا القشرة بترسيب غير منفذ (سوبرة مدعمة بالسليلوز) لحماية المناطق الداخلية تسمى هذه الطبقة الواقية الأكسودرمز Exodermis .

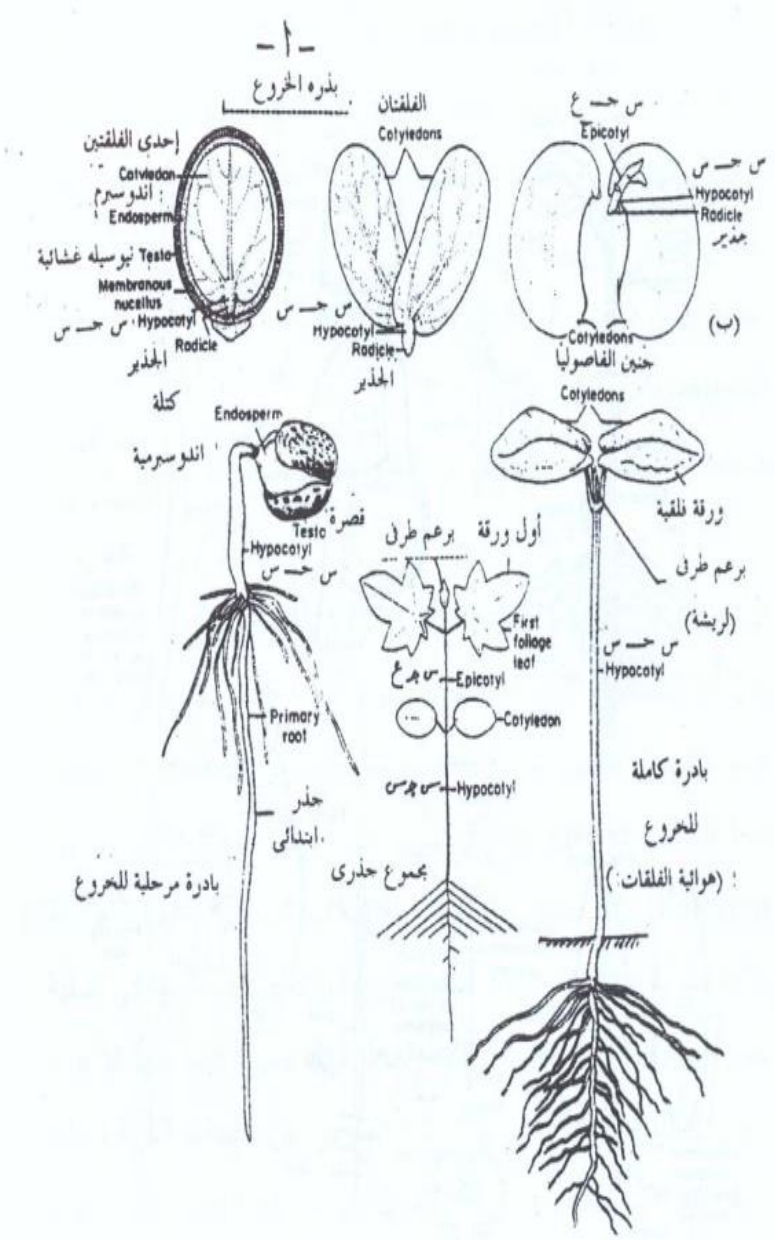


(شكل 26) :

أ- بادرات الفول

ب- تركيب بذرة البصل وبادرتها

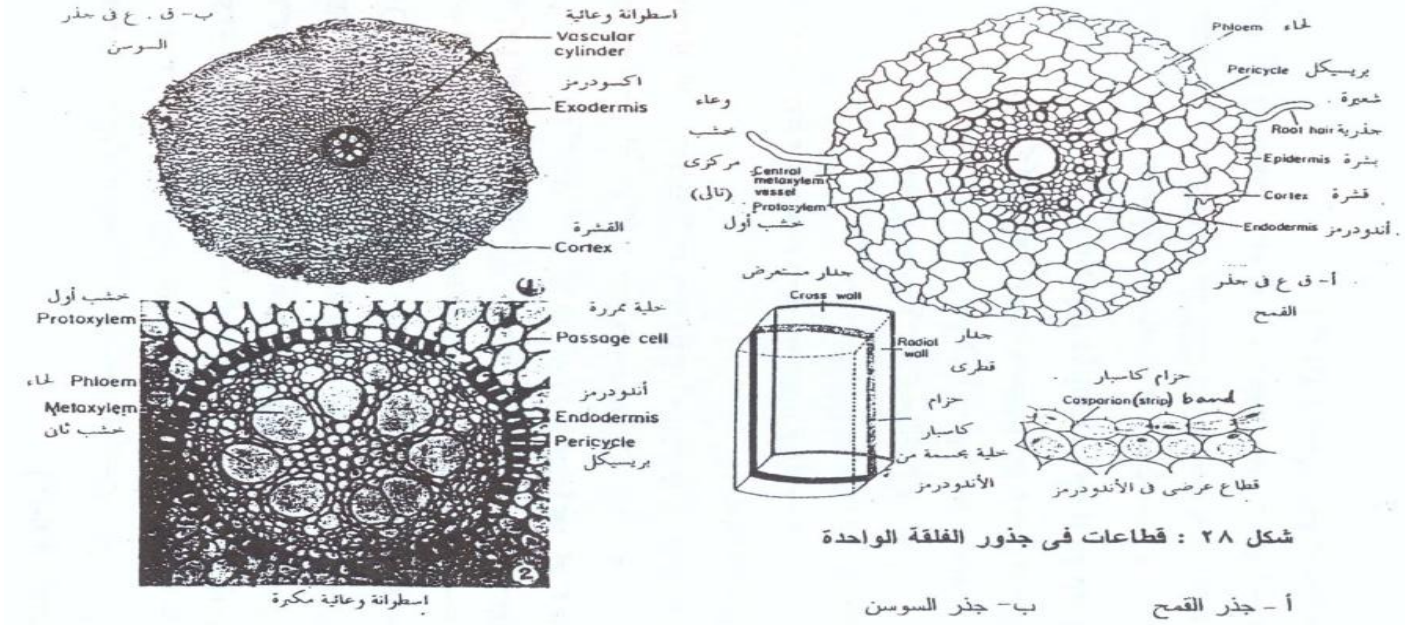
جـ- تركيب بذرة البلح وبادرتها



(شكل 27) :

أ- تركيب وإنبات بذرة الخروع

ب- تركيب بذرة الفاصوليا



شكل ٢٨ : قطاعات فى جذور الفلقة الواحدة

أ - جذر القمح ب- جذر السوسن

القشرة Cortex

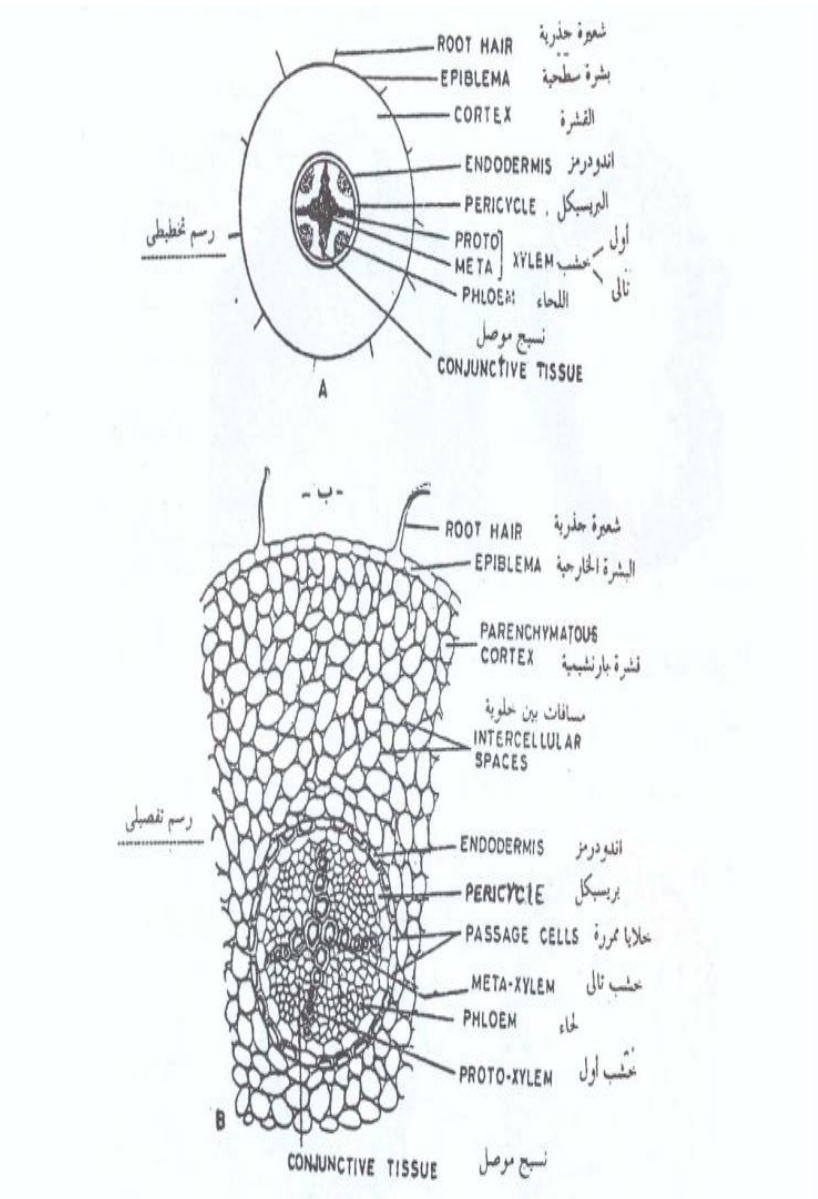
الجزء الرئيسى من النسيج الأساسى – خلاياها بارنشيمية بينها مسافات بينية مختلفة الحجم – قد يزداد أتساعها حتى تتكون تجاويف تنفسية (نسيج تهوية) كما فى نباتات البيئة نصف المائية (فى الأرز) والمائية – يتكون الأكسودرمز من طبقة أو أكثر من خلاياها الخارجية – وتنتهى دائماً فى الجانب الداخلى منها بطبقة الأندودرمز Endodermis التى تتميز فى ذوات الفلقتين بخلاياها البرميلية الشكل ووجود ما يعرف بحزام كاسبار Casparin bane فى الجدر القطرية Radial Walls كشريط سوبرين غير منفذ – أما فى جذور الفلقة الواحدة تتغلظ جدر خلايا طبقة الأندودرمز إلى درجة كبيرة بترسيب ثانوى غير منفذ وتختلف درجة الترسيب على الجدار التماسى الخارجى. قد تترك بعض الخلايا المقابلة للخشب بدون الترسيب المستعرض ولذلك تعتبر تلك الخلايا هى المتحكمة فى النفاذية ولذلك تسمى خلايا ممرة Passage or Transfusion Cell .

ومن ضمن محتويات بارنشيمية القشرة وجود البلاستيدات عديمة اللون leucoplasts وبالتالى نشاهد فيها النشا المخزن.

تبقى القشرة مع الجذر طول حياته كما فى جذور الفلقة الواحدة وكثير من جذور الفلقتين العشبية ولكن الجذور المسنة التى يحدث بها تغليظ ثانوى يلاحظ موت خلايا القشرة الإبتدائية وتلاشيها (حتى الأندودرمز).

الأسطوانة الوعائية Vascular cylinder

أول نسيج خارجى يطوق الأسطوانة الوعائية هو نسيج البريسيكل ويكون بشكل طبقة خلايا بارنشيمية تبلغ مبكراً ولكنها قد تستعيد النشاط فى مواقع تكوين الأفرع الجذرية وتسمى الجذور الجانبية أو الجذور الثانوية الخارجة من الجذر الأصلى (الإبتدائى).



(شكل 29) : قطاعات عرضية فى جذر الخروع

أ- رسم تخطيطى A. Diagramtic

ب- رسم تفصيلى B. Detailed

يقوم البريسيكل بدور هام فى النمو الثانوى للجذور التى تتغلظ فى السمك ويسهم فى بناء الجسم الثانوى كما فى جذور ذوات الفلقتين النامية فى السمك .

فى الاسطوانة الوعائية للجذور تتوزع الأنسجة الوعائية (مجاميع الخشب مع مجاميع اللحاء) بنظام قطرى متبادل. لذلك تعرف الأسطوانة الوعائية للجذور بأنها حزمة قطرية.

يتكون الخشب بشكل مجموعات من الوحدات الممتدة قطرياً تسمى : ذراع خشب Arch التى يختلف عددها : فقد يكون الجذر ثنائى الأذرع Diarch أو ثلاثى الأذرع Triarch أو رباعى Tetrarch كما فى جذور ذوات الفلقتين (خشبية وعشبية) وفى معراه البذور ولكن في معظم ذوات الفلقة تكون الأسطوانة الوعائية أكبر ، وأذرع الخشب عديدة Polyarch (أكثر من 8 أذرع) كما فى شكل (28 ، 29).

عند نشأة الجذر يلاحظ أن العناصر الوعائية فى ذراع الخشب تكون ضيقة وتنضج مبكراً ولذلك تسمى الخشب الأول Protoxylem (px) – كلما تأخر النضج واتجهنانحو مركز الاسطوانة يتزايد اتساع العناصر الناقلة وتسمى الخشب التالى Metaxylem .

يختلف التركيب الوعائى لجذور نباتات الفلقة الواحدة فقد تنتظم اوعية الخشب التالى على المحيط الخارجى للنخاع المركزى (المتسع) أو تتبعثر فى الأجزاء الوسطى من الأسطوانة الوعائية ويصعب تحديد النخاع.

يتكشف نسيج اللحاء فى الجذور بظهور وحدات اللحاء الأول جهة الخارج ويليها إلى الداخل وحدات اللحاء التالى. وتتجمع عناصر اللحاء فى مجموعات مستديرة عادة أو مثلثة يفصلها عن أذرع الخشب بارنشيمى موصل Conjunctive Tissue (ممتداً من النخاع).

النخاع Medulla

يتكون عادة من خلايا بارنشيمية تشغل مركز القطاع فى الجذور النخاعية ولكن فى بعض النباتات يحتل نسيج الخشب مركز القطاع ويصبح الجذر أصم (شكل 28–29).

يتميز نخاع الفلقة الواحدة باتساع مسطحة فى الأسطوانة الوعائية وكبر خلاياه وبتقدم العمر يلاحظ ازدياد سمك الجدر ويترسب عليها ترسيب لجنو سليلوزى يزيد من كفاءة الجذر فى التثبيت.

الجذور الجانبية Lateral roots

يتطلب ظهور النموات الجديدة فى المجموع الخضرى توسعاً موازياً فى المجموع الجذرى لمسايرة الاحتياجات المتزايدة. تبدأ عملية تكوين الفرع الجذرى داخلياً من سطح الأسطوانة الوعائية وبذلك تعتبر داخلية المنشأ Endogenous ، فلا يظهر الفرع الجذرى خارجاً من السطح الظاهرى للجذر الرئيسى إلا بعد نموه داخلياً بفترة كافية.

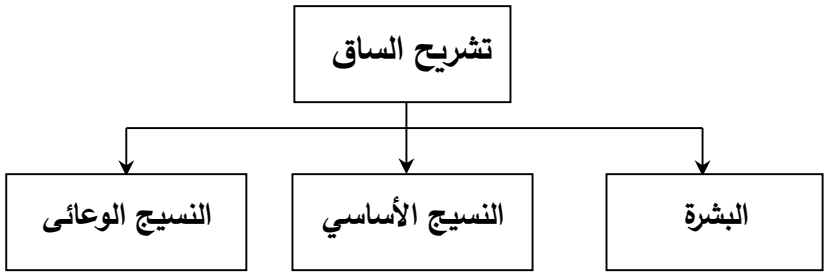
يبدأ الأنقسام الأول فى خلايا البريسيكل بجدر تماسية Tangential Walls ويصاحبه تمدد فى الخلايا – بأستمرار الانقسام تتكون كتلة إنشائية تعتبر منشأ الجذر الجانبى Root Primordium وتكون محاطة بالأندودرمز الذى يساير النمو ويغلفه – وباستمرار نمو المنشأ الجذرى تتهشم خلايا القشرة تحت تأثير الضغط الواقع عليها من الداخل ومن المعتقد أن خلايا القلنسوة (للفرع الجذرى) تفرز مواداً مذيبة لخلايا القشرة التى تعترض طريقها – ويلاحظ أن قمة الفرع الجذرى Root Tip تتكشف بها المنشأت المرستيمية وفى النهاية يتكشف الخشب واللحاء ويتصلان بالخشب واللحاء فى الجذر الرئيسى .

مقارنة بين التركيب التشريحى لجذر فلقتين وجذر الفلقة الواحدة

وجه المقارنة	جذر الفلقتين	جذر الفلقة
النسيج الضام	تقوم الطبقة الخارجية بحماية الجذر تخرج منها الشعيرات الجذرية قصيرة العمر لموت خلاياها بسرعة خلال النمو فى السمك	تقوم البشرة بتكوين الشعيرات الجذرية التى تزول بسرعة وتحل محلها خلايا الأكسودرمز المسوبرة التى تقوم بالحماية
القشرة	بارنشيمية تتكسر خلاياها مع النمو فى السمك	بارنشيمية مستديمة مع الجذر قد تتلجنن خلاياها
الأندودرمز	صف واحد من الخلايا به حزام كاسبيرى واضح (كل الخلايا ممررة)	صف واحد من الخلايا تتغلظ جدرها جزئياً بنظام ب أو كل جدرها ما عدا الخلايا التى يظل الترسيب بها قاصراً على حزام كاسبيرى (وهى الخلايا المررة)
البريسيكل	صف واحد من الخلايا البارنشيمية تخرج منها الجذور الثانوية كما يسهم فى تكوين حلقة الكمبيوم الوعائى والفلينى.	صف واحد من الخلايا البارنشيمية تخرج منه الجذور الجانبية
الخشب	الأذرع محدودة العدد 2 ، 4 ، 6 أوعية الخشب الثانى كثيرة فى ذراع الخشب الجذر غالباً أصم لشغل الخشب لمركز الجذر	الأذرع عديدة غير محدودة العدد . أوعية الخشب الثانى متسعة لكنها قليلة العدد نسبياً وتتوزع أما داخل الأذرع أو بدون نظام فى النخاع الخارجي
اللحاء	مجاميعه محدودة للغاية وحداته أنابيب غربالية خماسية وخلايا مرافقة تتخللها بارنشيمية اللحاء	مجاميعه غير محدودة وحداته أنابيب غربالية ثمانية وخلايا مرافقة لا تتخللها بارنشيمية اللحاء وأن وجدت تشاهدها على المحيط الخارجي لمجموعة اللحاء
النخاع	مساحة ضيقة من الخلايا البارنشيمية لا يشاهد فى الجذور الصماء	متسع نسبياً قد تتلجنن خلاياه المحيطة بالخشب وكذلك منطقة النخاع الخارجية أو كله

تشريح السوق الابتدائية

ANATOMY OF PRIMARY STEMS



الساق Stem هى الجزء من المحور النباتى الظاهر فوق سطح الأرض ويختص بحمل الأوراق وتعريضها للضوء كما يحمل الأزهار ويساعدها على تأدية وظيفتها وهى التكاثر وحفظ النوع كما تقوم الساق (وافرعها) بتوصيل الماء والأملاح الممتصة من الجذور إلى الأوراق كما تقوم بنقل العصارة الناضجة من الأوراق إلى جميع أجزاء النبات – كما تسهم السوق فى تخزين المواد الغذائية.

تعتبر السوق الأرضية وسيلة من وسائل التكاثر الخضرى.

تتركب الساق الإبتدائية (الحديثة) من الأجهزة النسيجية التالية : البشرة والأساسي والوعائي.

ترجع الخلافات التشريحية إلى التوزيع النسبى للجهاز النسيجى الأساسى والأنسجة الوعائية الإبتدائية فمثلاً تتميز المخروطيات وذوات الفلقتين بأن الجهاز الوعائى يظهر غالباً كأسطوانة تحدد توزيع النسيج الأساسي إلى منطقتين : خارجي وأخرى داخلية هما القشرة والنخاع (على الترتيب) ولكن سوق ذوات الفلقة وكثير من السراخس (التريديات) وبعض ذوات الفلقتين يبدو تركيبها التشريحى أكثر تعقيداً إذا تشاهد الحزم الوعائية مرتبة فى أكثر من محيط أو تبدو الحزم الوعائية مبعثرة فى النسيج الأساسى بدون تحديد واضح أة أى لا تقسم إلى قشرة ونخاع وأنما يعتبر النسيج الأساسي وحدة واحدة كما فى معظم سوق نباتات الفلقة الواحدة وفيما يلي عرضاً للسمات التشريحية المختلفة.

الجهاز البشرى

يتميز النسيج البشرى إلى صف واحد من الخلايا المفلطحة المنتظمة الشكل والخالية من المسافات البينية (فيما عدا الثغور) . جدرها السطحية الخارجية مكوتنة ومغطاة بالأديم ويتواجد ذلك بكمية أعظم فى النباتات الصحراوية – يلاحظ فى كثير

من النباتات أن طبقة البشرة عند نمو العضو النباتى تستجيب لتغيرات النمو والتمدد السطحى.

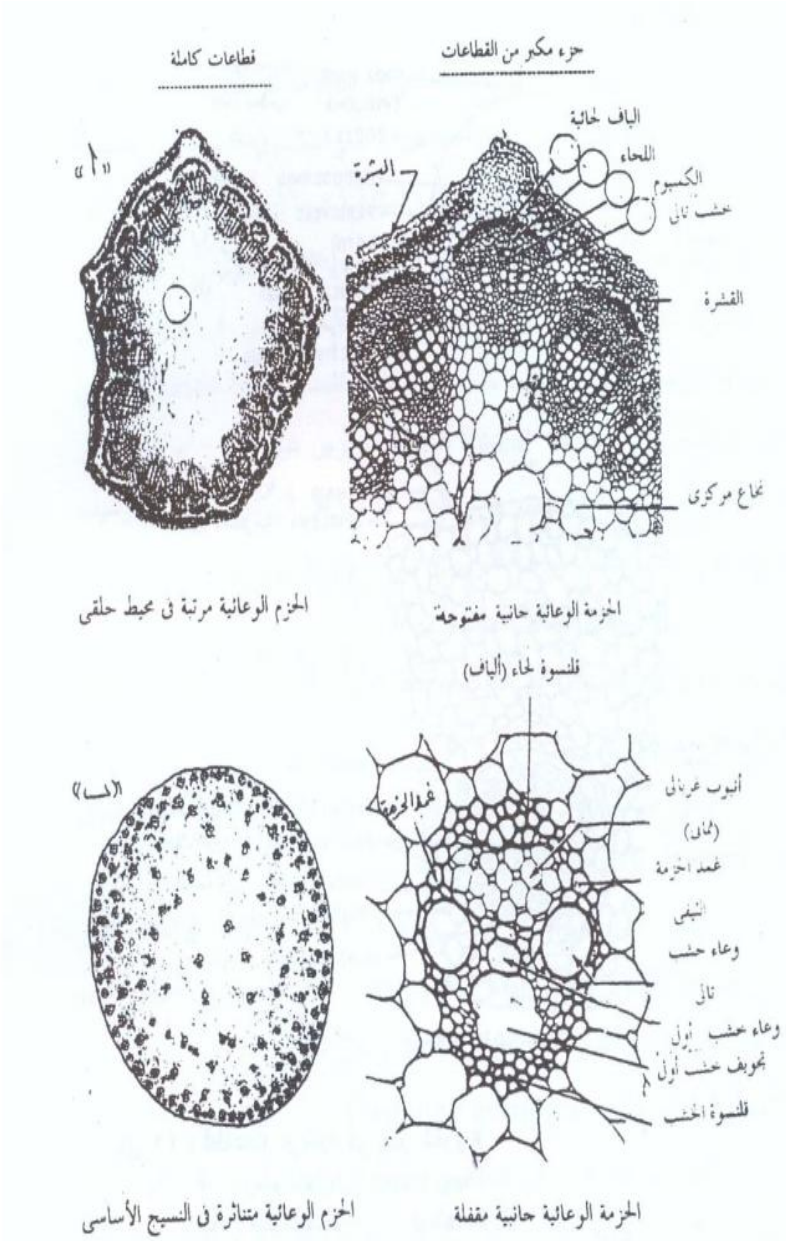
فى كثير من النباتات الخشبية نجد أن طبقة البشرة تنعزل وتموت نتيجة للنمو الكبير للساق فى السمك نتيجة تكون الأنسجة الثانوية وتتكون طبقة من أنسجة البريدرم وذلك خلال النمو فى السمك وإضافة الأنسجة الثانوية – وهنا تقوم العديسات مقام الثغور خلال هذا النسيج الضام الجديد.

تغطى البشرة فى كثير من السوق العشبية شعيرات متعددة الأنواع والأحجام (راجع جهاز البشرة) التى تكسب الساق مظهراً مورفولوجياً مميزاً. ولكن بعد موت البشرة وتكون البريدرم تكتسب الساق مظهراً موحداً بلونه الأسمر وملمسه الخشن ووجود بعض التشققات المختلفة كما فى كثير من النباتات الخشبية المعمرة.

الجهاز الأساسى Ground System

يعتبر حدوث التميز (من عدمه) فى النسيج الأساسى إلى منطقتين قشرة ونخاع من الفروق التشريحية الهامة بين سوق ذوات الفلقتين (شكل 30–أ) وذوات الفلقة الواحدة (شكل 30–ب) فنجد فى النباتات ذوات الفلقتين (مثل نبات دوار الشمس وجود منطقة قشرة خارجية تحيط بأسطوانة وعائية محدودة يتميز بها نخاع مركزى متسع ولكن فى سوق نباتات الفلقة الواحدة يصعب عادة تحديد القشرة الخارجية (ما عدا بعض النجليات) كما تختلفى الصورة الواضحة للأسطوانة الوعائية المحدودة وأنما تتواجد الحزم مبعثرة فى النسيج الأساسي للساق كله.

يتضح من دراسة القشرة الضيقة لنباتات الفلقتين احتواء المحيط الخارجي على أنسجة كولنشيمية موزعة فى نطاق مستمر (درجة أكثر أو أقل) قد تتزايد فى أركان السوق المضلعة كما فى القرعيات . يتيمز النسيج الكولنشيمى كما سبق القول بتغلظ خاص من السليلوز والبكتين يتزايد فى أركان الخلية الحية بأشكال عديدة : ركنى – تماسى – غضروفى – انبوبى . يلى النسيج الميكانيكى نطاق من الخلايا الكلورنشيمية تتخللها مسافات بينية واضحة – وتنتهى القشرة داخلياً بنسيج خاص غير مشابه لنظيره فى الجذور (الأندودرمز) وانما يتيمز بمحتواه النشوى الواضح ولذلك يعرف بأسم الغلاف النشوى Starch Sheath وقد يشاهد



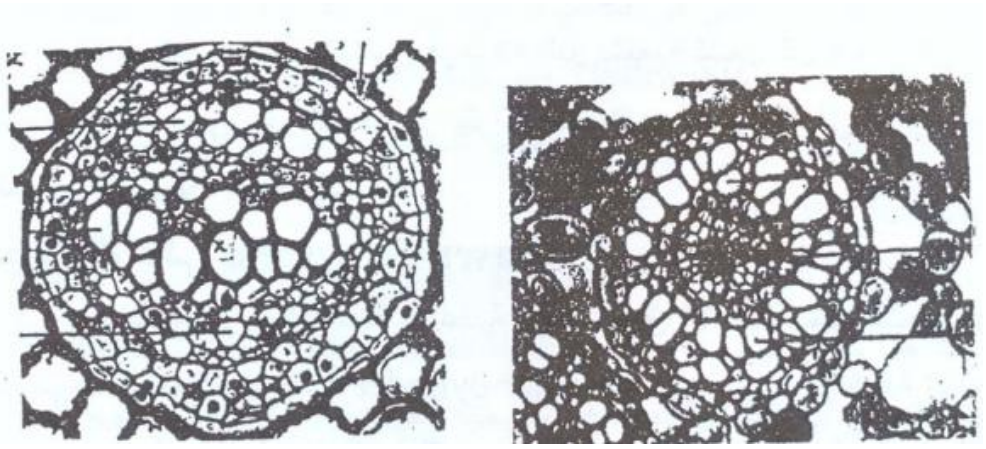
(شكل 30) : قطاعات عرضية فى سوق

أ- ذوات الفلقتين (برسيم حجازى)

ب- ذوات الفلقة الواحدة (الذرة)

أحياناً حزام كاسبار فى خلايا تلك الطبقة ولكنه لا يتواجد بصفة دائمة وأن كان فى كثير من النباتات غير الراقية يطلق عليه الأندودرمز.

فى سوق الفلقتين يتركب الجزء الداخلى للنسيج الأساسى من خلايا بارنشيمية تسمى النخاع (Pith) Medulla قد تحتوى خلاياه على البلاستيدات الخضراء ويشغل النخاع المتسع جميع الحيز الداخلى للأسطوانة الوعائية حتى مركز القطاع فى السوق المصمتة ولكن فى السوق المجوفة تتلاشى الخلايا البارنشيمية فى النخاع المركزى حتى قرب حلقة الحزم الوعائية تاركة نطاقاً خارجياً ضيقاً من بارنشيمية النخاع يسمى الغمد النخاعى Medullary Sheath الذى يحيط بتجويف النخاع المركزى Central Hollow Pith . ولكن فى مناطق العقد الساقية تحتفظ بنخاعها كاملاً (بدون تجويف) مكونة حجاب العقدة Nodal Diaphragm . قد تسهم بارنشيمية النخاع فى تخزين وفرة من حبيبات النشا.



(شكل 31) حزمة مركزية اللحاء حزمة مركزية الخشب

فى سوق النباتات المائية تنتشر بها أنسجة بارنشيمية للتهوية Parenchyma تمتد بارنشيمية النخاع إلى الخارج بين الحزم الوعائية مكونة الأشعة النخاعية medullar rays .

أما فى سوق نباتات الفلقة الواحدة فإن النسيج الميكانيكى يتمثل فى مجموعات أو نطاق كامل تحت البشرة الخارجية من خلايا اسكلرنشيمية Sclerenchyma ذات جدر سميكة ملجننة وهى متراصة خالية من المسافات البينية . كما تتواجد فى النطاق الخارجي نسيج كلورنشيمى قد يمتد إلى ما تحت البشرة الخراجية التى تميز بها (فى هذا الموضع) ثغور واضحة.

أما بقية النسيج الأساسى فوحداته البارنشيمية تشغل كل الحيز الداخلى للنسيج الأساسى مثل الذرة ، أو يتواجد تجويف واضح كما فى سوق القمح والشعير التى يميز بها حجاب العقدة.

الجهاز الوعائى Vascular system

يختلف توزيع الأنسجة الوعائية داخل الساق ألا أنها جميعاً تتجمع فيما يسمى بالأسطوانة الوعائية Vascular cylinder لكن فى سوق الفلقة الواحدة يصعب استعمال هذا الاصطلاح لذلك درست الأنسجة الوعائية ونظم تجمعها فى الحزم الوعائية فأمكن تمييز الحزم القطرية (الجذور) والحزم الجانبية بانواعها : المقفلة (سوق فلقة واحدة) والمفتوحة (ذات الفلقتين) والحزمة ذات الجانبين (سوق القرعيات ذات اللحائين) أما الحزم المركزية بنوعيها : مركزية اللحاء (فلقة واحدة – الدراسينا) ومركزية الخشب (السراخس).

فى سوق الفلقتين تكثر الحزم الوعائية الجانبية المفتوحة (بها كمبيوم) حيث تقع الأنسجة الوعائية على نصف قطر مشترك (وليست تبادلية كما فى الجذور) فنجد الخشب الإبتدائى فى صفوف قطرية متجاورة ويكون الخشب الأول (الضيق) جهة النخاع ويليه الخشب التالى جهة الخارج ثم الكمبيوم الحزمى ثم نسيج اللحاء الإبتدائى. تنتظم تلك الحزم فى نطاق حلقى كامل.

يفصل الحزم الوعائية عن قشرة الساق نسيج خاص يسمى البريسيكل Pericycle لأنه يشغل المنطقة الواقعة بين الغلاف النشوى (الأندودرمز) وبين الحزم الوعائية ويتمثل بمساحات من الاسكلرنشيمية خارج الحزم الوعائية ويتواجد على امتداها (لأستكمال النطاق الحلقى) كتل من الخلايا البارنشيمية على استقامة الأشعة النخاعية الفاصلة بين الحزم الوعائية وتعتبر كتل بارنشيمية خلالية Intervenning Parenchyma أما فى سوق القرعيات فإن البريسيكل يكون نطاقاً اسكلارنشيمياً كاملاً يليه نطاقاً بارنشيمياً كاملاً حتى الجزم الوعائية.

يقع اللحاء الإبتدائى فى الجانب الخارجي من الحزم ، عناصره تتكون من أنابيب غربالية Ttubes-Sieve مختلفة الأتساع وخلاياها المرافقة: Companion Cells صغيرة الحجم مستقيمة الجدر وبارنشيمية لحاء Phloem Parenchyma .

الكمبيوم الحزمى Vascular Cambium خلاياه رقيقة الجدر منتظمة فى صف مستعرض وحداته مستطيلة تماسياً تجاورها وحدات مشابهة مما يجعلها تبدو فى نشاطها كمنطقة كمبيومية لتموين وحدات لحائية ثانوية جهة اللحاء ووحدات

خشب ثانوى جهة الخشب الابتدائى الذى يقع فى الجانب الداخلى للحزمة وحداته أوعية Vessels خشب أول P.x Prorxylem يليها للخارج أوعية أكثر اتساعاً وتسمى الخشب التالى Metaxylem وحدات متسعة مغلظة جدرها بترسيب لجنين وقد توجد حولها وحدات قصيبية Tracheid وتختلط معها ألياف خشب Wood Fibers تظهر وحداتها عديدة الأضلاع غير منتظمة Irregular جدرها الملجننة رقيقة نوعاً . وبارنشيمية الخشب الإبتدائى Wood Parenchyma تتواجد مجاورة للخشب الأول وتميز باحتفاظها على مادتها الحية (أى لا تتلجنن فيما بعد).

فى هذا النوع من الحزم الوعائية ينتظم الخشب الإبتدائى فى صفوف قطرية اما فى الحزم الوعائية المقفلة فى سوق النباتات الفلقة الواحدة فهى تتميز باتخاذها أوضاعاً معينة مثل V أو Y أو صف مفرد I ويوجد أسفلها فجوة ملحقة بالخشب الأول وتتكون تكسرياً وتسمى Protoxylem Cavity.

أما لحاء حزم الفلقة الواحدة فهو مندمج مكون من أنابيب غربالية ثمانية الأضلاع تتداخل معها بانتظام خلاياها المرافقة ولا تتخللها بارنشيمية لحائية.

تتميز الحزم المقفلة بخلوها من الكمبيوم الحزمى كما تحاط من الخارج بنسيج ميكانيكى اسكلرنشيمى يتزايد فوق الجانب اللحائى مكوناً قلنسوة اللحاء Phloem Cap.

كما تتزايد أيضاً إلى الداخل (جهة مركز القطاع) مكوناً قلنسوة الخشب Xylary Cap . من الملاحظ فى سوق الفلقة الواحدة اختلاف أحجام الحزم الوعائية فهى صغيرة جهة الخارج وتتزايد حجماً كلما اتجهنا نحو المركز.

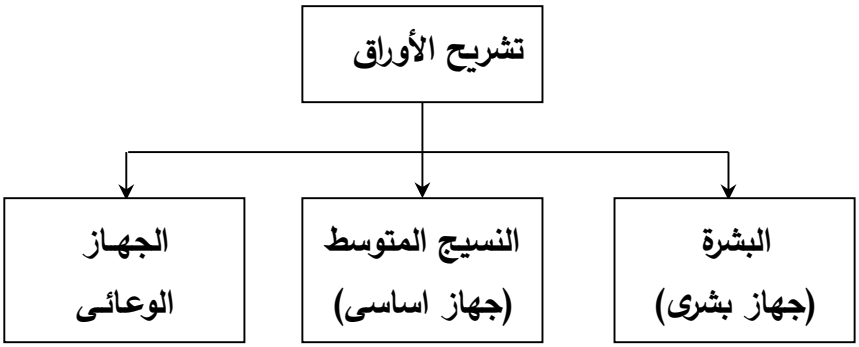
مقارنة بين ساق فلقتين حديث وساق فلقة واحدة

وجه المقارنة	ساق فلقتين حديث	ساق فلقة واحدة
النسيج الأساسي	مميزة إلى قشرة ونخاع **القشرة** : نطاق ضيق من خلايا كولنشيمية وكلورنشيمية وتنتهى بالغلاف النشوى وهو صف واحد يتميز بارتفاع المحتوى النشوى **النخاع** : بارنشيمى يشغل الحيز الأكبر من القطاع يمتد بين الحزم مكوناً الأشعة النخاعية	غير مميز إلى قشرة ونخاع خلاياه الخارجية مكونة من الياف موزعة فى مجاميع مستقلة أو تتصل مكونة نطاقاً كاملاً – ثم قليل من الخلايا الكلورنشيمية وباقى القطاع تشغله الخلايا البارنشيمية لا يوجد غلاف نشوى
النسيج الميكانيكى	الخارجى كولنشيمى اسفل البشرة فى نطاق كامل أو مجاميع متمركزة فى أركان السوق المضلعة	مجاميع أسكلرنشيمية أو نطاق كامل أسفل البشرة أو نطاق اسكلرنشيمى يطوق الحزم الوعائية. الكولنشيمية نادرة الوجود
الحزم الوعائية	مرتبة فى محيط واحد أو أكثر فى الجزء الخارجى من مسطح القطاع الحزم جانبية مفتوحة أو ذات جانبين	مبعثرة بدون نظام فى النسيج الأساسي ، الحزم جانبية مقفلة
الكمبيوم	يوجد كمبيوم حزمى	لا يوجد كمبيوم
الخشب	ووحداتها عديدة مرتبة فى صفوف قطرية تتخلها بارنشيمية الخشب	وحداته مرتبة بشكل V أو Y أو نادراً غير منتظمة – توجد قصيبات . التغلظ غالباً سلمى توجد بارنشيمية خشب
اللحاء	وحداته أنابيب غربالية خماسية وخلاياه المرافقة تتخللها بارنشيمية اللحاء	الأنابيب الغربالية ثمانية وخلايا مرافقة لا تتخللها بارنشيمية لحاء

مقارنة بين الجذر والساق

وجه المقارنة	الجذر	الساق
النسيج الضام	بشرة أو أكسودرمز. توجد شعيرات جذرية للأمتصاص – لا يوجد أديم (عادة) كما لا توجد ثغور	صف واحد . مغطى بالأديم توجد ثغور
القشرة	تشغل مساحة كبيرة من القطاع خالية من النسيج الميكانيكى عادة تشاهد الكلورنشيمية فى حالات خاصة. تنتهى بالأندودرمز يتميز به شريط كاسبيرى	تشغل مساحة ضئيلة من القطاع تحتوى على كولنشيمية – اسكلارنشيمية تحتوى على كمية وفيرة من الكلورنشيمية تنتهى بالغلاف النشوى
البريسيكل	خلاياه بارنشيمية	نطاق من الألياف يحيط بالأسطوانة الوعائية
الحزم الوعائية	حزمة واحدة قطرية تتوسط الجذر	حزم وعائية عديدة مفتوحة أو مقفلة
الأوعية الناقلة	مجاميع مستقلة من الخشب واللحاء وتوجد على أنصاف أقطار متبادلة	مجاميع مشتركة من الخشب واللحاء على نصف قطر مشترك
الكمبيوم الوعائى	لا يوجد ولكنه يتكون من جديد فى جذور نباتات Dicotyledone الفلقتين	يشاهد الكمبيوم فى الحزم المفتوحة مبكراً
الخشب	الخشب الأول للخارج والثانى للداخل	الخشب الأول للداخل والثانى للخارج
النخاع	مساحته ضيقة – لا يوجد فى الجذر الأصم	يشغل مساحة كبيرة من القطاع أو لا يتميز فى سوق الفلقة الواحدة لتبعثر الحزم فى النسيج الأساسى
النسيج الميكانيكى	توزيعه مركزى لمقاومة عوامل الجذب	توزيعه خارجى (محيطى) ليلائم ظروف حمل المجموع الخضرى كما يقوم عوامل الثنى

تشريح الأوراق
ANATOMY OF LEAVES



تختلف الورقة فى تركيبها الداخلى عن كل من الجذر والساق اختلافاً كبيراً خصوصاً فى جزئها المنبسط المعروف بالنصل . كما تتباين الأوراق فيما بينها بدرجة كبيرة ولكنها جميعاً تتوفر بها الأجهزة النسيجية التالية.

1- الجهاز البشرى .Dermal syst ويتميز بدوامة طول عمر الورقة.
2- الجهاز الوعائى .Vascular syst ويتمركز فى مناطق خاصة من النصل.
3- الجهاز الأساسى .Ground syst ويملأ جميع المناطق المكونة لجسم الورقة فيما عدا الأجهزة السابقة.

نشأة الورقة Ontogeny of leaf

أول مظهر لتكوين الورقة بدء النشاط الانقسامى فى مجموعة تحت سطحية من الخلايا المرستيمية فى الجزء المرستيمى الذى يلى منطقة المرستيم الأولى للقمة النامية للساق وبذلك يتكون النتوء الورقى Leaf buttress الذى يتجه فى نموه إلى أعلى ليساهم فى الألتفاف حول القمة النامية للحماية ويلاحظ اكتسابه فى بدايته الشكل الوتدى ولكنه سرعان ما يتفلطح لظهور مرستيم حافى marginal meristem على جانبي الوتد وبذلك يبدأ تكوين النصل ثم ينشأ البروكمبيوم لتكوين الجهاز الوعائى ويحاط بطبقات من المرستيمات الصفائحية Plate meristems فيحدث بها جميعاً انقسامات عديدة تزيد من سطح الورقة بنسبة كبيرة وذلك بنظام النمو البينى intercalary growth.

باختلاف معدلات النمو البينى تحدث الخلافات الواضحة فى أشكال النصل فمثلاً إذا تناقص النمو تدريجياً عند قمة الورقة قبل الجزء القاعدى نحصل على نصل قلبى الشكل.

التركيب الأساسي Basic structure

تعتبر الورقة أكثر الأعضاء النباتية ثباتاً فى بنائها الداخلى نظراً لعدم حدوث نمو ثانوى (قد يشاهد بدرجة محدودة فى الأعناق والعروق الكبيرة لبعض الأوراق) وفيما يلي حصراً شاملاً لأهم المميزات الرئيسية:

البشرة :

تتميز بغطائها الكيوتينى واندماج خلاياها لعدم وجود مسافات بينية مع وجود نسبة كبيرة من الثغور التى يختلف توزيعها على السطحين باختلاف النباتات وطبيعة معيشتها كما يتضح من الأمثلة الآتية (المتوسط العددى فى المليمتر المربع من سطح الورقة) : (علوى/سفلى)

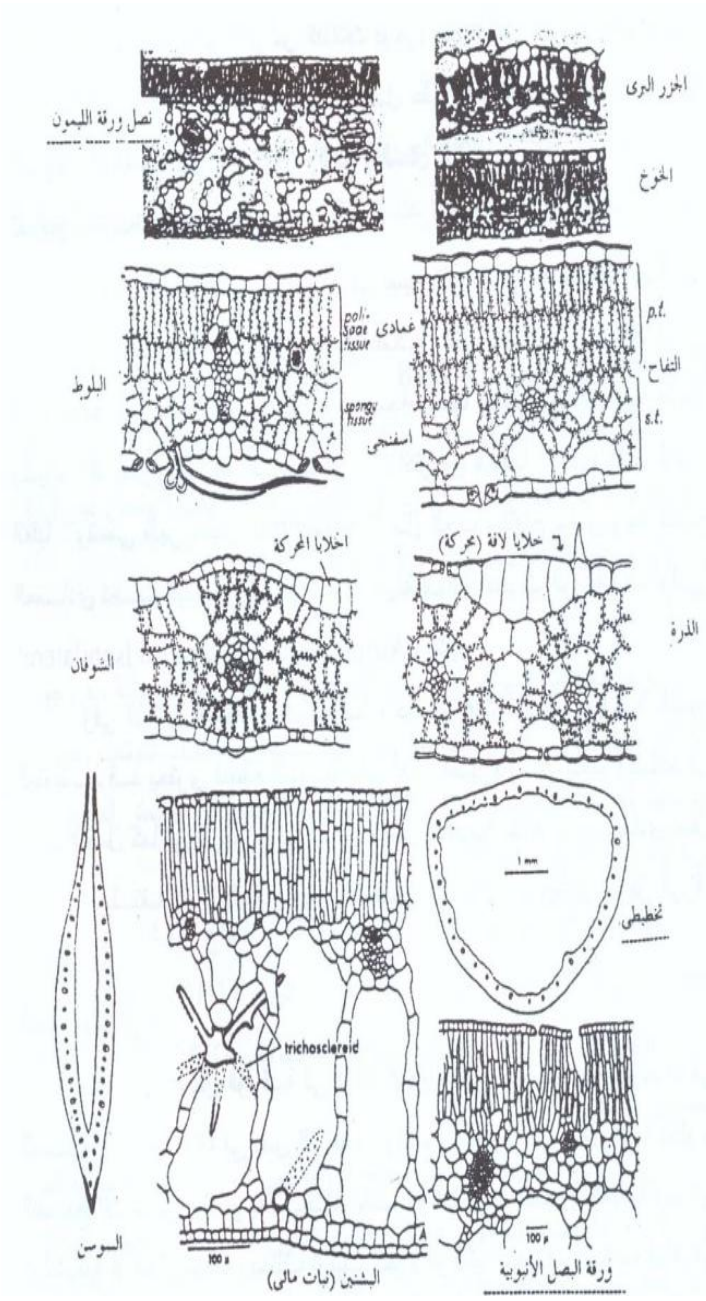
الأيلوديا 0/0 ، الزنبق 62/0 ، الفيكس 145/0 ، التفاح 246/0 ، البرقوق 253/0 ، الذرة 158/94 ، الحور 112/20 ، الداتورة 189/114 ، البسلة 216/101 ، الفاصوليا 281/40 ، الزيتون 625/0 ، الشوفان 23/25 ، القمح 14/33 ، الصنوبر 0/142 .

ويختلف ترتيب الثغور على سطح الورقة فهى أما فى صفوف طولية كما فى الأوراق الشريطية للنجيليات أو تكون مبعثرة بدون نظام . كما يختلف مستواها بالنسبة للسطح فقد تكون غائرة كما فى النباتات الصحراوية أو تكون بارزة فى النباتات المائية.

تتميز البشرة فى كثير من النباتات بوجود خلايا خاصة رقيقة الجدر تسمى الخلايا المحركة Bulliform cells تعمل على انطواء الأوراق والتفافها تحت الظروف الجافة مما يقلل منالتبخر والنتح (الشكل 32).

النسيج المتوسط Mesophyll

يتكشف النسيج الأساسي بالورقة إلى نسيج كلورنشيمى به مسافات بينية وقد تكون خلاياه متجانسة أو تتميز إلى نسيج عمادى وآخر اسفنجى. وعلى الرغم من أن النسيج العمادى تظهر خلاياه مندمجة ولكنها تتخللها مسافات بينية طويلة وكبيرة ، قد تحتوى الورقة على صف واحد أو أكثر من الخلايا العمادية تحت البشرة العليا . وتسمى ظهر بطنية Dorsiventral مثل العنب والتفاح أما أن وجد النسيج العمادى تحت البشرتين كما فى نباتات البيئة الجافة اعتبرت الورقة ذات جانبين Isobilateral كما فى نبات القطاف Atriplex والشيح.



(شكل 32): تركيب الورقة

وفى النباتات المائية الطافية يلاحظ وجود فراغات تهوية كبيرة تملأ النسيج المتوسط. قد يحتوى النسيج المتوسط على ألياف قصيرة (سكلريدات) تساعد فى تدعيم النصل كما فى الزيتون وفى أوراق البصل الأنبوبية يشاهد نسيج عمادى أسفل البشرة ويلتف دائرياً بالقطاع ويليه الأسفنجى إلى الداخل ، ويشغل مركز الورقة تجويف كبير.

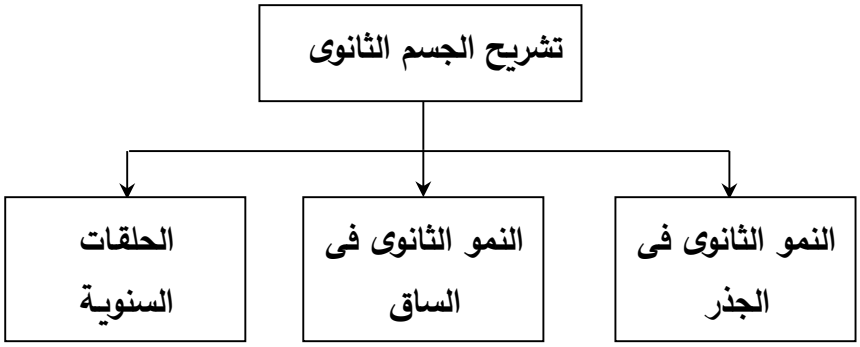
أعناق الأوراق:

يحتوى عنق الورقة فى ذوات الفلقتين على نفس الأنسجة الموجودة فى الساق وتشاهد غالباً فى نفس الترتيب . وتحتوى البشرة على ثغور بينما يحتوى النسيج الأساسى على بلاستيدات خضراء كما توجد أنسجة ميكانيكية وحداتها كولنشيمية أو سكلرنشيمية ويختلف ترتيب الحزم الوعائية باختلاف النبات فمثلاً فى نبات الخروع تكون موزعة كالساق فى محيط دائرى أو يتميز بالعنق مجموعة وسطية تشبه حدوة الحصان . وفى نباتات الفلقة الواحدة ذات الأوراق المعنقة يلاحظ وجود حزم مبعثرة فى النسيج الأساسي تظهر صغيرة فى الخارج ويتزايد حجمها كلما اتجهنا للداخل.

مقارنة بين التركيب التشريحى لأوراق الفلقتين والفلقة الواحدة

وجه المقارنة	أوراق الفلقتين	أوراق الفلقة الواحدة
النسيج الضام	**البشـرة العليـا:** طبقـة مسـتقيمة مغطـاة بـالكيوتين خلاياهـا متجانسـة تقـل أو تنعـدم فيها الثغور فى النباتات المائية الطافية البشرة السفلى : تتميز برقة الأديم والغطاء الشعرى لتخيف أثر الأشعة الضارة وتقليل النتح	طبقة غير مستقيمة تتميز بوجود ارتفاعات (المصـاطب) وتحصـر بينهـا انخفاضـات الخلايا غير متجانسة بجوار الخلايا العادية يلاحـظ وجـود خلايـا كبيـرة ورقيقـة الجـدر تسمى الخلايا اللافة تسبب انطواء الورقة عند الجفاف لتقليل النتح ترتبط بالحزم الوعائية بواسطة ألياف تتخذ وضعاً خارجياً عن الأنطواء
النسيج المتوسط	يتميز إلى عمادى واسفنجى **العمـادى** : خلاياه اسطوانية عموديـة علـى البشرة العليا بها بلاستيدات خضراء وفيرة **الأسـفنجى** : أسـفل العمـادى خلايـاه غيـر منتظمـة الشـكل يتخللهـا مسـافات بينيـة متسعة ، محتوى البلاستيدات فيها أقل	معظمهـا خاليـة مـن تميـز العمـادى والأسـفنجى ، تشـاهد ألياف اسكلارنشـمية أعلى وأسفل الحزمة.
الحزم الوعائية	تكون نظاماً شبكياً تنازلياً يقل حجمه كلما ابتعد التفرع–أكبرها فى العرق الوسطى أو العـروق الرئيسـية تشـبه الحزمـة المفتوحـة ولكنها خالية من الكمبيوم	تكون نظاماً متوازياً يقل حجمها كلما ازداد التفرع . الحزمة الوعائية مقفلة محاطة بغمد اسكلرنشيمى.
الخشب	صـفوف رئيسـية الخشـب الأول لأعلـى والتالى لأسفل توجد بارنشيمية الخشب	بشـكل حـرف V أو Y الخشـب الأول لأعلـى والتـالى لأسـفل توجـد بارنشـيمية خشب
اللحاء	يقـع اسفل الخشـب وحداتـه أنابيـب غربالية خماسي وخلايا مرافقة وبارنشيمية اللحاء	أسفل الخشب وحداته أنابيب غربالية ثمانية وخلايا مرافقة لا تتخللها بارنشيمية
النسيج الأساسي	خلايـاه بارنشـيمية ولكـن توجـد كولنشـيمية أعلى وأسفل الحزم الوعائية وتلى البشرة	

الجسم الثانوى
THE SECONDARY BODY



يحدث التغليظ الثانوى فى جذور وسوق وبعض اوراق ذوات الفلقتين ومعراة البذور – ويعتمد النمو الثانوى فى تلك الأعضاء على تكوين أنسجة وعائية ثانوية من كمبيوم خاص يسمى الكمبيوم الوعائى Vascular cambium كما يصاحبه عادة البريدرم من الكمبيوم الفلينى Phellogen .

النمو الثانوى فى الجذور Secondary growth of root

يشاهد النمو الثانوى فى جذور الفلقتين ومعراة البذور ولا يحدث نمو ثانوى فى جذور نباتات الفلقة الواحدة وكثير من النباتات العشبية لذوات الفلقتين (شكل 32).

المراحل العادية للنمو الثانوى :

يبدأ ظهور الكامبيوم الوعائى بشكل أشرطة من خلايا مرستيمية يختلف عددها باختلاف عدد المجاميع الوعائية – ويصحب هذا التحول بدء نشاط انقسامى مماثل فى خلايا طبقة البريسيكل المجاورة للخشب الأول وبذلك تكتمل أحاطة الكمبيوم للخشب ولكن يأخذ شكلاً متعرجاً – ومن الملاحظ أن منطقة الحلقة المتعرجة تبدأ نشاطها مبكراً (أمام اللحاء). فتعطى خشباً ثانوياً إلى الداخل (جهة المركز) ولحاءاً ثانوياً للخارج جهة اللحاء الابتدائى – ونظراً لأن ناتج الخشب الثانوى يفوق ناتج اللحاء الثانوى لذلك بستقيم القوس الكمبيومى ثم يدفع إلى الخارج ويكتمل الشكل الدائرى لحلقة الكمبيوم الوعائى – ويعتبر نسيج الخشب الثانوى هو النسيج الذى يؤثر بدرجة فعالة فى زيادة قطر الجذر ويصاحبه تزايد فى محيط حلقة الكمبيوم (ويتم ذلك بتكوين جدر قطرية) – أما

الجزء المكمل لحلقة الكمبيوم (الناشئ من البريسيكل) فأنه يعطى الخلايا البارنشيمية المكونة للشعاع النخاعى "الابتدائى" فى مواجهة الخشب الابتدائى ويعتبر شعاعاً رئيسيا ويتميز باتساعه عن باقى الأشعة الأخرى ولكن فى الجذور الثانوية الخشبية التركيب قد يقل سمكه إلى خلية واحدة حتى أن البعض يعتبره غير موجود.

يتكون البريدرم فى الجذر نتيجة لنشاط البريسيكل الذى ينقسم بجدر تماسية وأخرى قطرية فيزداد عدد طبقات البريسيكل مما يزيد الضغط على أنسجة الجذر المتواجدة خارجة ويسبب تمزقها وانهاياراها بدءاً من الأندودرمز حتى البشرة – ينتشر الكمبيوم الفلينى من الطبقة السطحية للبريسيكل – ويعطى إلى الخارج طبقات قليلة من الفلين بينما يعطى إلى الداخل طبقة أو أكثر من خلايا بارنشيمية تسمى القشرة الفلينية Phelloderm – يستمر نشاط الكمبيوم الوعائى فى الجذور المعمرة سنوات – كما يستمر نشاط الكمبيوم الفلينى ولكنه قد يستبدل (أو يستكمل) بطبقات مرستيمية تنشأ على أعماق أكبر.

النمو الثانوى فى الساق Secondary growth in stem

يبدأ النشاط الثانوى فى الأجزاء الساقية التى توقفت عن النمو الرأسى سواء كانت البادرات أو الأفرع الهوائية الجديدة – يتميز النمو الثانوى بتكوين أنسجة وعائية جديدة تتزايد كميتها مع النمو الثانوى فى السمك مما يؤدى إلى زيادة قطر الساق وبالتالى ازدياد المحيط الخارجى ولذلك تعانى المناطق الخارجية من الضغط الداخلى ما يفوق طاقتها فتتمزق . ويكون النبات أنسجة البريدرم التى عليها حماية الأنسجة الداخلية فى جذوع الأشجار والنباتات العشبية المسنة.

1- السوق العشبية Herbaceous stems

تتميز هذه السوق بوجود حزم وعائية جانبية مفتوحة (أو ذات جانبين) تختلف أنشطة الكمبيوم كما يلى : (الشكل 34)

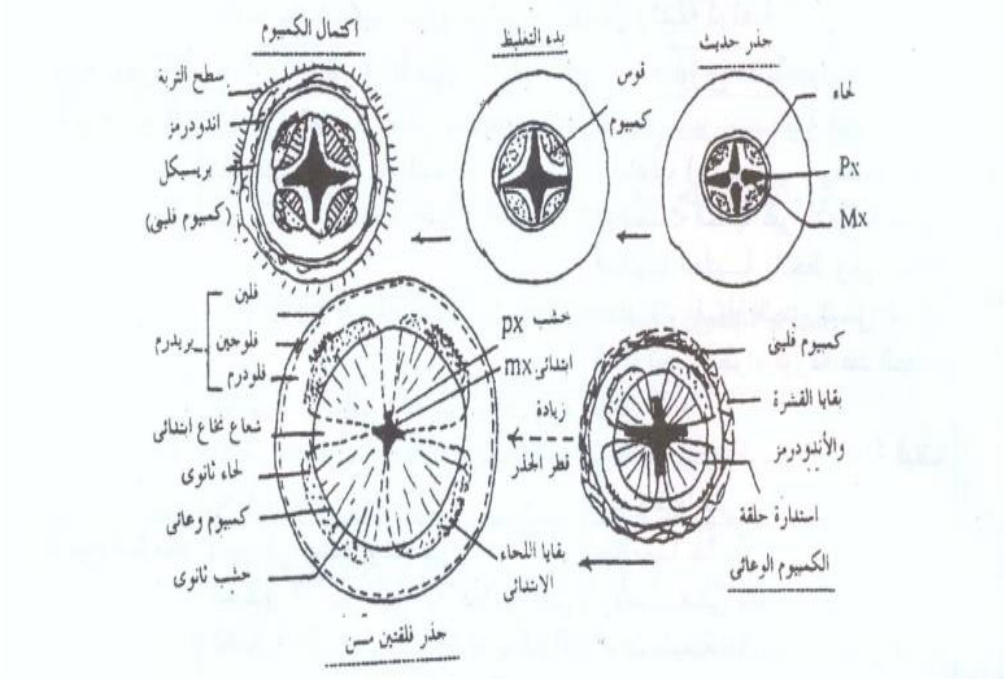
أ- فى النباتات العشبية الحولية أو قصيرة العمر لا يشاهد بها نمو فى السمك لعدم نشاط الكمبيوم ، وتظل سوقها محتفظة بمظهرها الحديث – ويعلل ذلك بتحول خلايا طبقة الكمبيوم إلى بارنشيمية بالغة كما فى نبات الشقائق.

ب- تحتوى سوق القرعيات على حزم ذات جانبين – يتواجد كمبيوم حزمى نشط بين اللحاء الخارجى والخشب الابتدائى فيعطى خشباً ثانوياً للداخل ولحاءا ثانوياً للخارج وذلك داخل الحزم فقط ، لذلك تتزايد الحزم فى

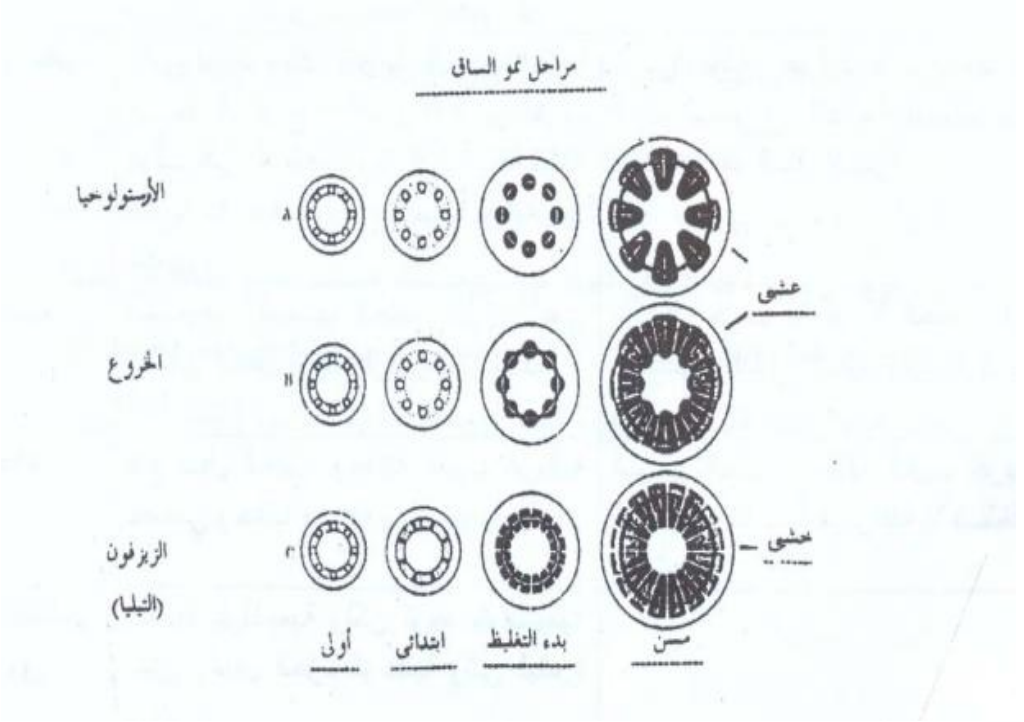
الحجم ويكون واضحاً فى الحزم الخمس الداخلية (قرب التجويف النخاعى) . ولكن نظراً لوجود نطاق خارجى سميك من ألياف البريسيكل فإن تلك الحزم تتمدد نحو المركز وتبرز فى التجويف النخاع.

ج- فى كثير من حالات النمو الثانوى ينشأ كمبيوم جديد فى المناطق النخاعية الفاصلة بين الحزم ويسمى : كمبيوم بين حزمى interfascicular cambium الذى ينشأ على استقامة الكمبيوم الحزمى interfascicular cambium ، وبذلك تتكامل حلقة الكمبيوم الوعائى التى تنقسم للداخل وتعطى خشباً ثانوياً ، ما عدا مناطق تكوين الأشعة البارنشيمية ويتواجد منها نوعان:

1- شعاع نخاعى رئيسى (إبتدائى) ويمتد بين النخاع الداخلى والقشرة الخارجية.



(شكل 33) : تغليظ الجذر



(شكل 34) : تغليظ السوق

2- شعاع ثانوى وهذا يمتد داخل الخشب فقط أو داخل اللحاء فقط أو بداخلهما معاً.

2- السوق الخشبية Woody stems

لا يشاهد فى الجسم الإبتدائى لهذه السوق (الجزء الحديث) حزماً إبتدائية بالمعنى المفهوم ولكن يتكشف مبكراً نطاق حلقى (سميك) من الكمبيوم النشط تتواجد على حافته الداخلية مجاميع خشب إبتدائى يقابلها على الحافة الخارجية مجاميع لحاء إبتدائى والتى يمكن تحديدها بمواقع ألياف اللحاء. ونظراً لنشاط هذا النطاق الكمبيومى لذلك تسمى المنطقة الكمبيومية ، وهى التى تكون الخشب الثانوى بدرجة متكاثفة تتخلها أشعة نخاعية ضيقة سمكها خلية واحدة بارنشيمية على مجمل طولها مما يزيد صلابة تلك السوق.

الحلقات السنوية Annual rings

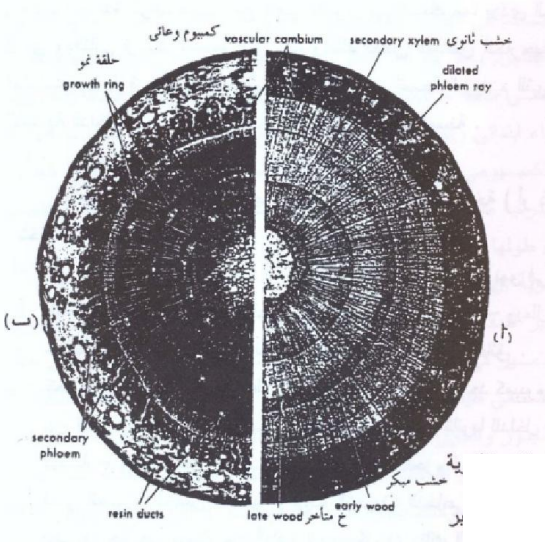
تتميز النباتات الخشبية متساقطة الأوراق بالنمو الموسمى للكمبيوم الوعائى – لذلك يتميز فى نسيج الخشب (خلال الموسم الواحد من النمو) تكوين طبقة

محدودة تسمى طبقة نمو Growth layer . تشاهد تلك الطبقات فى القطاعات العرضية للجذور والسوق بشكل حلقات نمو growth rings (شكل 35).

فى كثير من النباتات الموسمية النمو تتحدد طبقات وحلقات النمو بموسم واحد للنمو فى العام ولذلك يطلق عليها الطبقة السنوية annual layer والحلقة السنوية annual ring تعتبر هذه الحلقات حقيقية – ولكن قد تتعرض النباتات لعوامل خارجية مناخية أو مرضية تدفع تلك النباتات إلى تكوين حلقات جديدة إضافية فى موسم النمو الواحد ولذلك يطلق عليها : الحلقات السنوية الكاذبة False annual rings .

بدراسة تركيب وحدات الخشب فى الحلقة نلاحظ أن العناصر الوعائية التى تتكون فى الفترة الأولى من موسم النمو تتميز باتساع التجاويف wide lumina ، ورقة الجدر نسبياً walled-relatively thin وزيادة مساميتها Porosity وتسمى الخشب الربيعى Spring wood الذى يستخدم بدرجة أكبر فى توصيل الماء إلى مناطق الانتفاع به.

وبعد فترة يكون الكمبيوم الوعائى خشباً أقل مسامية less porous ويعرف بالخشب الصيفى summer wood الذى يقوم أساسياً بزيادة صلابة الساق rigidity of stem .



(شكل 35) : الحلقات الثانوية

أ- ساق التيليا

ب- ساق الصنوبر

الملخص

1- **الخلية النباتية :** تعتبر وحدة الكائن الحى وتتركب فى صورتها النموذجية من ثلاث أجزاء هى الجدار الخلوى وهو جدار شبه صلب ميت يحيط بالخلية من الخارج ويتكون من ثلاث طبقات .

الجزء الثانى هو البروتوبلاست وهو المحتويات داخل الجدار الخلوى ويتكون من البروتوبلات وهو المادة الحية مع بعض المحتويات غير الحية. أما الجزء الثالث فهو الفجوة العصارية التى تحتوى على العصير الخلوى ويتميز البروتوبلازم بأنه يتكون من السيتوبلازم وهو طامرة شبه لزجة تحمل بقية محتويات الخلية مثل الجسيمات البروتوبلازمية المختلفة والتى تقوم كل منها بوظيفة محددة فى الخلية مثل النواة والبلاستيدات بأنواعها والشبكة الأندوبلازمية والميتوكوندريا وأجسام جولجى والريبوسومات والجسيمات الدقيقة والأنابيب الدقيقة وغيرها.

2- **الأنسجة النباتية :** تكون كل مجموعة متجانسة من الخلايا سواء كانت متشابهة أو غير متشابهة وتقوم بوظيفة واحدة ما يعرف بالنسيج. وتقسم الأنسجة عموماً إلى نوعين : الأول يختص بالأنقسام وأعطاء الخلايا المتعددة الجديدة وتسمى خلاياه الأنشائية أو المرستيمية – أما النوع الثانى فهى الخلايا المستديمة التى تنشأ من النوع الأول وحدث بها ما يعرف بالتكشف الذى يؤدى إلى النضج وتكوين الأنواع المختلفة من الخلايا ومن الأنسجة المستديمة: نسيج البشرة – وهى الطبقة أو الطبقات التى تحيط بالأعضاء الغضة بغرض الحماية أساساً. (أما فى حالة الأعضاء المغلظة فتحاط بجهاز ضام آخر هو البريدرم) ومن الأنسجة المستديمة الهامة النسيج البارنشيمى (الأساسى) ويتكون من خلايا حية تختص بكل الوظائف الحيوية وينتشر فى كل أعضاء النبات ومنه البارنشيمى الخاص بالبناء الضوئى والبرانشيمى الخاص بالتهوية . كما أن هناك الأنسجة الميكانيكية وتختص بالتدعيم مثل الخلايا الكولنشيمية والألياف والاسكلريدات. ومن الأنسجة المستديمة أيضاً الأنسجة الوعائية المختصة بالنقل داخل النبات ومنها نوعان رئيسيان هما نسيج الخشب ويختص بنقل الماء والأملاح الذائبة فيه ونسيج اللحاء ويختص بنقل المواد الغذائية العضوية داخل النبات ومن الأنسجة المستديمة الأنسجة الافرازية والتى تختص بالأخراج والإفراز.

3- **تشريح الأعضاء النباتية :** الجسم الابتدائى هو النبات النامى من الجنين بأعضائه الجذر والساق والأوراق . ينشأ الجذر من الجذير حيث يكسوه نسيج أدمى يعطى الشعيرات الجذرية ثم تتكون تحته طبقة الأكسودرمز.

تتميز القشرة بأتساعها وتنتهى من الداخل بطبقة الأندودرمز المحتوية جدرها على حزام كاسبار – تتلاشى القشرة فقط مع التغليظ الثانوى . الأسطوانة الوعائية مركزية بها أشرطة متبادلة من أذرع الخشب مع الحاء الابتدائى وهى محاطة جميعاً بطبقة البريسيكل . تتميز ذوات الفلقتين بالساق أسطوانة وعائية كبيرة محاطة من الخارج بقشرة ضيقة تنتهى بالغلاف النشوى – النخاع المركزى متسع يشغل نطاقه الخارجى صف من الحزم الوعائية المفتوحة . أما سوق الفلقة الواحدة فالحزم الوعائية مقفلة تكون مبعثرة فى النسيج الأساسى والخشب مرتب بشكل V أو Y – يكون الخشب الأول جهة النخاع ، بعكس الجذور التى يكون خشبها الأول جهة الخارج.

فى الورقة تتواجد أنسجة النسيج المتوسط للنصل بين بشرتين سفلى وعليا – تختلف الثغور المنتشرة فيهما . أما أنسجة البناء الضوئى فهما العمادى والأسفنجى حيث تختلف نسبة تواجدهما باختلاف نوع الورقة ما بين عمادى فقط أو اسفنجى فقط أو هما معاً أما العروق الرئيسية فتقارب فى تركيبها التشريحى الحزم الوعائية – كما يتغير معدل سمك الأديم على سطح النصل باختلاف معدل الرطوبة حيث تتزايد تحت ظروف الجفاف وتختلفى فى النباتات المائية .

الجسم الثانوى : يحدث فى نباتات الفلقتين ومعراة البذور ليساير التوسعات فى البناء النباتى من إضافات للمجموع الجذرى والمجموع الخضرى. يظهر الكمبيوم الوعائى الثانوى فى الجذور ويكون أنسجة وعائية ثانوية (خشب ولحاء) وذلك فى المحاور الرئيسية للمجموع الجذرى وتتزايد بتجدد التفريع – يتفكك الجسم الابتدائى وتسود الأنسجة الثانوية لبناء التركيب الجذرى الثانوى ويلزم تكوين غطاء بريدرمى خارجى ينشأ من الكمبيوم الفلينى لحماية الأنسجة الداخلية وكذلك الحال فى سوق الأشجار الخشبية – يتكون الكمبيوم الوعائى فى حلقة كاملة هى المسئولة عن بناء الأنسجة الخشبية الثانوية جهة الداخل وأنسجة لحائية على المحيط الخارجى. ونظراً لتزايد نسبة الإضافة من الخشب الثانوى تتزايد اتساع حلقة الكمبيوم الوعائى مع تزايد قطر الساق.

تتكون الحلقات السنوية فى الخشب الثانوى مع النمو الموسمى للكمبيوم الوعائى فينشط مكوناً خشب ربيعى (متسع الأوعية) ثم يليه تكوين خشب صيفى (ضيق الأوعية) ويكونان معاً حلقة سنوية.

نماذج الأسئلة
أ. أسئلة موضوعية

السؤال الأول :

أكتب المفهوم العلمى الذى يدل على كلاً مما يأتى :

1- الروابط البلازمية المتجمعة فى تجاويف بالجدر . (.....)
2- أكبر الجسيمات الخلوية . (.....)
3- المكان بالخلية الذى يتم عليه عملية ترتيب واتحاد الأحماض الأمينية . (.....)
4- جسيمات تحتوى على انزيمات التحليل المائى وتقوم بعملية التحلل الذاتى. (.....)
5- مجموعة من الأنسجة البسيطة أو المركبة ومعها بعض التركيبات الخلوية (.....)
6- مجموعة من الخلايا التى توجد فى قمم الجذور والبراعم الطرفية والأجنة (.....)
7- نوع من الثغور يتميز بأن خلاياه الحارسة كلوية . (.....)
8- نسيج يتكون على الأسطح المعرضة بعد انفصال الأوراق عن النبات وحول الأنسجة المريضة أو الميتة. (.....)
9- فتحات تتكون فى البريدرم تسهل تبادل الغازات (.....)
10- نسيج يختص بتوصيل الغذاء المجهز وهو من الأنسجة المركبة. (.....)
11- خلايا خاصة توجد على الأعضاء الزهرية تنتج رحيقاً لجذب الحشرات. (.....)
12- قنوات تحتوى على سائل يعرف باللبن النباتى. (.....)
13- أول نسيج خارجى يحيط بالأسطوانة الوعائية للجذر. (.....)
14- نسيج يتكون من خلايا بارنشيمية تشغل مركز القطاع فى بعض الجذور. (.....)
15- السوق التى تتميز بوجود حزم وعائية جانبية مفتوحة. (.....)
16- النبات النامى من الجنين بأعضائه الجذور والساق والأوراق. (.....)
17- مسافة بينية تحاط بخليتين وتسهم فى تبادل الغازات . (.....)

السؤال الثانى :

أختر الإجابة الصحيحة لكل عبارة من العبارات التالية :

1- الأجسام المستديرة أوالبيضاوية الشكل والتى تشاهد فى مناطق تخزين الغذاء وتقوم بتخزين البروتين تسمى :

أ- البلورات المعدنية.

ب- الحبيبات الاليرونية.

ج- حبيبات النشا .

2- الخشب الذى يكونه الكمبيوم الوعائى ويكون ذو مسامية قليلة يعرف بـ:

أ- الخشب الربيعى .

ب- الخشب الصيفى .

ج- الحلقات السنوية الكاذبة.

3- من الغدد الخارجية بالنبات :

أ- الخلايا الأفرازية.

ب- القنوات اللبنية .

ج- الشعيرات الغدية .

4- مجموعة الحزم الوعائية التى توجد فى معظم سوق وأوراق نباتات ذوات الفلقة الواحدة تعرف بـ:

أ- الحزم ذات الجانبين .

ب- الحزم الجانبية المقفلة .

ج- الحزم الجانبية المفتوحة.

5- كلاً مما يأتى من السمات المورفولوجية للجذور ما عدا:

أ- تقسم إلى عقد وسلاميات .

ب- تكسو قمتها قلنسوة.

ج- لا تحمل البراعم .

6- يطلق على النسيج البارنشيمى الذى يتكون نتيجة انقسام الكمبيوم الفلليني للداخل اسم :

أ- الفللوجين ب- الفللين ج- الفللودرم.

7- الشكل النموذجى للخلايا الكولنشيمية يعرف بالنسيج :

أ- الكولنشيمى الركنى

ب- الكولنشيمى التماسى .

ج- الكولنشيمى الأنبوبى.

8- من أمثلة النباتات ذوات الفلقتين :

أ- البرسيم الحجازى .

ب- السوسن .

ج- القمح

9- نسيج الخشب يعتبر :

أ- نسيج بسيط .

ب- نسيج مركب .

ج- جهاز نسيجى .

10- من الأوراق ذات الجانبين أوراق نبات :

أ- الشيح .

ب- العنب .

ج- التفاح .

ب- أسئلة المقال

1- وضح بالرسم المكونات المختلفة للخلية النباتية .

2- اذكر باختصار أجزاء الجدار الخلوى المختلفة والفرق بينها.

3- أذكر ما تعرفه عن التركيب والوظيفة (مع الرسم) لكل مما يأتى : النواة – الميتوكوندريا – الريبوزومات – الشبكة الاندوبلازمية – البلاستيدات الخضراء (فى النباتات الخضراء) – أجسام جولجى (الدكتيوسومات) – الليوسوسومات – الأنابيب الدقيقة – الفجوة العصارية .

4- وضح الفرق بين النسيج البسيط والنسيج المركب – والجهاز النسيجى .

5- وضح تقسيم المرستيمات حسب الموقع والوظيفة موضحاً أجابتك بالرسم ما أمكن.

6- عرف البشرة ثم أشرح وظائفها.

7- أذكر أهم أنواع الثغور ، ثم استعن بالرسم موضحاً الفروق التركيبية وطرق انفتاحها.

8- أذكر ما تعرفه عن : النسيج البارنشيمى للبناء الضوئى – النسيج البارنشيمى الخاص بالتخزين والخاص بالتهوية.

9- وضح مع الرسم توزيع النسيج الكولنشيمى داخل النبات.

10- وضح مع الرسم صفات الخلايا الكولنشيمية وأنواعها المختلفة.

11- وضح بالرسم التخطيطى الأنواع المختلفة للأسكلريدات.

12- وضح مع الرسم أنواع العناصر الناقلة فى الخشب وتركيب الجدار الثانوى لهذه العناصر.
13- ما هى عناصر (مكونات) نسيج اللحاء.
14- فرق بين أنواع الحزم الجانبية مع الرسم التفصيلى لمكوناتها.
15- وضح الأنواع المختلفة للغدد.

3- تشريح الأعضاء النباتية

1- بين بالرسم التخطيطى الفرق بين تركيب جذر فلقتين حديث وجذر فلقة واحدة.
2- قارن تركيب الأنسجة الوعائية الناقلة فى الاسطوانة الوعائية لجذر فلقة وجذر فلقتين .
3- قارن بين التركيب التشريحى لجذر وساق فلقتين حديث.
4- اذكر الأعضاء النباتية التى يتواجد بها كل مما يأتى :
أ- نسيج ادمى ذو شعيرات ماصة للرطوبة. ب) النسيج المحتوى على حزام كاسبار.
ج- الخلايا الممرة فى الأندودمز . د) الأكسودرمز. هـ) الغلاف النشوى.
5- قارن بين لنسيج العمادى والنسيج الأسفنجى من حيث الموقع والشكل والترتيب.
6- هناك سوق بها حزم وعائية مبعثرة وأخرى بها حزم وعائية مرتبة فى محيط دائرى . قارن بين الحزم الوعائية فى كل حالة وحالتها الكمبيومية. وتغليظها الأسكلرنشيمى.
7- علل لماذا يحدث التغليظ الثانوى فى نباتات الفلقتين ولا يحدث فى الفلقة الواحدة ، عزز اجابتك بالرسم.
8- قارن بين الكمبيوم الحزمى والكمبيوم بين الحزمى من حيث النشأة ودور كل منها فى الأعضاء النباتية المختلفة.
9- ما الفرق بين الجسم الابتدائى والجسم الثانوى فى ذوات الفلقتين – وكيف تصنف نباتات الفلقة الواحدة فى أى منهما.
10- عرف تركيب الحلقة السنوية وفى أى الأعضاء النباتية تتكون (جذر – ساق – ورقة) وفى أى الأنسجة الوعائية تشاهد – وما هى الفوائد التى تحققها للنبات.

ثانياً: مورفولوجيا وتقسيم النبات

الأهـداف

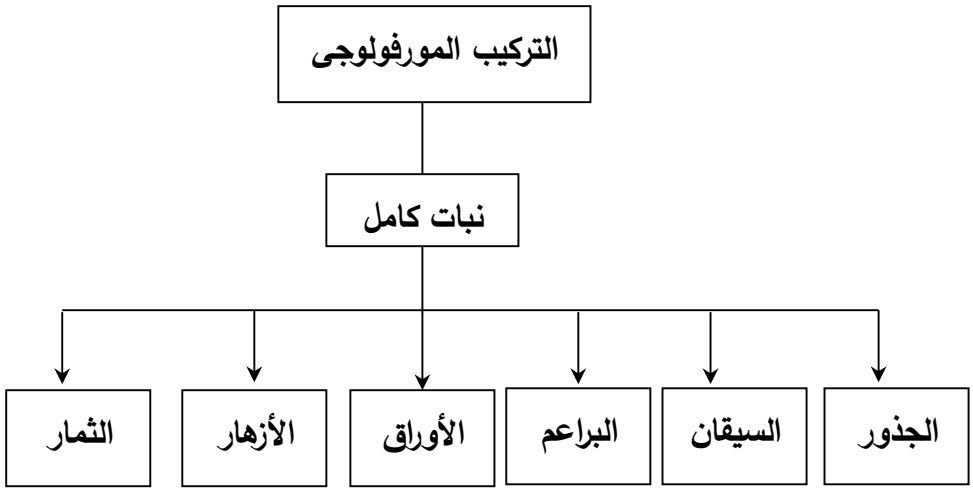
يرجى عزيزى الطالب بعد دراسة هذا الجزء أن تكون قادراً على أن:

1- تحدد المقصود بالمجموع الجذرى
2- تفرق بين الجذر الأصلى والجذور العرضية .
3- تحدد المقصود بالمجموع الخضرى .
4- تفرق بين الساق الأصلية والساق العرضية .
5- تفرق بين أنواع التفرع فى الساق .
6- تفرق بين الأنواع المختلفة للسوق .
7- تتعرف على أنواع التحورات فى الساق .
8- تحدد المقصود بالبراعم وأشكالها المختلفة .
9- تفرق بين الورقة والساق (الفرع) .
10- تحدد المقصود بالتعريق Venation وانماطه المختلفة .
11- تتعرف على أنماط التفصيص فى الورقة.
12- تتعرف على كيفية ترتيب الأوراق على الساق .
13- تتعرف على أنواع الأوراق .
14- تتعرف على أنماط التحورات فى الورقة .
15- تحدد المقصود بالتشكيل الزهرى .
16- تفرق بين الأزهار تبعاً لأشكال التخت .
17- تفرق بين ملحقات الأوراق الزهرية غير الأساسية: (القنابة – القنيبة).
18- تفرق بين الزهرة الخنثى والزهرة وحيدة الجنس .
19- تفرق بين الزهرة أحادية المنزل والزهرة ثنائية المنزل .
20- تحدد تركيب ووظيفة كل من : الطلع – المتاع .
21- تحدد المقصود بالتشريح التقسيمى للزهرة .
22- تحدد المقصود بالتوجيه الزهرى وأنماطه .
23- تفرق بين مفهوم المسقط الزهرى ومفهوم القطاع الطولى .
24- تفرق بين الأزهار تبعاً لنوع تناظرها .
25- تفرق بين الزهرة الوحيدة الطرفية – المفردة الجانبية – النورة .
26- تفرق بين أنواع النورات المختلفة .
27- تحدد المقصود بالتلقيح Pollination .
28- تفرق بين التلقيح الذاتى – والتلقيح الخلطى .

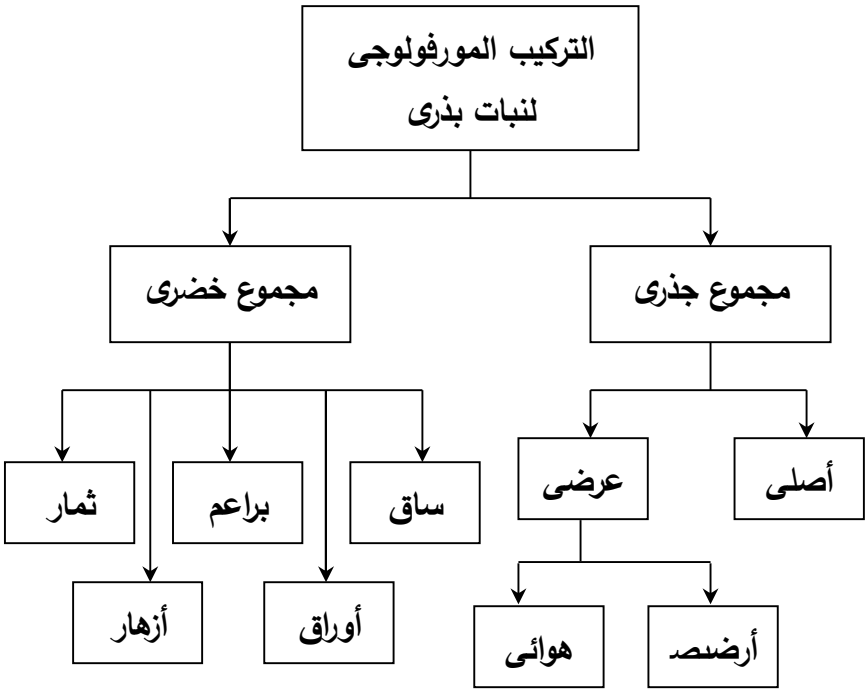
29- تحدد العوامل التى تؤدى إلى حدوث التلقيح الذاتى والتلقيح الخلطى .
30- تفرق بين وسائل انتقال حبوب اللقاح .
31- تحدد مميزات الأزهار حشرية التلقيح .
32- تفرق بين كيفية التلقيح فى بعض الأزهار الحشرية التلقيح .
{دوار الشمس – بسلة الزهور – البانسية – السلفيا – التين}
33- تفرق بين طرق دخول أنبوب اللقاح إلى البويضة .
34- تحدد المقصود بالأخصاب Fertilization .
35- تفرق بين مفهوم الأندماج الثلاثى ومفهوم الأخصاب المزدوج .
36- تفرق بين مفهوم الاكثار البكرى والاثمار البكرى .
37- تحدد المقصود بالثمرة .
38- تفرق بين تقسيم الثمار حسب: التكوين – أصل الثمرة ونشأتها – نوع الغلاف الثمرى .
39- تتعرف على أنواع الثمار .
40- تحدد خصائص الثمار المركبة وتفرق بين أنواعها .
41- تقارن بين ذوات الفلقتين وذوات الفلقة الواحدة من حيث: الجنين – غذاء الجنين – الأوراق – الأزهار – النظام الوعائى – الحزم الوعائية – النسيج الأساسى .
42- تفرق بين المميزات الزهرية لبعض فصائل ذوات الفلقتين وذوات الفلقة الواحدة .

تقديـم

يشمل هذا الجزء الموضوعات الآتية :



تعتمد دراسة الشكل النباتى Plant Morphology على كفاءة الدارس فى التعرف على الصفات والخواص المميزة لذلك النبات . وهى تكون فى مجموعها مصطلحاتها النباتية Botanical terminology التى يتقنها الدارس لعلوم النبات ، وهى تختلف حسب الأعضاء المختلفة للكائن النباتى إلى قسمين : مجموع جذرى ومجموع خضرى وأخيرا المجموع الزهرى .



أولا : المجموع الجذرى The root system

يتواجد عادة داخل التربة حيث يثبت الهيكل النباتى فيها ، كما يقوم بإمتصاص الماء الأرضى والغذاء المعدنى ووحدته الجذر – وتختلف الجذور حسب نشأتها إلى :

1- **جذر أصلى:** وينشأ من الجذير الجنينى وينمو إلى أسفل ضارباً فى التربة مكوناً مجموعاً جذريا أصليا وهو محوره الاوسط وتخرج منه أفرعا جانبية تسمى الجذور الثانوية وهى مرتبه فى تعاقب قمى وتنشأ داخليا من نسيج البريسيكل كما فى جذور القطن والفول . قد يقوم الجذر الاصلى بتخزين الغذاء مكونا جذورا درنيه تختلف فى اشكالها (مغزلى فى الفجل – مخروطى فى الجزر أو لفتى فى اللفت) شكل 36 .

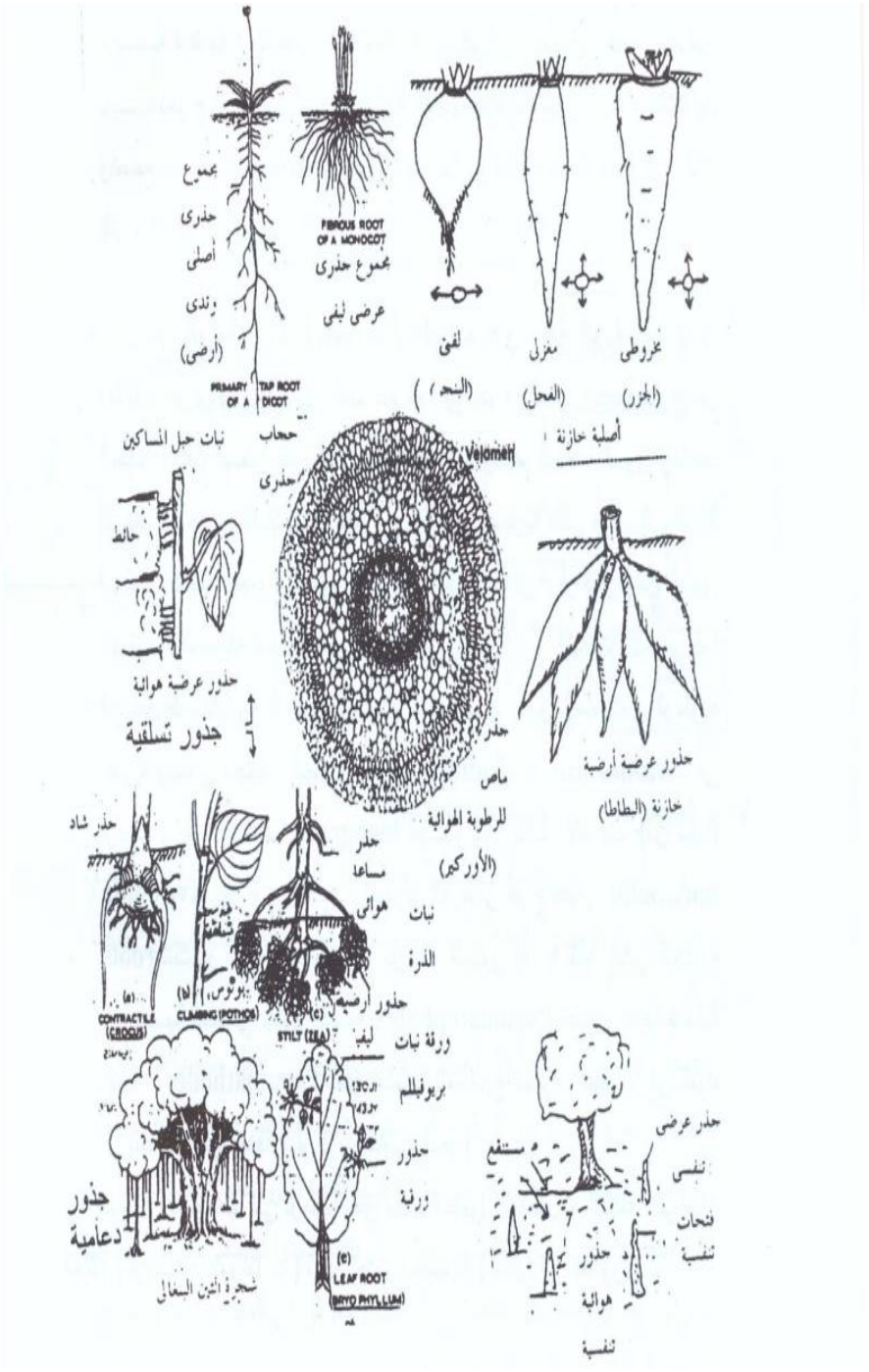
2- **الجذور العرضية:** وتنشأ على أى عضو نباتى خلاف الجذير مكونه مجموعا جذريا عرضيا يميز منها نوعان :

أ) **عرضية أرضية:** وتختلف بإختلاف النبات ، فهى أما ليفية مثل القمح والشعير حيث تخرج من قاعدة الساق وتتشابك أفرعها فى نظام ليفى أو

تقوم بالتخزين وتصبح درنية مثل البطاطا أو تكون شادة تجذب الأعضاء الأرضية إلى داخل التربة كما فى الزنبق .

ب) **عرضية هوائية:** تتميز بوجودها أو ظهورها فوق سطح التربة حيث تؤدى وظائف أخرى فمنها الجذور المساعدة كما فى الذرة والقصب حيث تخرج من العقد الساقية السفلية القريبة من سطح الأرض وتدعم استقامة السوق وتساعد المجموع الجذرى للنبات . أو تتدلى من الافرع الشجرية حتى تصل إلى التربة لتقوم بتدعيم المجموع الخضرى كما فى التين البنغالى . أو تخرج من السوق الهوائيةالضعيفة لتساعدها فى التسلق على الجدران أو النباتات الأخرى كما فى حبل المساكين أو تزود الجذور العرضية بنسيج خاص لإمتصاص الرطوبة الجوية ويسمى الحجاب الجذرى كما فى Cladium أو Anthurium . فى أراضى المستنقعات Mangrove حيث ينمو نبات الافيسينيا (ابن سينا) Avicennia يخرج من المجموع الجذرى العرضى أفرع أفقية Horizontal roots تنتشر حول النبات تخرج من تلك الجذور أفرعا تنمو عكس الجاذبية الأرضية تسمى جذور تنفسية Pneumatophoers تتكون عليها فتحات تهوية Pneumathodes تحقق التهوية للمجموع الجذرى المغمور فى المياه فى تلك الأرض الغدقة (أو قرب شاطىء البحر).

تعتبر الممصات التى ترسلها ساق نبات الحامول المتطفل والملتفة على ساق العائل (برسيم – دورنتا ..) تعتبر جذوراً ممصية (شكل 36 للجذور) .

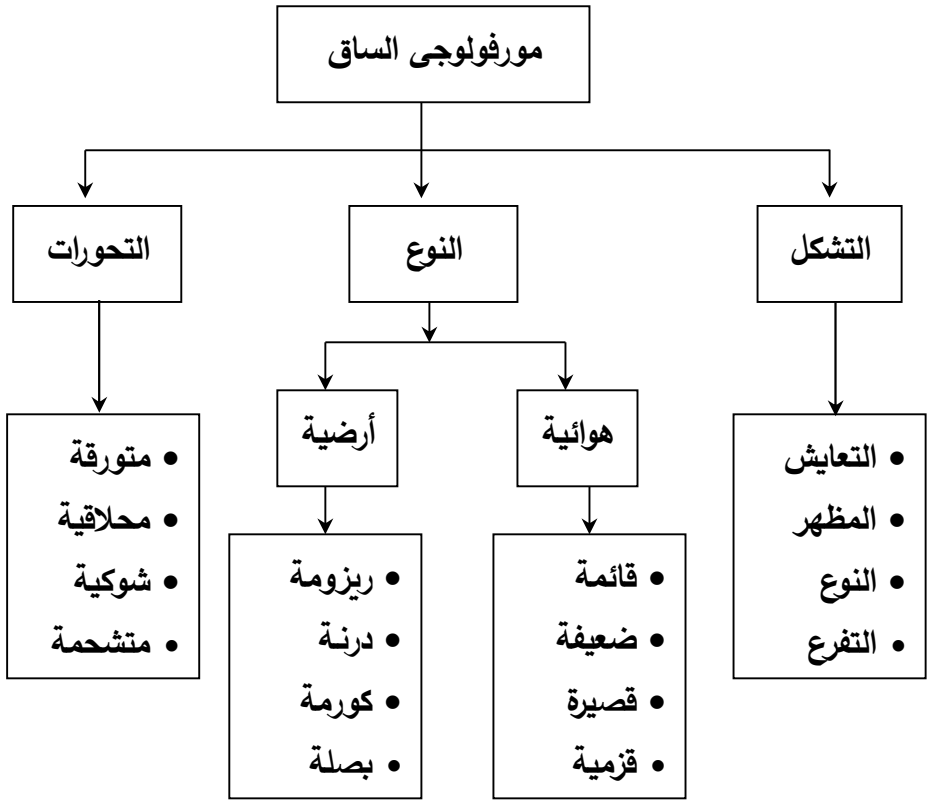


(شكل 36) : الجذور أشكالها وتحوراتها

ثانيا: المجموع الخضرى "Shoot" The Vegetative system

يطلق على الأعضاء النباتية المكونة لهذا الشطر النباتى والذى يشتمل على : الساق وأفرعها والأوراق والبراعم بأنواعها المختلفة .

الساق The Stem



تنشأ الساق عادة نتيجة نمو الريشة (البرعم الجنينى) إلى أعلى ضد الجاذبية الأرضية لتكوين المجموع الخضرى. تتميز على المحاور الساقية (الساق الرئيسى وأفرعه) مواقع فاصلة تسمى العقد nodes ترتبط فيها الأوراق بالساق. أما المسافات الفاصلة بين العقد فتسمى السلاميات internodes ثم تتكشف أعضاء صغيرة تسمى البراعم buds (بأنواعها المختلفة) ثم تحمل الساق طور الأزهار) التراكيب التكاثرية المختصة فى إنتاج الثمار وما بداخلها من بذور .

التشكل الساقى Stem Morphology

ويختص بدراسة الخلافات الوصفية نتيجة التشكيلات المتباينة من حيث التعايش والمنشأ والتفرع والأوضاع من حيث كونها هوائية أو أرضية ... إلخ .

التعايش الساقى

تلتزم سوق النباتات فى تواجدها مع حالات التعايش وحولياته كما يلى:

تعتبر النباتات حولية annual اذا تعايشت سوقها لمدة عام أو اقل تنتهى بالاثمار . قد تكون ذات حولين biennial اذا دامت حياة النبات من طور النشاط البذرى حتى إنتاج بذور التكاثر (دورة حياة كاملة من البذرة إلى البذرة) طيلة موسمى نمو- فيكون نموها خلال الموسم الأول بدون ساق قائمة acaulescent دائما تكون قصيرة متقاربة العقد متوردة الأوراق rosette bearing التى تظهر كأنها خارجة من القاعدة الجذرية (يسميها البعض أوراقا جذرية radical leaves) . خلال العام التالى تستطيل الساق لتصبح هوائية قائمة caulescent حاملة التكوينات الزهرية وتستمر حتى تنتج الثمار وما بها من بذور .

أما النباتات المعمرة Perennials فتتعايش لعدة مواسم نمو وتقوم فى كل موسم بالأزهار والأثمار وإنتاج البذور وتجدد نموها عادة فى كل عام . وتكون سوقها خشبية woody وطبيعتها شجرية arborescent .

المظهر الساقى Stem Shape

تكتسب معظم السوق الشكل الأسطوانى cylindrical ومقطعها العرضى مستديراً مثل البرسيم ودوار الشمس أو تبدو مضلعة ثلاثية المقطع (السعد) أو رباعية (الفول) أو خماسية (القرعيات).

أذا اختفى النخاع المركزى تصبح الساق جوفاء كما فى الفول والبرسيم واللوف أو تصبح الساق متورقه (مفلطحة كنصل الورقة) كما فى نبات السفندر.

أنواع الساق Kind of Stem

وهى تعبر عن اختلاف السوق من حيث المنشأ إلى :

1- أصلية: Original stem وهى الساق الناتجة من نمو الريشة حيث تتخذ وضعاً رئيسياً فى النبات وتكون الأفرع الناتجة منها كذلك ، لنشأتها من براعم الساق الأصلية .

2- عرضية : Adventitious stem قد تنشأ براعم من مواقع أخرى خلاف فمثلا فى نبات البطاطا تنشأ براعم عرضية من جذوره تنمو مكونة نبات جديد .

تفرع الساق Stem branching

يختلف إلى أحد نوعين : قمى وجانبى – يشاهد النوع الأول فى النباتات غير الراقية . أما التفرع الجانبى lateral br. فينتج من نشاط البراعم الابطية ويشاهد فى النباتات الراقية ومنه حالتان .

أ) تفرع غير محدود indefinite وفيه ينمو البرعم الطرفى إلى أعلى بإستمرار مكونا ساقا طويلة مفردة المحور ويسمى صادق المحور monopodial br. وتخرج الافرع الجانبية فى تعاقب قمى . الكبيرة قاعدية والصغيرة جهة القمة.

ب) تفرع محدود symodial br. حيث لا يستمر البرعم الطرفى فى نموه الخضرى وإنما يكون زهرة أو محلاق ويتجدد النمو من أقرب برعم سفلى مكونا فرعا ينمو فترة ثم يتوقف ويتكرر تجدد النمو بنفس الطريقة وتسمى الساق كاذبة المحور لتكونها من عدة فروع متتالية ويعتبر التفرع وحيد الشعبة monopdial توجد منه حالتان :

- وحيد الشعبة عقربى scorpioid حيث يتجدد النمو من الجانبين بالتبادل كما فى العنب والبتونيا .
- وحيد الشعبة قوقعى helicoids حيث يتجدد النمو من جانب واحد فقط كما فى الفريزيا .

كما يعتبر النمو محدوداً ثنائى التشعب إذا استكمل بنشاط برعمين متقابلين كما فى نورة الياسمين . فى نبات أم اللبن يتجدد من ثلاث براعم على أفرب عقدة ويسمى محدود عديد الشعبة .

أنواع السوق Types of stems:

تقسم السوق إلى قسمين رئيسيين: هوائية وتكون ظاهرة فوق سطح الأرض أو أرضية وهى تقضى حياتها داخل التربة :

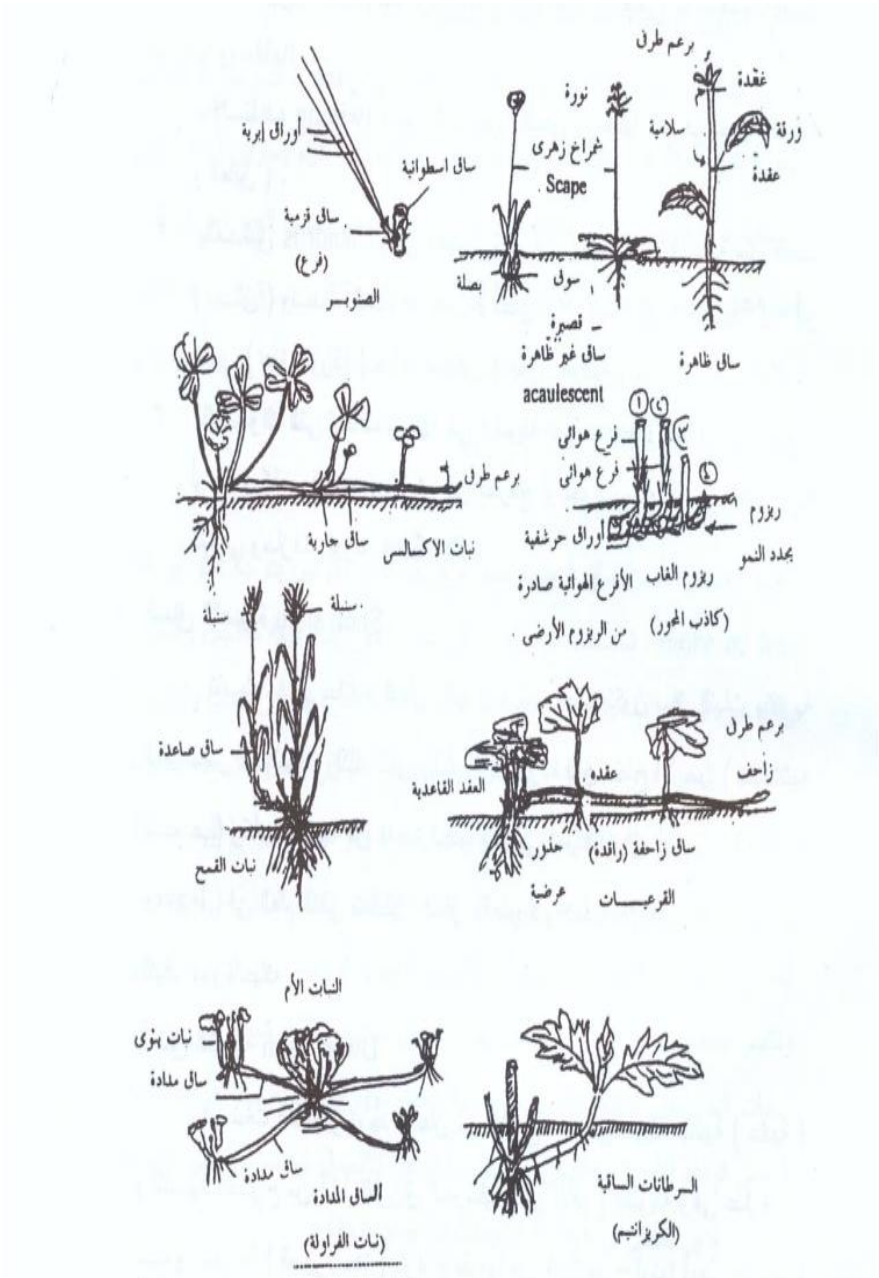
أولا: السوق الهوائية Aerial stems: وتختلف بالنسبة لاستقامتها إلى أحد الأنواع التالية (شكل 37):

أ) السوق القائمة Erect stem: حيث يتخذ وضعا رأسيا مستقلا فوق سطح الأرض وهى نوعان :

1- **عشبية Herbaceous:** الساق خضراء طربة لينة وهى غضة ، بها قلة من الأنسجة الدعامية الحية وتعتمد فى استقامتها على توتر الخلايا بالماء ولذلك تذيل بمجرد فقدها لجزء منه .
2- **خشبية Woody:** تحتوى فى تركيبها على نسبة كبيرة من الأنسجة الملجننة وتنمو رأسيا حاملة الأوراق والأزهار – يغطى الساق خارجيا بنسيج البريدرم المنتج للفلين كما فى جذوع الأشجار .

ب) الساق الضعيفة Weak stem: وتشمل الأنواع التى لا يمكنها الاستقامة بمفردها نذكر منها :

1- **الساق الصاعدة Ascending:** وهى التى تغير اتجاهها بالتقوس إلى أعلى وتصبح شبه قائمة كالنجيليات .
2- **الساق المفترشة Decumbent:** ترقد تلك الساق مسطحة مقاربة لسطح الأرض ولكن بدون ملامسة للتربة .
3- **الساق الراقدة Procumbent:** تختلف عن السابقة بملامستها لسطح الأرض ولاتكون جذورا عند العقد كالقرعيات .
4- **الساق المدادة Stoloniferous:** تعطى أفرعا جارية runner خالية من الأوراق ثم تتوقف عن النمو وتكون نهاياتها (أطرافها) نباتات قائمة تثبت نفسها بمجموعها الجذرى الخاص ، كما فى الفراولة . (يطلق هذا الاصطلاح ايضا على السوق الارضية المناظرة).
5- **الساق الزاحفة Repent:** حيث تزحف الساق فوق سطح التربة وتكون جذورا عند العقد .



(شكل 37) : أنواع السوق الهوائية

6- **السوق المتسلقة .st Climbing**: ويشمل اصطلاح المتسلقات lianes بأنواعها ووسائلها :

1- **بالإلتفاف Twining**: حيث تدور الساق ببرعمها الطرفى حول الدعامة (العليق).

2- **بالمحاليق Tendrils**: وهى اعضاء خاصة للألتفاف حول الدعامة مثل العنب (ساق) ونبات الساعة (برعم أبطى) – ونبات البسلة (وريقة) – أبو خنجر (عنق الورقة) حبل المساكين (جذور هوائية) .

3- **بالأشواك التى تختلف نوعها إلى**: شوكة قوية Thorn كما فى الجهنمية – أو شويكة ورقية Spine كما فى النارنج أو نموات متكونة من سطح الساقة كما فى وخازات الورد Prickles.

جـ- الساق القصيرة Short stem

تشاهد فى نباتات الفجل والجزر واللفت حيث تكون ساق النبات متقاربة العقد لقصر السلاميات ولذلك تخرج الأوراق متوردة فوق سطح الأرض (نظام شبه شعاعى) وكأنها خارجة من قاعدة الجذر (تسمى أحيانا أوراق جذرية Radical leaves) فى العام التالى تستطيل الساق القصيرة وتحمل الأزهار والثمار ثم ينهى النبات دورة حياته .

د- الساق القزمية Dwarf stem

فى نبات الصنوبر يوجد نوعان من الأفرع: الأولى طويلة جانبية (عادية) والثانية تخرج من أباط الأوراق الحرشفية على الأفرع الطويلة وهى عبارة عن سوق متفرعة (قصيرة جدا) يتراوح طولها من 1-2 مم – لونها أبيض – مغطاة من أسفل بأوراق حرشفية بنية وتحمل فى قمتها أوراق أبرية خضراء يتراوح عددها من 1-5 وغالبا 3 أوراق (حسب نوع النبات) . تسمى تلك الأفرع السوق القزمية نظرا لبقائها طول حياتها دون استطالة .

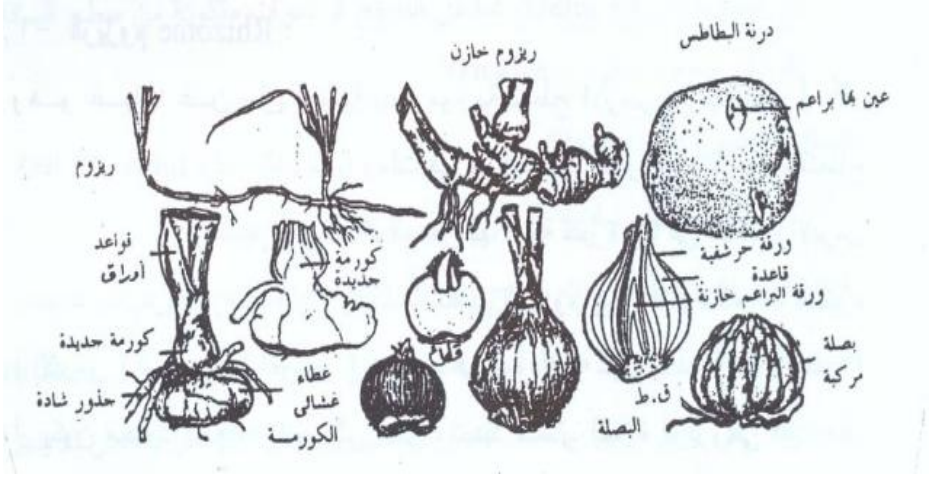
ثانياً: السوق الأرضية Subterranean Stems

تتعايش بعض أنواع السوق تحت سطح الأرض لتجنب التعرض للمؤثرات الجوية غير الملائمة تغطيها الأوراق الحرشفية للوقاية كما تقوم بتخزين الغذاء الذى تستفيد به فى عمليات التكاثر الخضرى . ولذلك عند تحسن الجو تنمو البراعم الساكنة مكونة مجموعا خضريا هوائيا يجهز الغذاء لتكوين سوق أرضية جديدة تملاها

بالغذاء المخزن وبذلك تدرج ضمن النباتات المعمرة – وفيما يلى وصفا لكل من التركيبات الأرضية : (شكل 37) .

1- الريزوم Rhizome:

وهو عبارة عن ساق أرضية تنمو موازية لسطح الأرض بدرجة أكثر أو أقل More or less . تختلف الريزومات فى سمكها فهى إما رفيعة كالنجيل والنعناع والفوجير أو تكون سميكة من الغذاء المدخر بها بنسبة كبيرة كما فى الغاب والايرس والكنا والبردى والسمار . يختلف تقسيم الريزوم إلى عقد وسلاميات قصيرة (الايرس) أو طويلة (الفوجير) ويختلف فى نموه فهو غير محدود (السراخس) أو يكون محدودا بإتجاهه للنمو إلى أعلى وتجديد انتشار الجزء الريزومى من برعم أبطى كما فى أغلب الريزومات . وتخرج الجذور العرضية من الجانب السفلى وتكسو جسمه أوراق حرشفية . تنمو بعض الريزومات فى اتجاه شبه رأسى كما فى نبات الحامض والموز الذى تخرج منه أعناق الأوراق مكونة ساقا هوائية كاذبة (من قواعد الأوراق الخضرية) تنتهى بتاج من الانصال الخضراء المميزة لنبات الموز . جدير بالذكر أن معظم الريزومات لها فوائد طبية .



(شكل 38): السوق الأرضية

الدرنـة Tuber:

يطلق هنا اللفظ على أى جزء منتفخ (متدرن) بالمخزن الغذائى فى نهايات أفرع ريزومية رفيعة تمتد من البراعم السفلى للساق الهوائية (تحت سطح التربة) كما فى البطاطس تملا الدرنات بمخزون نشوى مع بعض البروتين. يحاط جسم الدرنة من الخارج بغلاف فللينى رقيق . تتميز على سطح الدرنة انخفاضات غائرة تسمى العيون تمثل كل منها فرعا جانبيا تتوزع براعمة فى قاع العين – يترك الريزوم الأرضى ندبه هى موضع اتصاله بالدرنه. أما درنات الطرطوفة فتمتاز بوضوح العقد والسلاميات مع بروز الأفرع للخارج – تخزن الطرطوفة مركب الانيولين (بدلا من النشا).

أما درنات حب العزيز فهى صغيرة الحجم مقسمة إلى عقد وسلاميات وبها مخزون نشوى. عند استعمال درنات البطاطس فى الاكثار الخضرى تقطع الدرنة إلى أجزاء بحيث يحتوى كل جزء على عين أو أكثر مع قطعه من الدرنة الخازنة لتوفير المادة الغذائية اللازمة لنمو البرعم .

عند الزراعة تعطى هذه الأجزاء ساقا هوائية تكسوها الأوراق الخضراء وتتكرر القصة بتكوين ريزومات منشئة للدرنات الجديدة فى المحصول الجديد .

2- الكورمة Corm :

هى ساق أرضية قصيرة وغليظة تنمو عمودية (رأسيا) بالنسبة لسطح الأرض – يخزن الغذاء النشوى فيها . كورمة القلقاس مقسمه إلى عقد وسلاميات ومحاطة بأوراق حرشفية عريضة بنية اللون ملتصقة بسطح الكورمة مغلفة سلامياتها فى قمتها العليا يوجد البرعم الطرفى الذى تتكون فيه كورمة العام القادم كما يميز فى الجزء السفلى بقايا العام الماضى . أحيانا تخزن بعض البراعم الابطية غذاء بداخلها مكونة كورمة صغيرة تسمى أزرار أو فكوك يمكن استخدامها فى الاكثار الخضرى . فى نبات الأنثوليزا تكون الكورمة قرصية (مفلطحة) مغطاة بأوراق حرشفية متقاربة لقصر السلاميات .

يستهلك غذاء الكورمة فى تكوين المجموع الخضرى الذى يقوم بتخزين الغذاء الجديد فى البرعم الطرفى المنتفخ أعلى الكورمة .

3- البصلة Bulb:

هى تركيب نباتى مكون من ساق قرصية (مفلطحة) صغيرة الحجم تحمل على سطحها العلوى تركيبات ورقية مختلفة بشكل قشرى scales متتالى من الداخل (المركز) إلى الخارج . تتواجد أوراق حول البرعم وهى بيضاء خازنة ويمكن

أن تنمو فى العام التالى لتعطى أوراقا خوصية أنبوبية خضراء النصل (فى عملية تسمى تزريع البصل) تحاط أوراق البرعم وتطوق من الخارج بعدة أوراق حرشفية جافة للحماية متغيرة اللون . عند الأزهار تعطى البصلة نورة شبه خيمية تكون بذورا صغيرة سوداء. أما فى نبات الثوم فتكون البصلة مركبة من عدة بصيلات صغيرة تسمى الفصوص مرتبه فى نظام شبه دائرى . يتكون الفص من ساق صغيرة تحمل ورقة متشحمة يتوسطها برعم طرفى . كما يكسوها من الخارج ورقة حرشفية جافة رقيقة جلدية بيضاء اللون . تعتبر الفصوص وسيلة التكاثر الوحيدة للثوم . قد تنشأ على شمراخ نورة الثوم بصيلات هوائية مختزلة .

تخزن المواد الغذائية فى معظم الابصال على صورة سكر وليس على هيئة نشا .

تحورات الساق Stem metamorphosis:

حيث تكتسب أشكالا خاصة لتأدية وظائف معينة نذكر منها (شكل 39):

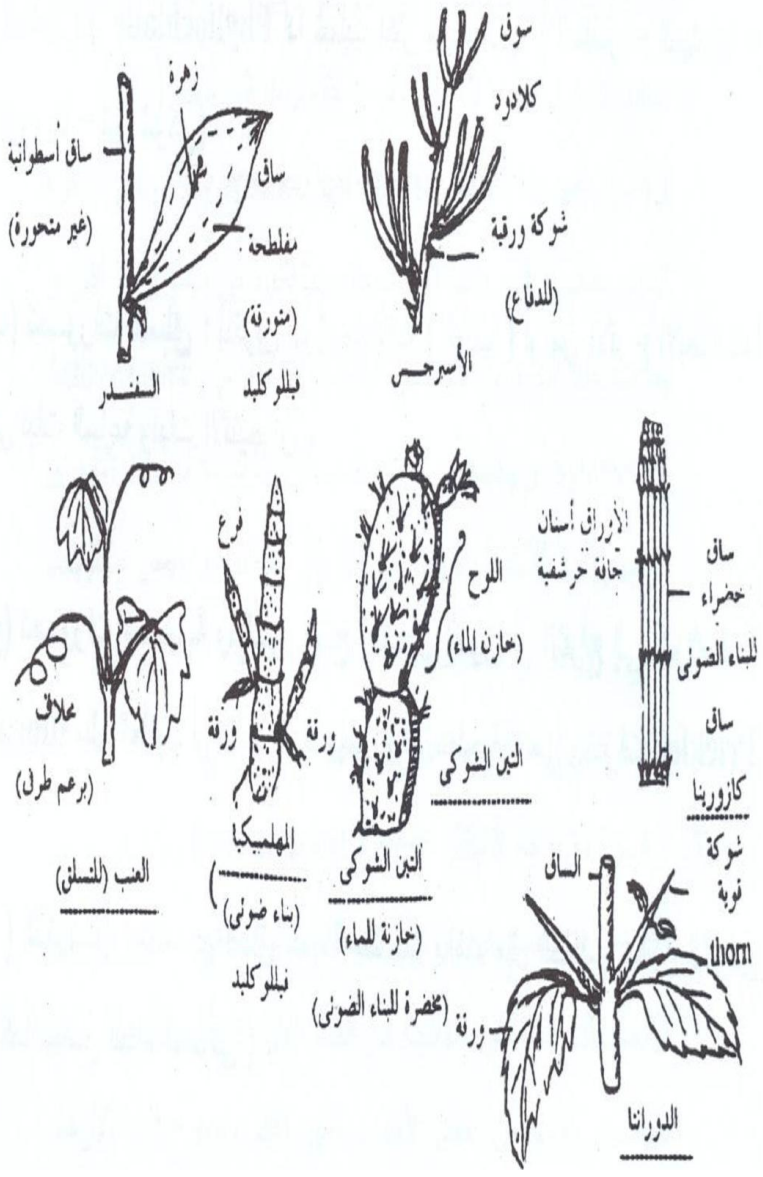
أ) تحورات البناء الضوئى: وتسمى الساق المتورقة Phyllode وهى نوعان : كلادود Cladode إذا نشأت من سلامية واحدة (الاسبرجس بنوعيه الناعم والخشن) و Phyllochlade إذا شملت أكثر من سلامية (السفندر – المهلنبكيا – كازورينا – تين شوكى).

ب) تحورات للتسلق : بتكوين سوق محلاقية طرفية مثل (العنب) أو من الأفرع الابطية كما فى نبات الساعة ونبات الانتيجونن .

ج) تحورات الحماية وتقليل النتح : تتحول السوق أو الأفرع إلى أشواك قوية thorns مثل العاقول أو تكسو السلاميات زوائد سطحية تسمى وخازات Prickles.

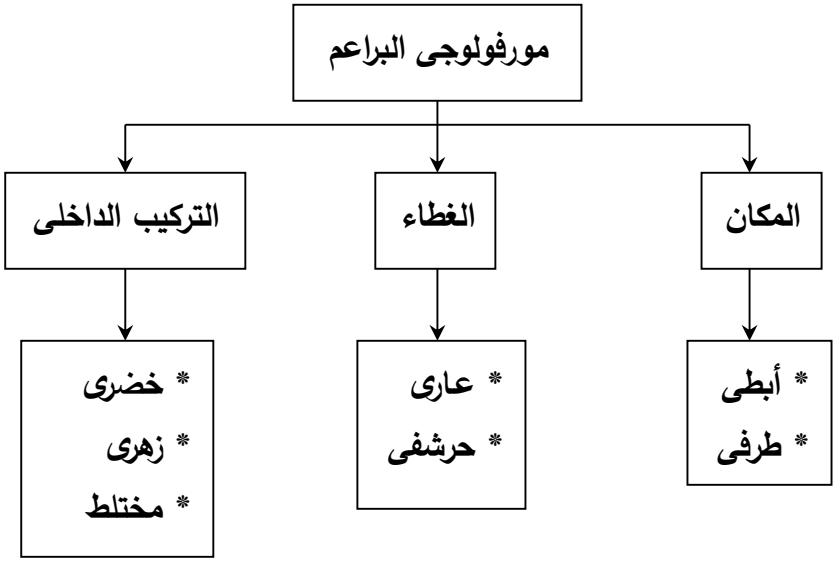
د) التخزين: تصبح الساق سميكة متشحمة بالماء مثل الكاكتس والتين الشوكى (كما تخضر للبناء الضوئى) .

هـ) التكاثر: راجع التركيب الزهرى .



شكل 39: تحورات الساق

البراعم Buds



يعتبر البرعم عضوا نباتيا يظل ساكنا لحين الحاجة إليه . وهو تركيبيا عبارة عن ساق Stem سلامياتها قصيرة جدا مما يجعل أوراقها الخضرية أو الزهرية تتراكم وتغلف بعضها بعضا للحماية . تقسم البراعم تبعا لعدة أسس : (شكل 40) .

1- الموقع Position تتوزع البراعم فى الهيكل النباتى إلى :

أ) برعم طرفى Terminal bud يتواجد فى نهايات السوق والأفرع at the stem apex .

ب) برعم أبطى axillary bud يحمل جانبيا lateral فى الزاوية الابطية للورقة وقد ينمو مكونا فرعا خضريا (أبطى خضرى) أو يكون أزهارا (أبطى زهرى) .

2- الغطاء Cover

أ) برعم عارى naked bud : هو برعم أخضر يحاط بأوراقه العادية . يتواجد فى النباتات مستديمة الخضرة مثل : الدورانتا وتعرف هذه البراعم احيانا بالبراعم الصيفية مستديمة الخضرة لقدرتها على النمو فى أى وقت .

ب) بـرعم حرشفى Scaly: تمتاز باحاطتها من الخارج بأوراق بنية تسمى أوراق حرشفية لحماية الأجزاء الحساسة الداخلية من البرودة لجوية كما تتواجد شعيرات بنيـة تتخلـل الأوراق الحديثـة للتدفئـة – وتعـرف أيضـا بأسـم البـراعم الشـتوية Winter buds .

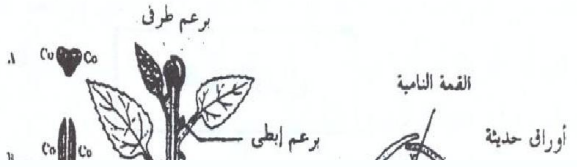
فى موسم النشاط تتساقط الحراشيف الواقية وكذلك الاوبار العازلة ، فينمو البرعم بنشاط بعد موسم الكمون الشتوى – يتواجد هذا النوع من البراعم فى النباتات الزهرية لمغطاة البذور .

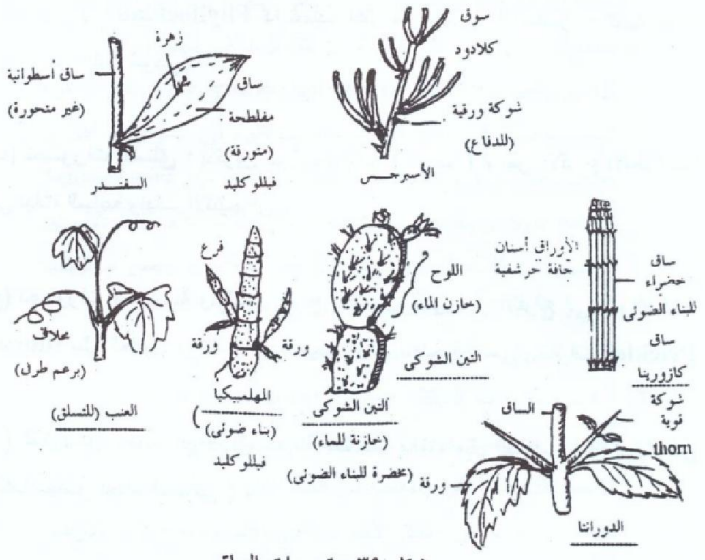
3- التركيب الداخلى Internal structure

أ) برعم خضرى Vegetative bud وهو البرعم الذى ينشط مكونا فرعا خضريا يزيد النمو الخضرى للنبات وهى متواجد فى جميع النباتات .

ب) برعم زهرى Floral bud وهى البراعم التى بنشاطها تكون أزهارا فردية أو متجمعة فى نورات كما فى كثير من نباتات الفاكهة التى تنشط قبل البراعم الأخرى (الخضرية) فتظهر الأزهار كاسية الأشجار.

ج) براعم مختلطة Mixed buds وتقوم بدور البرعمين معا .

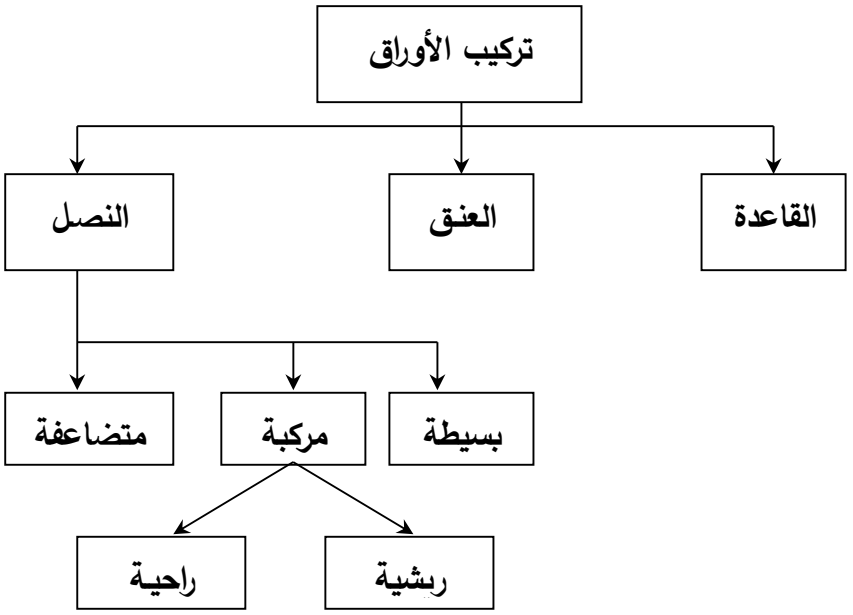




شكل ٣٩ : تحورات الساق

شكل 40: البراعم

الورقـة The Leaf



تعتبر الأوراق النباتية زوائد خضراء مفلطحة . عادة تحملها السوق وأفرعها عند العقد ، لوفرة البلاسيتدات الخضراء تصبح الأوراق أعضاء متخصصة فى القيام بعملية البناء الضوئى . أولى أوراق النبات هى الأوراق الفلقية التى تصاحب البادرة خلال انبات الجنين البذرى ثم تنشأ الأوراق الخوصية كأعضاء رئيسية للبناء الضوئى كما تسهم فى النتح والتنفس . يمكن للسوق الخضراء العشبية القيام بتلك الوظائف ولكن تتميز الورقة عن الساق (أو الفرع) بما يأتى:

الورقة Leaf	الفرع Branch
1- الشكل الورقى منبسط مفلطح الوجهين .	1- شكل الساق أو الفرع أسطوانى رفيع عادة .
2- لا يوجد بالورقة برعم طرفى وانما تنمو الورقة الحديثة بطريقة متكاملة الأجزاء متزايدة الحجم حتى اكتمال نموها .	2- يوجد بالساق برعم طرفى (به قمة نامية) ، تزيد فى النمو طوليا وجسميا بتكوينات مختلفة .

3- لا تحمل الورقة براعم أو أوراق أو أفرع أو أزهار 4- قد تتجزأ أحيانا إلى وريقات تشبه الواحدة منها الورقة ولا توجد فى آباطها براعم .	3- تحمل الساق براعم طرفية وأبطية وأوراق وأفرع وأزهار . 4- تبدو الساق مقسمة إلى عقد وسلاميات وتعطى أفرعا مشابهة لها .

مكونات الورقة الخوصية : هى عادة ثلاثة أجزاء : القاعدة (وأذناتها) ، العنق – النصل – وفيما يلى وصفا موجزا لكل منها :

القاعدة Base:

هى موضوع اتصال العنق بالساق . قد تتواجد على جانبيها زوائد أذنية كما فى البسلة والورد . الأذنات إما مؤقتة أو مستديمة أو متورقة .

فى النجيليات تمتد القاعدة إلى أعلى مكونة غمدا يحمل النصل الشريطى.

العنق Petiole (Stalk):

هو جزء أسطوانى عادة يختلف فى الشكل والطول – فائدته حمل النصل بعيدا عن الساق ليأخذ قسطا أكبر من ضوء الشمس والهواء – فى حالة غيابه تعتبر الورقة جالسة النصل Sessile blade قد يتحور العنق لتأدية وظائف معينة كالبناء الضوئى (فيللود) أو التسلق ... إلخ .

النصل Lamina (Blade):

هو الجزء من الورقة الذى يتفلطح لاستقبال قدر أكبر من الاشعاع الشمسى كما يحتوى داخليا على قدر أكبر من البلاستيدات الخضراء – وتقسم الأوراق تبعا لتركيب النصل إلى :

أ) الورقة البسيطةٍ Simple leaf: نصلها قطعة متكاملة أو تتفصص إلى فصول متصلة (حتى قرب العرق الوسطى) .

ب) الورقة المركبة Compound leaf: حيث يقسم نصلها إلى أجزاء (اثنان وأكثر) تشبه الورقة حجما وتسمى وريقة Leaflet ولا توجد فى اباطها براعم.

تختلف الأوراق المركبة فى نظام ترتيب وريقاتها إلى:

1- **مركبة ريشية Compound pinnate leaf:** حيث تحمل الوريقات على جانبى الحامل الوسطى (امتداد العنق) بنظام ريشى ، ينتهى أما بوريقة فردية وتسمى ريشية مفردة Compound imparipinnate كما فى الورد أو تتواجد وريقتان وتصبح ريشية مزدوجة وتسمى Compound paripionnate كما فى الكاسيا .

2- **مركبة راحية Compound palmate:** حيث تتجمع الوريقات فى نهاية العنق (مثل تواجد الأصابع فى راحة اليد) كما فى الترمس والأراليا .

ج) **الورقة المركبة المتضاعفة Bicompound leaf:** حيث تعاد تجزئة القسم الذى فى وضع الوريقة إلى وريقات تكون أرق حجما ويطلق على كل منها وريقة (يسيمها البعض رويشة ثانوية) كما فى أوراق البوانسيانا التى تعتبر (تبعا لنظام حمل رويشاتها : ورقة مركبة ريشية متضاعفة Compound) bipinnate . واذا حدث التضاعف فى الورقة الراحية تصبح مركبة راحية متضاعفة Compound bipalmate . تتباين الأنصال مورفولوجيا من حيث أشكالها (الأشكال 41-44) .

التعريق VENTAION

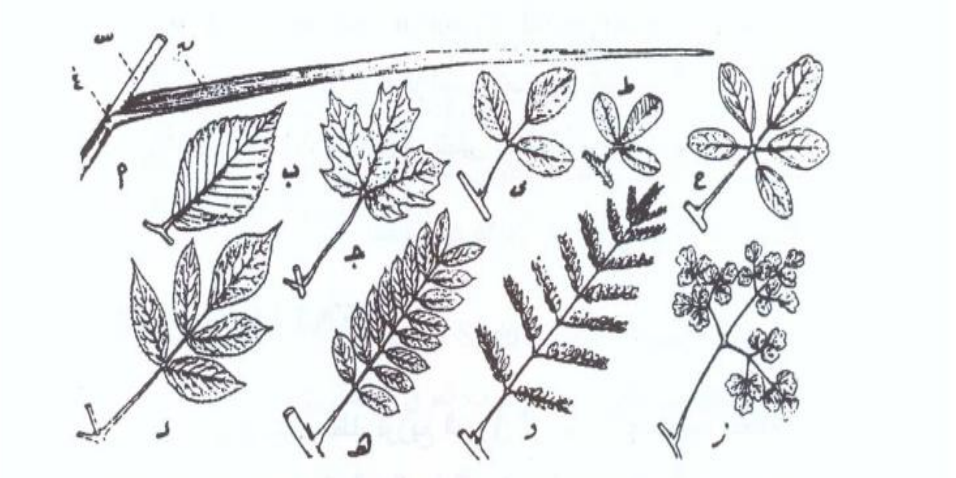
هو دراسة نظام توزيع العروق فى الورقة خصوصا منطقة النصل وبها الجهاز الوعائى الناقل تقوم العروق Venis وأفرعها Venlets بزيادة تدعيم النصل المفلطح الرقيق فى السمك . يتواجد التعريق بإحدى الصور النوعية التالية:

أ- تعريق شبكى Reticulate venation

يشاهد فى أوراق نباتات ذوات الفلقتين ويختلف إلى أحد النوعين :

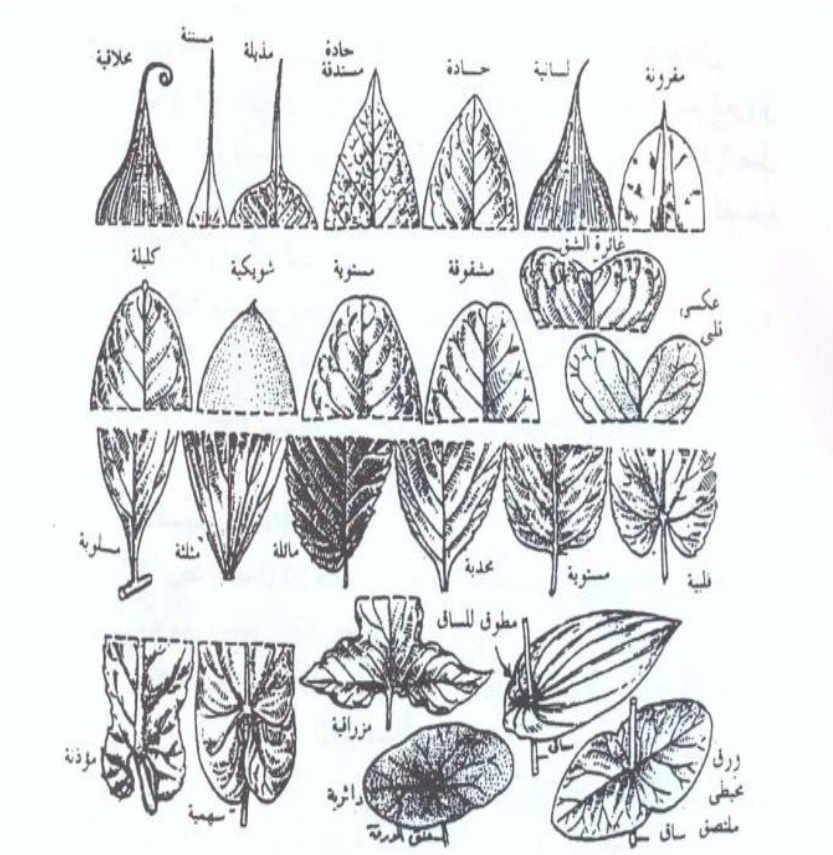
أ/1 **تعريق ريشى شبكى:** يتميز بوجود عرق رئيسى يتوسط النصل وتخرج منه أفرع أصغر تتفرع بدورها إلى الأصغر والأكثر دقة كما فى أوراق الفيكس ووريقات الورد .

أ/2 **تعريق راحى شبكى:** يتواجد بالنصل عدة عروق تخرج من نقطة واحدة فى قاعدة النصل وتتباعد فى أتجاهها نحو الحافة متخذة نظاما مروحيا كما فى العنب والخروع .

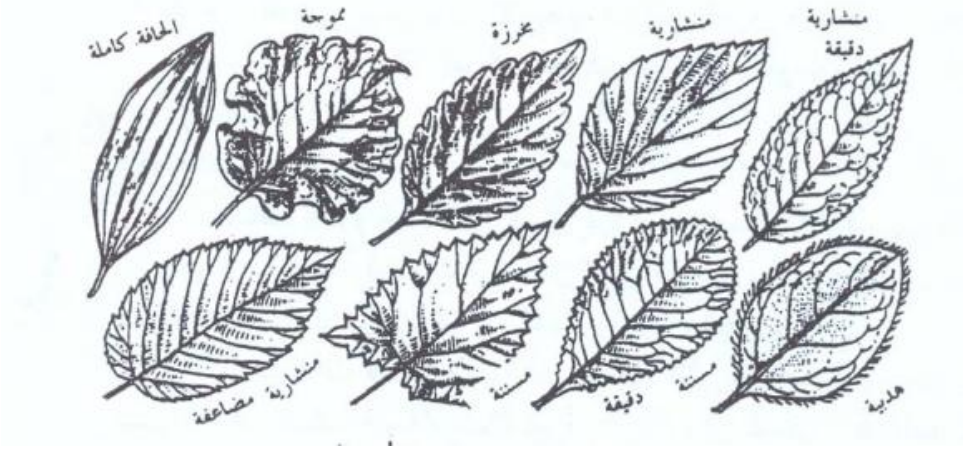


(شكل 41): أجزاء الورقة ونماذجها أ- ورقة جالسة متوازية التعريق (ق نصل غ- غمد – س – ساق). ب-ورقة متبادلة ذات أعناق ريشية التعرق. جـ- أوراق متقابلة ذات عنق راحية التعرق. د- ورقة مركبة منتهية بوريقة.هـ- ورقة مركبة منتهية بوريقتين. و-ورقة مركبة ثنائية. ز- ورقة مركبة ثلاثية . ح- ورقة مركبة راحية. ط- ورقة ثلاثية الوريقات راحية. ى- ورقة ثلاثية الوريقات ريشية.

(شكل 42): صورة الورقة :أ- مثقابية ب- أبرية جـ خيطية د- خيطية مشدنة هـ-طولية و- عودية ز- رمحية ح- بيضية ط- إهليجية ى- مطولة ك-طولية رمحية ل- ملعقية م- عودية مشوكة ن- قدمية س- بيضية مقلوبة (عكس بيضية) ع- دالية ف- رباعية ص- كلوية ق- دائرية



(شكل 43): قمم وقواعد الأنصال



(شكل 44): حواف الأنصال

ب- تعريق متوازى Parallel venation

من مميزات أوراق نباتات ذات الفلقة الواحدة ، وتتميز منه نوعان :

ب/1 متوازى عديد الأضلاع: وهو الأكثر انتشارا حيث تمتد العروق الرئيسية موازية لحافة النصل بدءا من القاعدة إلى قمة النصل كما فى الأوراق الشريطية للقمح والذرة والشعير والقصب وقصب السكر .

ب/2 متوازى وحيد الضلع: حيث يتواجد فى النصل عرق رئسى مفرد وتخرج منه العروق الجانبية (الثانوية) متجهة إلى حافة النصل متوازى ويكون خروج الأفرع الثالثية فى نظام متوازى أيضا كما فى نصل أوراق الموز .

التفصيص Lobation:

إذا وجد بالنصل تعرجات تمتد من حافة النصل الخارجية إلى الداخل بين العروق يصبح النصل مفصصا وتوجد منه الحالات التالية :

1- **نصل مفصص:** حيث لا يزيد عمق التفصيص عن نصف مساحة النصل وتكون الانخفاضات مستديرة .

2- **نصل ممزق:** حيث يصل التفصيص إلى النصف أو أكثر وتكون الانخفاضات مشرشرة (الخروع).

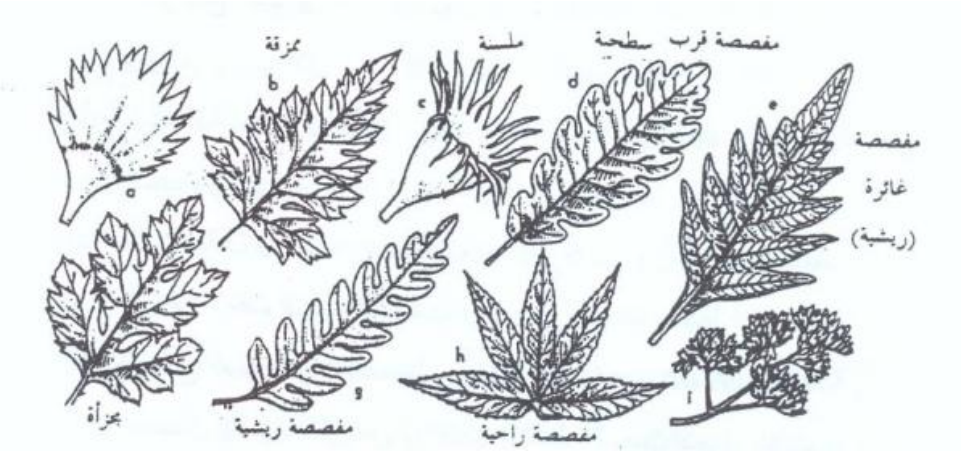
3- **نصل مجزأ :** حيث تصل الانخفاضات إلى قرب العرق الوسطى وقاعدة النصل (الخشخاش) .

4- **نصل مقسم :** حيث تصل الانخفاضات إلى العرق الوسطى وقاعدة النصل وتشبه الورقة المركبة كما فى نخشوش الحوت ونخيل البلح (الشكل 45).

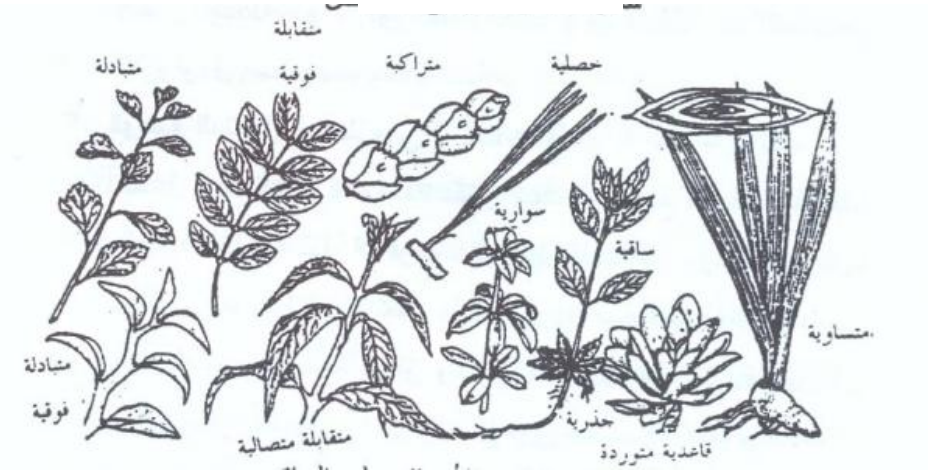
ترتيب الأوراق على الساق:

تنتظم الأوراق على الساق فى أوضاع خاصة: إذا تجمعت الأوراق قرب قاعدة الجذر خارجة من ساق قصيرة يطلق عليها أوراق جذرية radical leaves كما فى الفجل واللفت والجزر .

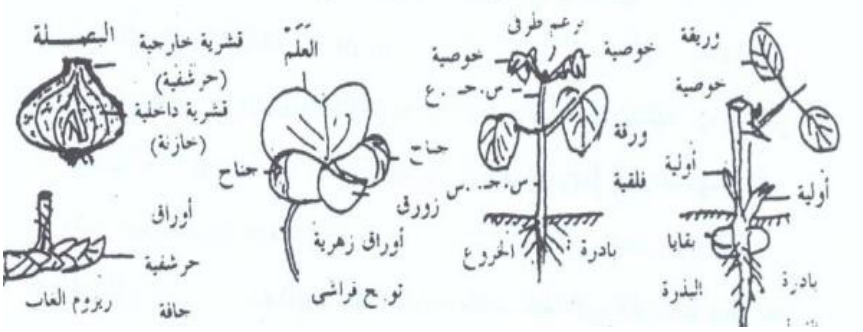
أما إذا كانت الساق طويلة فإنها تحمل الأوراق عند العقد وتكون متباعدة قدر استطالة سلامياتها وتعرف: بالأوراق الساقية Cauline leaves كما فى أغلب النباتات حيث تترتب بإحدى النظم التالية (شكل 46).



(شكل 45) : تفصيص النصل



(شكل 46) : ترتيب الأوراق على الساق



(شكل 47) : أنواع الأوراق

1. الوضع المتقابل Opposite :

وفيه توجد ورقتان عند العقد ويشمل الصورتين :

أ- متقابلة فوقية superposed اى متشابهة فى العقد المتتالية أى فى صفين رأسيين.

ب-متقابلة متصالبة decussate لأن كل ورقتين عند العقد تكون أوراق العقدة التالية فى مستوى رأسى متعامد عليها.

2. الوضع السوارى (المحيطى) Whorled or verticillate:

تحمل العقدة أكثر من ورقتين (الدفلة) حيث تحمل ثلاث ورقات وتكون متبادلة مع أوراق العقدة التالية (أو السابقة) وبذلك تنتظم الأوراق فى ست مستويات رأسية.

3. الوضع المتبادل (الحلزونى) Aternat

تحمل العقدة ورقة واحدة تكون متبادلة الوضع مع العقد السابقة والعقد التالية لها فاذا فرضنا توصيل قاعدة كل ورقة بالتى تليها يتكون خط حلزونى تنتظم عليه الأوراق بمسافات ثابتة أو بنسب معينة من محيط الساق ويكون عدد الأوراق التى تقع بين أى ورقتين فى مستوى رأسى واحد (فوق بعضها تماما) وعدد لفات الخيط الحلزونى الذى يمر بقواعد هذه الأوراق يكون ثابتاً.

أنواع الأوراق Type of leaves

1. أوراق فلقية Cotyledonary تشمل أوراق الجنين البذرى وتكون واحد- mono أو ثنائية di او عديدة poly فى الصنوبر 3-15 فلقة (شكل 47).
2. أوراق أولية prophylls تمتاز بالبساطة فى التركيب وتتواجد لحماية البراعم مثل براعم الريشة فى الجنين البذرى أو البرعم الزهرى (تسمى القنيبات bracteoles) .
3. أوراق خوصية foliage وهى أوراق المجموع الخضرى (بسيطة أو مركبة مسئولة عن تكوين الغذاء).
4. **أوراق قشرية Scales** أكثرها تواجداً هى الأنواع الجافة الجلدية الخالية من البلاستيدات الخضراء وتكسو السوق الأرضية للحماية مثل الريزومات والكورمات. أما الأبصال فتكون الأوراق الخارجية حرشفية جافة ويليها الى الداخل قواعد أوراق خازنة من الأوراق الخوصية منتظمة فى نظام قشرى

عصيرى يكون النطاق الخارجى من جسم البصلة أما النطاق الأوسط الخازن فهو أوراق البرعم المركزى وهى حديثة قمعية الشكل وتنمو عند التزريع فى موسم النمو التالى. وفى العنب تغطى البراعم الشتوية بأوراق حرشفية جافة جلدية وتتخللها اوبار للتدفئة.

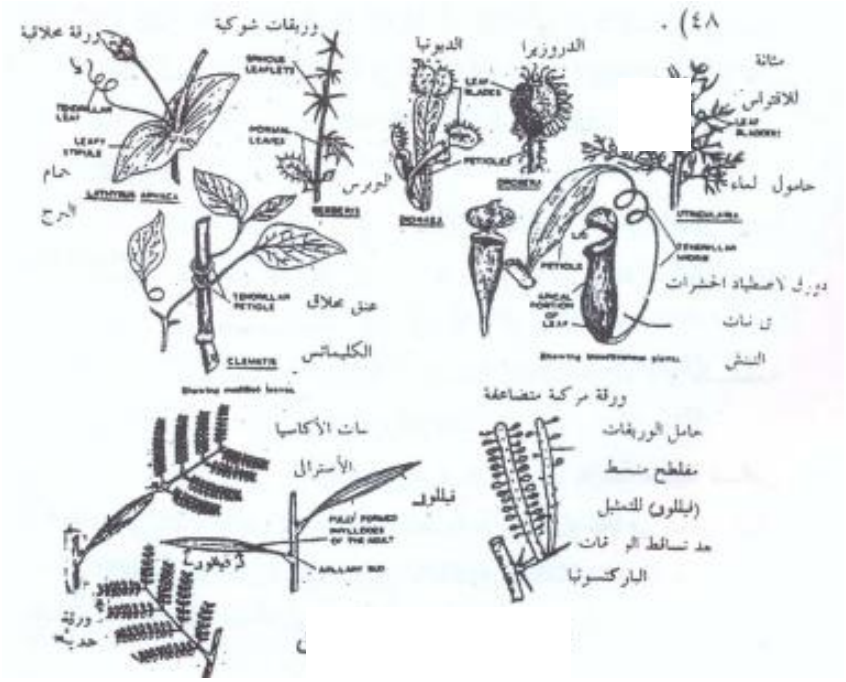
5. **تحورات الورقة Leaf metamorphosis** : تقوم بعض **الأوراق** بوظائف أخرى تجعلها تكتسب أشكالا خاصة للملائمة الوظيفية الجديدة وفيما يلى عرضا لها (شكل 48):

أ- **تحورات للتخزين:** تحتاج الكثير من النباتات الصحراوية العصيرية مثل الودنة –الصبار–الدراسينا– البيجونيا الى تخزين الماء فى أوراقها حيث تتواجد بها خلايا خاصة تسمى النسيج المائى رقيقة الجدر ذات سيتوبلازم جدارى رقيق يحيط بفجوة عصارية كبيرة. قد تنشأ تلك الخلايا من البشرة (أو تحت بشرة) أو تتواجد فى النسيج المتوسط (الميزوفيل). وتعتبر الأبصال من الأمثلة الواضحة للتخزين الغذائى للنبات فى كل من قواعد الأوراق الخارجية والأوراق الحديثة للبرعم الطرفى للساق القرصية.

ب–**تحورات ميكانيكية:** يكونها النبات للاستعانة بها فى الأغراض التالية:

ب/1 التسلق: فى كثير من السوق الضعيفة تتحور الأوراق الى أعضاء تسلق كمحاليق كما فى وريقات البسلة أو يستطيل العنق فى ورقة أبو خنجر للالتفاف أو تتحور الوريقات الطرفية الى مخالب Claws قوية لتسلق الجدران (يجنونيا خربوش القط) أو الأذنات الى شويكات متقوسة كما فى النبق.

ب/2 الدفاع: فى نبات السنط يوجد زوج شويكات من تحور الاذنات وفى نبات النارنج تخرج من البرعم الأبطى شويكة مائلة هى أول أوراق البرعم للغرض الدفاعى.



(شكل 48) : تحورات الأوراق

ج/3 الوقايـة: تكسو السوق الأرضية وبراعمها أوراق حرشفية جافة صلبة للحماية داخل التربة.

ج- تحورات حيوية : اذا حدث نقص فى تركيب النصل يلاحظ تحور أجزاء أخرى من الورقة للتعريض كما فى الأمثلة التالية:

حمام البرج: تتحور الورقة كلها الى محلاق فيتزايد سطح الأذنات للتعويض.

البسلة: نظراً لتحور الوريقات الطرفية الى محاليق فان حواملها تتفلطح لتقوم بالبناء الضوئى.

د- تقليل النتح : فى التين الشوكى يسقط النبات أوراقه الخوصية مبكراً كما ان أوراق البراعم تتحور الى شويكات دقيقة. فى نبات الكازورينا تتميز على العقد مجموعة أسنان سوارية تعتبر أوراقا متحورة الى زوائد حرشفية.

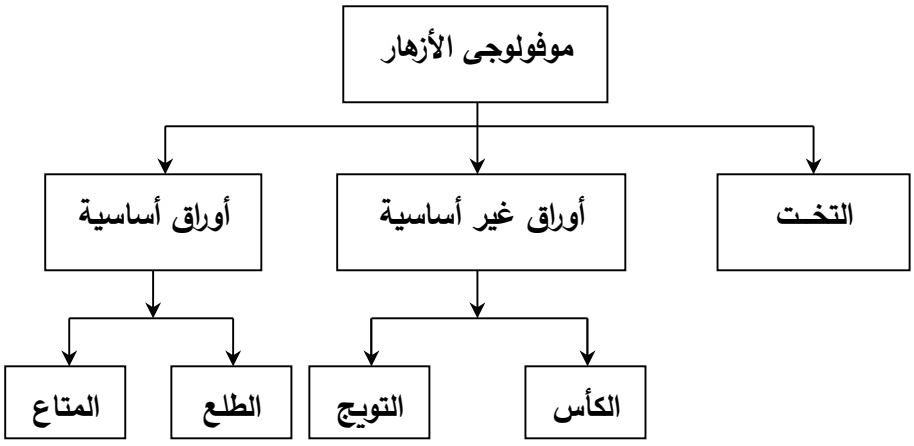
هـ-تكاثرية: ويتم التحور الورقى الى غرضين:

– تكاثر جنسى : تعتبر الزهرة العضو المسئول عنه (راجع التركيب الزهرى).

– تكاثر خضرى : فى النباتات العصيرية الأوراق تنشأ البراعم العرضية المتكونة عليها وتكون وسيلة خضرية للتكاثر كما فى نباتات الودنة والبريوفيللم والببروميا.

و– **الأفتراس:** تنمو بعض النباتات فى بيئة حمضية ناقصة المواد النيتروجينية اللازمة للنبات لذلك تتحور بعض الأعضاء النباتية لافتراس الحشرات وتحليلها وتسمى آكلة اللحوم carnivorous plants يوجد منها فى مصر: حامول الماء العذب Utricularia وهو نبات مائى مغمور مكون من ساق تخرج منها زوائد شريطية رقيقة تعتبر أوراقاً مجزأة الى وريقات–تتحور بعض الوريقات الى مثانة كمثرية الشكل لها باب خاص يفتح للداخل فقط ليدخل الحشرة ولايسمح بخروجها– تتواجد على سطح المثانة الداخلى زوائد خاصة بإمتصاص الماء من التجويف فيحدث تفريغا داخلياً–عند اقتراب الحشرة فتلامس الشعيرات الحساسة–فينفتح الغطاء فجأة الى الداخل ويندفع الماء بما يحمله ثم ينغلق– بعد موت الحشرة تتحلل وتمتص الشعيرات الداخلية ناتجات التحلل فيقل الضغط الداخلى مما يهيئ المثانة لاقتناص فوج جديد.

الشكل الزهرى
FLORAL MORPHOLOGY



تكون النباتات الزهرية فى الحقب الحالى جانباً كبيراً من الكائنات النباتية التى تسهم فى تعايش البشرية ، تعتبر الزهرة Flower هى العضو المميز لتلك

النباتات حين بلوغها المرحلة الزهرية floral stage. تتكون الزهرة أساسياً من جزيئين رئيسيين: ساقى وورقى.

تعتبر الساق الزهرية محورا زهريا Floral axis ويسمى الجزء السفلى منه العنق الزهرى Pedicel أو القمع ، الذى فى حالة غيابه تعتبر الزهرة جالسة sessile fl. وفائدة العنق حمل الزهرة لاتخاذها الوضع المناسب وانتشار الثمار وبذورها.

أما الجزء العلوى من المحور الزهرى فيكون أكثر سمكا ويسمى التخت Thalamus أو (torus) Receptacle لتقارب عقده واختزال سلامياته مما يسبب تقارب الأوراق الزهرية لتبدو كأنها فى مستوى مشترك. تختلف الأزهار تبعاً لأشكال التخت إلى :

1- **زهرة سفلية (تحت متاعية)** hypgnous يكون تختها محدباً أو مخروطيا حاملا المتاع فى قمته ثم يليه باقى الأوراق الزهرية تنازليا: الطلع-التويج-الكأس- كما فى الشقائق (الرونكيل Ranunculus) .
2- **زهرة محيطية (حول متاعية) Perigynous** وفيها يتوقف مركز التخت المستديرعن النمو بينما تستمر حافته الخارجية ظاهريا فى النمو الى أعلى كحافة دائرية حاملة الطلع والتويج والكأس (من الداخل الى الخارج) بينما تستقر وحدة أو وحدات المتاع فى الجزء المركزى من التخت كما فى المشمش والورد.
3- **زهرة علوية (فوق متاعية) egigynous** حيث يلتحم مبيض متاعها مع حافة التخت المقعر أو مع ناتج التحام المحيطات الزهرية الأخرى وبذلك تبدو الزهرة وكان أوراقها الزهرية خارجة من قاعدة القلم ، وكان الزهرة ليس لها مبيض كما فى التفاح والكمثرى ونباتات الفصائل المركبة والخيمية (شكل 49).

الأوراق الزهرية Floral leaves

الأوراق الزهرية بنوعيها : أساسية خصبة تكون محيطى الطلع والمتاع ، وغير اساسية عقيمة تكون الغلاف الزهرى.

تعتبر الأوراق الزهرية غير الأساسية جزءاً مساعداً فى الزهرة بشكل محيطين: اما غير متميزين ويسمى حيئذ الغلاف الزهرى perianth تسمى كل ورقة منه تبلة tepal كما فى النباتات الفلقة الواحدة. أو يتميز الى محيط خارجى يسمى الكأس Calyx تسمى وحدته الورقية سبلة sepal أما المحيط الداخلى فيكون التويج corolla وتسمى وحدته الورقية بتلة petal .

تقوم سبلات الكأس بحماية البرعم الزهرى وهى عادة خضراء اللون ، أما اذا تلونت كالتويج سميت الكأس بتلية petaloid كما فى السفليا والعايق. الكاس أكثر استدامة على الزهرة من التويج وقد يستديم مع الثمرة كما فى الباذنجان أو يتخشب كالرمان ، وقد يتحول الى زوائد كاسية شعرية pappus كما فى الفصيلة المركبة ، ويكون التويج المحيط الداخلى من الغلاف الزهرى ، بتلاته غالباً ملونة لجذب الحشرات التى تسهم فى التلقيح الزهرى.

تتميز البتلة إلى جزيئين: طرفى مستعرض يسمى النصل limb وجزء قاعدى يسمى المخلب claw (المنثور والقرنفل) أو يزداد النصل على حساب المخلب كما فى بتلات الورد.

قد تكون البتلات سائبة Polypetalous أو ملتحمة Gamopral ويتم الالتحام بدرجات مختلفة.

قد يتزايد الغلاف الزهرى فى الكأس بتواجد محيط اضافى يسمى تحت الكأس epicalyx يحيط به من الخارج كما فى الفصيلة الخبازية وقد تظهر زوائد كأس تسمى الكؤيس calyculus كما فى بعض نباتات الفصيلة الوردية.

أما فى محيط التويج فتسمى زوائده التى تنتظم حلقياً: التاج Corona كما فى النرجس ونبات الساعة.

هناك ملحقات للأوراق الزهرية غير الأساسية نذكر منها :

القنابة bract هى الورقة التى تخرج من ابطها الزهرة– تشبه الورقة العادية ولكنها مختزلة ، فى النخيل تحاط النورة بالقينوة (الأغريض) spathe تظهر باللون الأخضر (البلح) أو تتلون بألوان زاهية لإجتذاب الحشرات كما فى القلقاسية (الكلا – الأنتوريوم) ، أما فى النجيليات تعتبر القنابات قنابات خارجية عديمة الأزهار أما العصيفات فهى قنابات فى أباطها أزهار.

يطلق لفظ القلافة invoucre على مجموعة قنابات مرتبة حلزونيا: أما حول زهرة واحدة كالخبازى والحبة السوداء – أو مجموعة أزهار كالنورة الهامة capitulum فى الفصيلة المركبة.

القنيبة bracteole تعتبر ورقة أولية على العنق الزهرى : تتواجد فى أزواج (العايق) أو وحدة خلفية على قمع الزهرة (ذوات الفلقة الواحدة) ، فى النجيليات تسمى العصافة الداخلية palea .

الأوراق الزهرية الأساسية تحقق الغرض الأساسى من وظيفة الزهرة وهى إنتاج البذور وتشمل :

أولاً : أوراق جرثومية مذكرة (صغيرة) microsporophyll التى تكون محيط الطلع androecium .

ثانياً : أوراق جرثومية مؤنثة (كبيرة) macrosporophylls التى تكون محيط المتاع gynaecium .

جنس الزهرة :

يطلق على الزهرة المحتوية على الطلع + المتاع زهرة خنثى hermaphrodite بينما الزهرة تسمى وحيدة وتسمى باسمه فهى أما زهرة مذكرة (طلعية) male or staminate flower أو زهرة مؤنثة (متاعية) female or pistillate flower .

وتختلف النباتات باختلاف نوعية الأزهار التى تحملها الى :

1- أحادية المنزل monoecius حيث تجتمع الأزهار المذكرة والأزهار المؤنثة على فرد واحد كما فى الذرة والبلوط.

2- ثنائية المنزل dioecius حيث يتواجد كل جنس زهرى على نبات منفصل- بمعنى آخر وجود نبات مذكر male plant ونبات آخر مؤنث female كما فى نخيل البلح.

الطلع Androecium :

وحدته السداة Stamen وتتركب كل منها من جسم أسطوانى رفيع يسمى الخيط Filament ينتهى من أعلى بالمتك anther الذى تتكون به حبوب اللقاح pollen grain = (سداة خصبة) ، باختلاف عدد الأسدية تكون الزهرة أحادية السداة monandrous أو ثنائية diandrous أو تعتبر الزهرة عديدة الأسدية polyandrous إذا كانت أسديتها غير محدودة. والأسدية عادة منفصلة (سائبة). قد تلتحم الخيوط بإحدى النظم التالية: فى حزمة واحدة ويصبح الطلع وحيد الحزمة السدائية moadelphous أو ثنائى di (فى الفراشية) أو عديد الحزم السدائية polyadelphous كما فى البومباكس. قد تلتحم المتك دون الخيوط كما فى الفصيلة المركبة (نبات دوار الشمس Helianthus). لا يعتبر خيط السداة عنقاً لأن السداة تتكون أصلاً من ورقة جالسة.

يعتبر المتك الجزء الرئيسى فى السداة الذى يتكون عادة من فصين طوليين iobes يتواجد بكل فص منهما زوج من أكياس اللقاح pollen sacs ويتصل الفصان بنسيج الموصل connective (شكل 50).

يتميز للمتك جانبان : الظهرى (الخارجى) والبطنى (الداخلى فى مواجهة المتاع) تتواجد به عادة خطوط الأنفتاح.

يتركب جدار المتك من : بشرة سطحية تليها طبقة ليفية. وطبقات متوسطة ينتهى بالطبقة المغذية لحبوب اللقاح وهى المحيطة بالخلايا الأمية لحبوب اللقاح ثم تتلاشى بعد نضجها. وانفتاح المتك. من طرق انفتاح المتك أن يكون داخلياً introse فى مواجهة المتاع (البنفسج) أو خارجياً etrors (الأيرس والمانوليا). قد يكون الانفتاح طولياً أو عرضياً أو ثقبى أو قمى وهو تحور من الطولى (السولانم) وأخيراً الانفتاح المصراعى (القرفة والبربرس) .

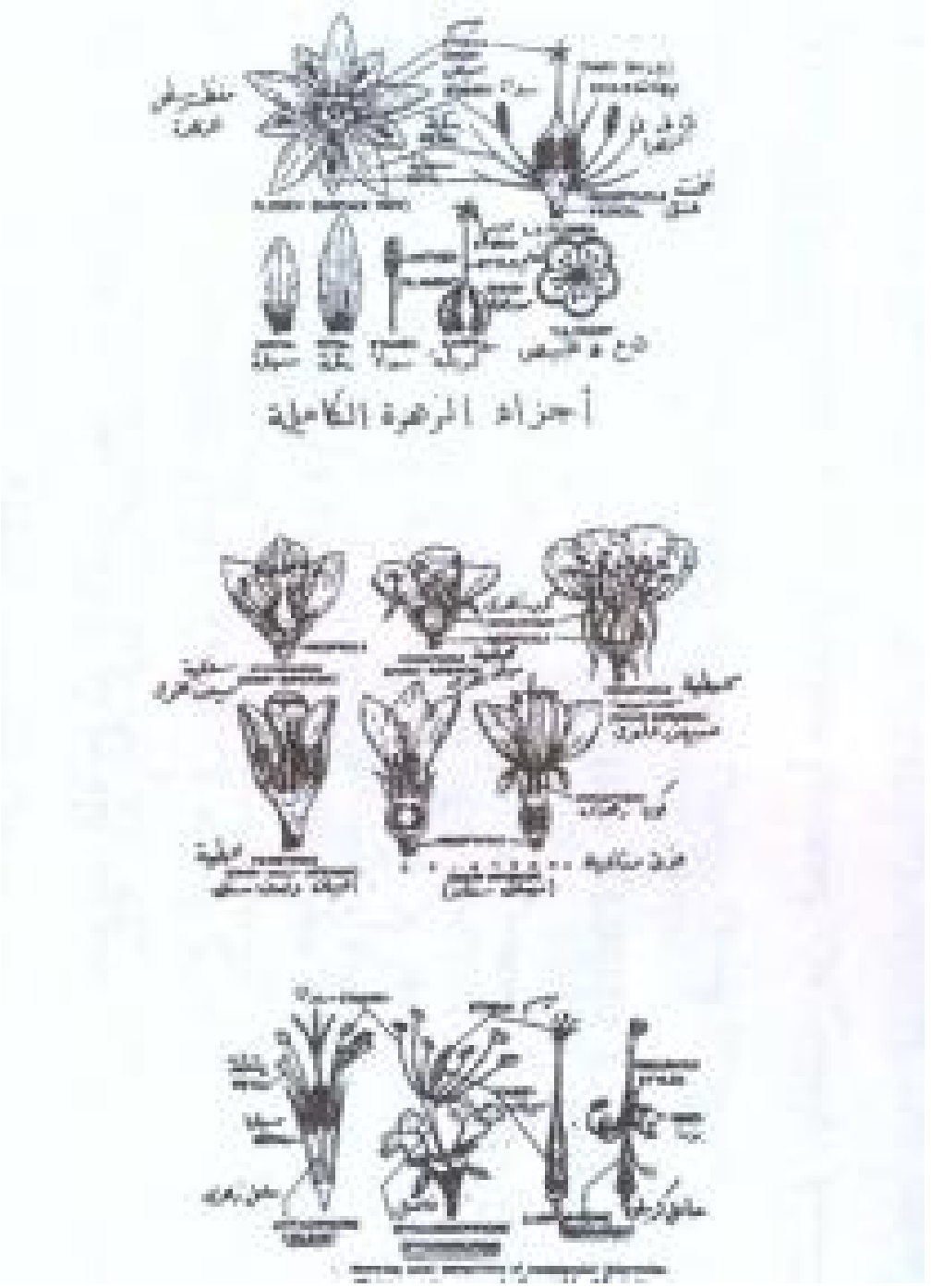
حبوب اللقاح Pollen grains

يتكون فى أكياس المتك اللقاحية مسحوق دقيقى المظهر سهل الانتشار يتضح من فحصها مجهرياً كونها حبيبات دقيقة متباينة الأشكال والأحجام بين النباتات المختلفة ، كل حبة لقاح عبارة عن تركيب خلوى يتميز سطحها الخارجى بتضاريس مميزة الشكل ، قد يبرز من جدارها الخارجى exine أشواك مميزة أو تشكيل شبكى أو حبيبى تتواجد به مناطق رقيقة تسمى ثقوب الانبات ، أما الجدار الداخلى intine فهو غشائى غير سميك عديم اللون كما تتميز بداخل حبة اللقاح نواة كبيرة تسمى النواة الخضرية Vegetative nucleus كما تشاهد خلية صغيرة بها نواة أخرى هى النواة الجنسية generative nucleus والتى تنقسم فيما بعد الى جامطتين مذكرتين (شكل 50).

المتاع The gynaeciumn

يتكون من ورقة كربلية أو أكثر تنشأ فيها الجاميطة المؤنثة female gamete يتميز تركيب الكربلة الظاهرى من: جزء قاعدى منتفخ

(شكل 49) : أوضاع المتاع (المبيض) فى الأزهار المختلفة



(شكل 50) : تركيب الطلع

مجوف يسمى المبيض ovary يخرج من نهايته العليا جزء اسطوانى رفيع يسمى القلم style ، الذى ينتهى من أعلى بجزء منتفخ يسمى الميسم stigma ، ويكون عادة مهيأ لاستقبال وإنبات حبوب اللقاح التى تسقط عليه.

يحتوى تجويف المبيض على بويضة واحدة أو أكثر متصلة بجدار المبيض بنظام مختلف الترتيب يسمى الأوضاع المشيمية placentation ويمكن تعريف المشيمة بأنها موقع (موضع) التقاء الحواف الكربلية والذى يسمى الدرز البطنى ventral suture اما العرق الرئيسى للورقة الكربلية فيسمى الدرز الظهرى dorsal suture .

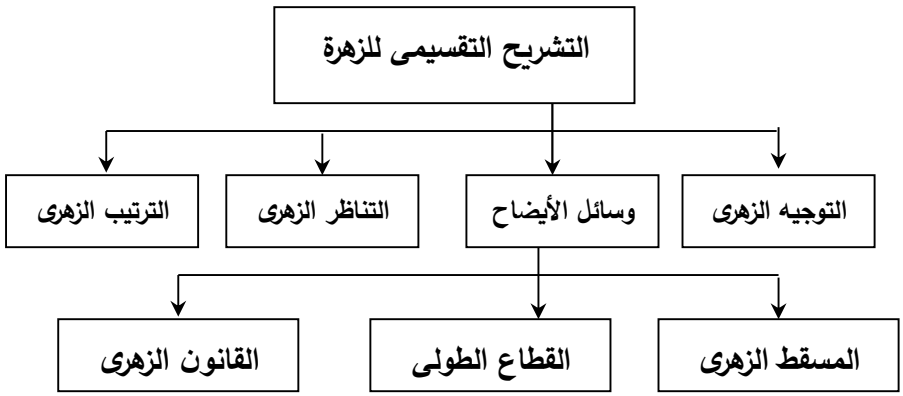
تختلف الأوضاع المشيمية داخل المبيض بين السطحى – المركزى–المحورى السائب – الجدارى – القاعدى – القمى (شكل 51) كما تختلف البويضات فى الشكل بين المستقيمة – الكلوية – المنعكسة – نصف المنعكسة – والمنحنية – والملتفة .

يختلف تواجد القلم فوق المبيض: فقد يكون قمياً: terminal أو جانبى كما فى الفراولة أو قاعدياً كما فى السلفيا. وقد يتفلطح كما فى الايرس (السوسن)–أما فى الصليبية فيكون القلم قصير لذلك يستطيل المبيض الى أعلى ليعوض ذلك.

فى حالة التحام كرابل المتاع فى مشترك للوحدة المتاعية pistil تدل الأقلام المنفصلة على عدد الكرابل – أما إذا كان القلم مفرداً فيمكن الاستدلال على الكرابل من عدد المياسم – يتساوى عادة عدد المساكن مع عدد الكرابل – أما فى حالة وجود مسكن واحد فيمكن الاستدال على عدد الكربل من عدد المشيمات الجدارية.

(شكل 51): تركيب المتاع

التشريح التقسيمى للزهرة
SYSTEMTIC ANATOMY OF FLOWER



هو دراسة خاصة لتجميع البيانات عن التركيب التقسيمى للزهرة ويراعى فيها التوجية الزهرى ثم اجراء التشريح الزهرى على ضوء التركيب التفصيلى للمعلومات التقسيمية وأخيراً تسجيلها فى وسائل ايضاح خاصة.

أولاً: التوجية الزهرى Positioning of flower

تعتمد أساساً على تحديد الوضع الصحيح للزهرة بالنسبة للمحور (أى الساق الأصلية التى خرج منها الزهرة) عند الدراسة تمسك الزهرة فى وضع خاص special position بحيث يقع المحور خلفها وتظهر القناية فى الجانب الأمامى من الزهرة – ويتحدد فى ذلك الوضع الجوانب التالية:

- الجانب الخلفى (أو العلوى على سطح الورقة) وهو المجاور للمحور.
- الجانب الأمامى (أو السفلى على سطح الورقة) وهو المجاور للقنابة.

المستويات:

- **المستوى الأوسط :** هو المستوى المار بالمحور الخلفى ومركز الزهرة والقنابة (median).
- **المستوى المستعرض :** هو المستوى العمودى على الأوسط transverse وأى مستوى خلاف ذلك يسمى مائلا (oblique) .

التوجية القنيبى Bracteolar orientation

فى بعض الازهار يتواجد على عنق الزهرة واحدة أو أكثر من الأوراق الأولية prophylle تعتبر فى الترتيب الورقى تالية للقنابة لذلك أطلق عليها القنيبه bracteole وتلعب دوراً هاماً فى توجية الزهرة لأنها تظهر غالباً متبادلة مع الأوراق السابقة لها كالقنابة والأوراق التالية لها على الساق الزهرية (العنق والتخت) وهى أول أوراق المحيط الأول فى الزهرة (الكأس) ويتضح من ذلك اتجاهين رئيسين:

1- فى ذوات الفلقة الواحدة : يحمل العنق قنيبية واحدة فى الجهة الخلفية (أى متبادلة مع القنابة) وبذلك تكون الورقة الأولى (هى الورقة الفردية odd tepa) الواقعة على المستوى الأوسط متبادلة معها ، فتوجد فى الجهة الأمامية ولذلك يجاور المحور ورقتان عادة.

2- فى نباتات الفلقتين : تقع السبلة الفردية (التى يمر بها المستوى الوسط) جهة المحور ، وذلك فى الآزهار الخماسية والثلاثية ، أما الأزهار الرباعية فيمر المستوى الوسط بزوج من السبلات حيث يكون التبادل واضحاً مع القنيبات.

كقاعدة عامة : فى ذوات الفلقتين تجاور المحور سبلة واحدة (عدا حالات خاصة مثل الفصائل الفراشية والبقمية والطلحية وبعض الخبازية).

ثانياً : يجرى تشريح الزهرة لتجميع المعلومات فى ورقة خاصة شاملة كافة البيانات لاستيفاء وسائل الإيضاح المعبرة عن الزهرة.

ثالثاُ : تشمل وسائل الإيضاح: المسقط الزهرى والقطاع الطولى ثم القانون الزهرى – ويلاحظ أن تلك الوسائل يكمل كل منها الآخر فى اعطاء صورة واضحة عن الخواص التقسيمية للزهرة. وفيما يلى وصفاً لكل منها:

أ- المسقط الزهرى Floral diagram

هو عبارة عن رسم تخطيطى لقطاع مستعرض فى البرعم الزهرى يوضح ترتيب الأوراق الزهرية فى محيطاتها ابتداء من الكأس والتويج والطلع والمتاع وتمثل كل ورقة فى الغلاف الزهرى بقوس خاص بها. تمثل السبلات بوضع نتوء خارجى بها ، بينما تمثل الأسدية بقطاع فى المتك ويعبر عن المتاع بقطاع عرضى فى المبيض.

يجب أن يوضح المسقط الزهرى النقاط التالية:

1- توجية الزهرة بالنسبة للمحور وتحديد وضع السبلة الفردية وهل هو أمامى أم خلفى.
2- يبين نظام التحام أوراق كل محيط أو بين المحيطات المتجاورة.
3- التربيع الزهرى وهو الخاص بالترتيب الورقى فى البرعم لبيان نظم التراكب.
4- وضع الأسدية بالنسبة لأوراق التويج مع بيان أتجاه تفتح المتك (خارجى- داخلى- ثقوب).
5- شكل المبيض وعدد المساكن ثم الوضع المشيمى.
6- توضيح المميزات الخاصة مثل المهاميز والغدد والتحورات الآخرى.

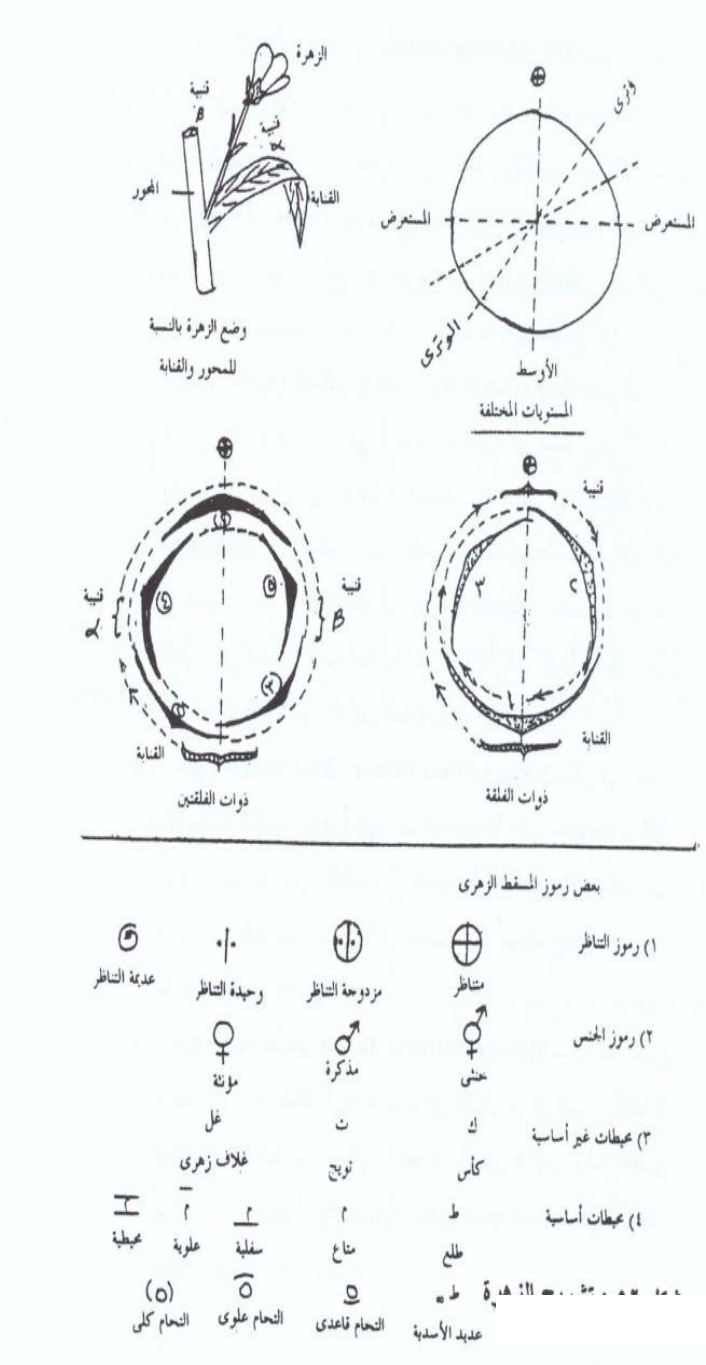
ب- القطاع الطولى Longitudinal section

هو قطاع رأسى يمر بالمستوى الأوسط للزهرة ماراً بالمحور والقنابة شاطراً الزهرة الى نصفين ويوضح بيانات لاتظهر فى المسقط ونلخصها فيما يلى :

1. حالة الزهرة ان كانت معنقة أم جالسة.
2. شكل التخت وتحديد نوع الزهرة إن كانت سفلية-محيطية-ام علوية.
3. النسب المختلفة للأوراق الزهرية وأطوالها ونظم انحنائها.
4. تحديد مدى الالتحام : قاعدى - نصفى أو كلى بين أوراق المحيط الواحد أو بين المحيطات.
5. الوضح المشيمى (طوليا) لتحديد بعض الأنواع التى تتشابه فى القطاع العرضى.

ج- القانون الزهرى Floral formula

يشمل جملة رموز وصفية لتوضح تناظر الزهرة ثم رمز الجنس ثم رموز المحيطات ومرفقاً بها عدد أوراق كل محيط (أنظر الشكل 52).



(شكل 52) : تشريح الزهرة

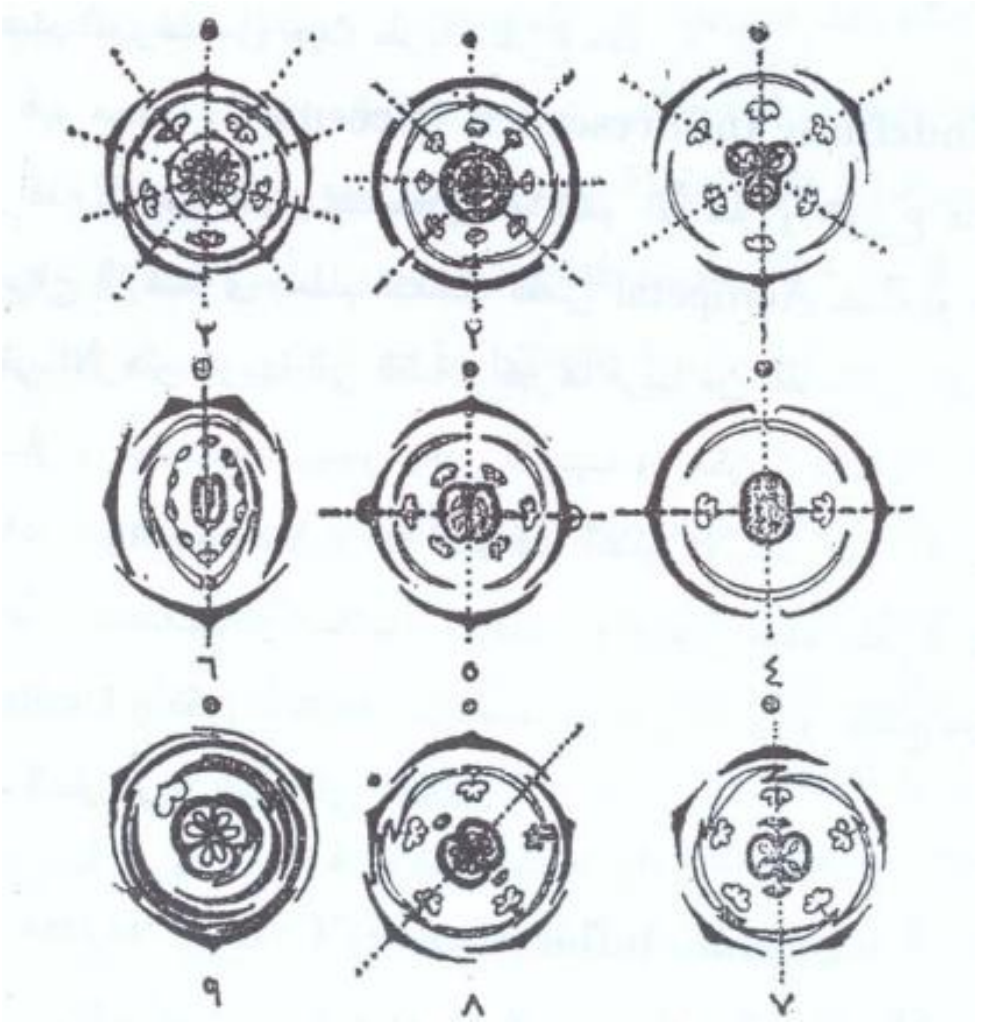
التناظر الزهرى
Floral Symmetry

لدراسة التناظر يجرى حصر عدد المستويات المارة بمركز الزهرة التى يمكن أن تشطرها الى نصفين متناظرين أى كل منهما كصورة زميلة فى المرأة ويعرفان بالأصناف المتناظرة Symmetrical Halves ويعرف هذا المستوى المنصف: مستوى التناظر Plane of symmetry وتختلف الأزهار بالنسبة لتناظرها الى : (شكل 53):

1. زهرة عديدة التناظر Poly symmetrical Flower وهى الزهرة التى يمكن قسمتها الى أنصاف متناظرة فى مستوى أو أكثر ويعرف ذلك النوع بالتناظر الإشعاعى Actinomorphic Symmetry ويختلف عدد الأوراق الزهرية : ثلاث مستويات فى الأزهار الثلاثية وخمس مستويات فى الأزهار الخماسية ، أما فى الأزهار الرباعية فإن عدد المستويات (2+2) و الأزهار السداسية (3+3).
2. زهرة مزدوجة التناظر Bisymmetrical Flower يمكن فى بعض الأزهار ان تنقسم الزهرة إلى انصاف متناظرة فى مستويين ولكن الأنصاف المتناظرة الناتجة من القسم الأول تخالف الأنصاف التى نحصل عليها من القسم الآخر ويظهر ذلك بوضوح فى الأزهار ثنائية الأوراق الفصلية الصليبية).
3. زهرة وحيدة التناظر Monosymmetrical flower سبب هذا النوع راجع الى عدم انتظام الزهرة سواء فى الشكل أو التركيب ولذلك لا يمكن قسمتها الى نصفين متناظرين الا فى مستوى واحد فقط و يعتبر التناظر وحيداً Zygomorphic Symmetry يحدث فى الأزهار نتيجة تغيرات خاصة مثل:

أ- اكتساب التويج شكلاً خاصاً فى الفصيلة الفراشية.
ب- التحام بعض الأوراق الزهرية بنظام خاص فى الشفوية و حنك السبع.
ج- تكون نموات خاصة مثل المهاميز: السبلى فى الجارونيا و البتلى فى البانسيه.
د- غياب أو اختزال بعض الأوراق الزهرية كما فى السلفيا وحنك السبع.

4. زهرة عديمة التناظر Aymmetrical Flower : فى الأزهار الحلزونية أو غير المنتظمة (زهرة الكنا) لايمكن تقسيمها فى أى مستوى الى قسمين متناظرين نظراً لوجود تحورات عديدة بالزهرة تفقدها انتظامها.



(شكل 53) : التناظر الزهرى

1- شعاعى فى الزنبق (3 مستويات تناظر) 2- شعاعى فى الفوكسيا (مستويات 2 ،2) 3 - شعاعى فى البريميولا (5 مستويات تناظر) 4- مزدوج فى Circacea 5- مزدوج فى الصليبية 6- وحيد : الفراشية (فى المستوى الأوسط) 7- وحيد فى الونكة (فى المستوى الأوسط) 8- وحيد فى البتونيا (فى مستوى مائل) 9- مسقط لزهرة الكنا عديمة التناظر.

الترتيب الزهرى
ANTHOTAXY

تحمل الأزهار على النباتات إما وحيدة فردية Soltary كما فى الخشخاش Papaver وتعتبر مفردة طرفية أو تحمل فى آباط الأوراق على المحور الأصلى للنبات كما فى نبات عين القط Arvensis Angalis وتسمى الزهرة مفردة جانبية ولكن فى الغالب تتجمع الأزهار وتحمل على أفرع زهرية فى مجموعة أو مجموعات متفاوتة مكونة ما يسمى: النورة Inflorescence ويسمى المحورالذى تحمل عليه تلك المجاميع بالشمراخ الزهرى Peduncle .

تختلف أشكال النورات وأنواعها تبعاً لاختلاف نظام الأزهار و تبعاً لطريقة نموها وتكشف الأزهار بها.

تقسم النورات من حيث طريقة تفرع محورها الى :

1. نورة غير محدودة " Receme " Indefinite Inflorescence

تنمو قمة المحور بدون حد معين كما تنمو الأزهار وتتوزع على الشمراخ الزهرى بنظام التعاقب القمى Acropetal حيث توجد أصغر الأزهار أقربها الى القمة وأكبرها قريبا من القاعدة وتنفتح الأزهار وتنضج البذور بنفس الترتيب ويمكن تسميته بالنظام الصاعد Ascending واذا استطالت أعناق الأزهار بسرعة مع قلة نمو سلاميات المحور الرئيسى فيسمى حينئذ بالمركزى Centiperal وتكون الأزهار فى مستوى أفقى واحد تقريبا والتفتح يبدأ من المحيط الخارجى ويتجه الى الداخل.

2. نورة محدودة " Receme " Definite Inflorescence

فى هذا النوع ينتهى المحور بزهرة أو نورة فيقف نموه قبل الفرع او الأفرع الجانبية التى يحملها ، تنمو هذه الأفرع بدرجة أكبر من الأصل ثم تنتهى بعد ذلك بزهرة أو نورة ويتكرر نفس النظام من التفرع مرة أخرى – تنفتح الأزهار التى فى نهاية المحور الأصلى أولاً ثم تليها الأزهار التى على الأفرع الجانبية كل حسب ترتيب نشأتها.

كما تقسم النورات حسب نظام حمل الأزهار الى :

1) نورات بسيطة Simple Inflorescence وفيها تحمل الأزهار على الشمراخ الزهرى للنورة مباشرة.

2) نورة مركبة Compound Inflorescence تمتاز بأن المحور الأصلى يحمل فروعاً جانبية هى التى تقوم بحمل الأزهار ويمثل كل فرع منها نورة بسيطة.

أولاً : النورات البسيطة غير المحدودة : وتختلف حسب عنق الزهرة أو غيابه وكذلك الشمراخ الزهرى شكل (54).

أ- نورات أزهارها معنقة محمولة على محور رأسى طويل :

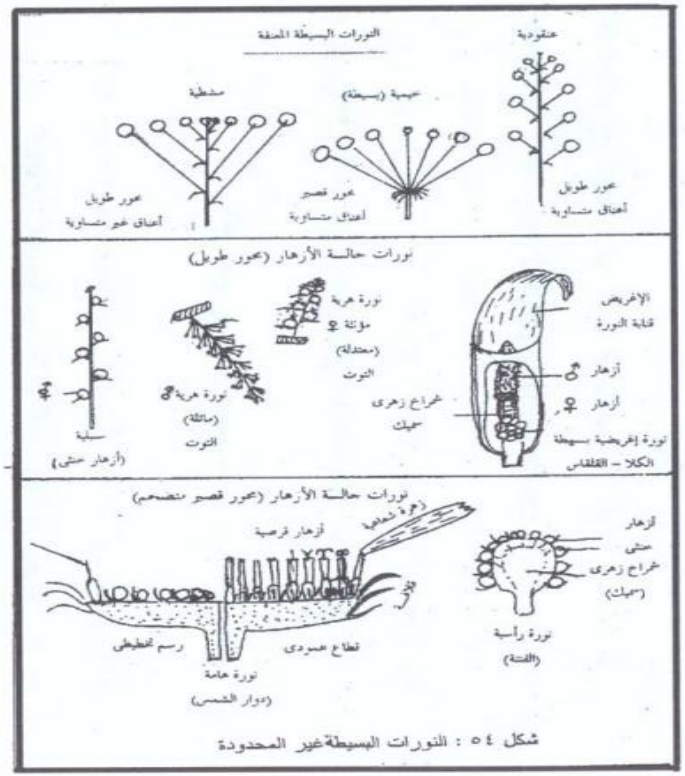
1. النورة العنقودية Raceme محور رأسى طويل ورفيع يحمل أزهارا متساوية الأعناق كما فى المنثور وحنك السبع وكيس الراعى.
2. النورة المشطية Corymb أعناق الأزهار غير متساوية الطول ، المحور الزهرى طويل ورفيع الأزهار السفلى أعناقها أطول من أعناق الأزهار العليا فتبدو الأزهار كأنها فى مستوى واحد تقريباً ويشاهد فى نورات الفصيلة الصليبية مثل الإيرس.

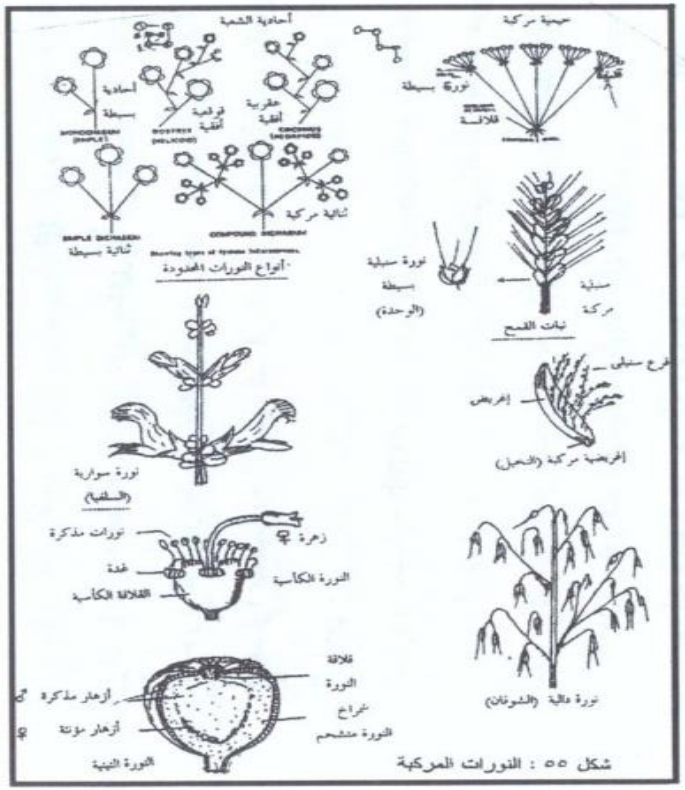
ب- نورات ذات أزهار معنقة ومحمولة على محور رأسى قصير

3. النورة الخيمية Umbel المحور قصير يحمل أزهارا متساوية الأعناق التى تخرج من أماكن نتقاربة على المحور لقصر سلامياته ، تتواجد الأزهار الكبيرة فى الخارج والصغيرة فى الوسط كما فى الفصيلة الخيمية: الخلة والشمر.

ج- نورات أزهارها جالسة محمولة على محور رأسى طويل

1. نورة سنبلية Spike تشبه العنقودية ولكن الأزهار جالسة ذات قنابات أو بدونها كما فى الفربينا والبرسيم ولسان الحمل.
2. نورة هرية (Catkin) Amentum تشبه السنبلية و ولكنها تحمل أزهاراً وحيدة الجنس ويكون محورها مدلى الى أسفل كما فى الصفصاف والحق والتوت والبندق (بنوراتها الهرية المذكرة ونوراتها الهرية المؤنثة).
3. نورة اغريضية Spadix المحور الرئيسى شحمى وسميك مرصعاً بالأزهار وحيدة الجنس (بدون قنابات) يغلف الأغريض من الخارج بقنابة كبيرة تسمى القينوة Spathe قد تكون ملونة: الكلا بيضاء والقلقاس صفراء والأنتوريوم حمراء.


النورات البسيطة المصفة
عنقودية
محور طويل
أعناق متساوية
عيمية (بسيطة)
محور قصير
أعناق متساوية
مظلية
محور طويل
أعناق غير متساوية
نورات حالة الأزهار (محور طويل)
الإخريص
قاعدة النورة
نورة هرية
مؤنثة ♀
(معتدلة)
الثوت
أزهار ♂
أزهار ♀
خراج زهري
سميك
نورة إخريصية بسيطة
الكلا – القلقاس
نورة هرية
(مائلة)
الثوت
سنبلة
(أزهار مثنى)
نورات حالة الأزهار (محور قصير متضخم)
أزهار قرصية
رسم تخطيطي
قطاع عمودي
نورة هامة
(دوار الشمس)
أزهار
مثنى
خراج زهري
(سميك)
نورة رأسية
(القنة)
شكل ٥٤ : النورات البسيطة غير المحدودة


أحادية الشعبة
عيمية مركبة
أحادية
بسيطة
قرنية
أنفية
هلزونية
أنفية
نورة بسيطة
قلالة
ثنائية مركبة
ثنائية بسيطة
أنواع النورات المحدودة
نورة سنبلية
بسيطة
(الوحدة)
سنبلية
مركبة
نبات القمح
خرج سنبلي
إخريص
إخريصية مركبة (التين)
نورة سوارية
(السلفيا)
نورات مذكرة
غدة
القلالة الكأسية
زهرة ♀
النورة الكأسية
نورة هالية (الشوفان)
قلالة
النورة
خراج
النورة متشحم
أزهار مذكرة ♂
أزهار مؤنثة ♀
النورة التينية
شكل ٥٥ : النورات المركبة

د- نورات جالسة الأزهار ومحمولة على محور رأسى سميك وقصير:

1. نورة رأسية Head المحور الأوسط قصير وسميك يكون انتفاخاً يشبه الرأس (بعد نزع الأزهار منها). الأزهار جالسة خنثى محتشدة كما فى الفتنة.
2. نورة هامة Capirtulm الشمراخ الزهرى قرصى مفلط أو كروى محدب تتوزع الأزهار جالسة على المحور: الصغيرة فى المركز والكبيرة فى الخارج وتبدو فى شكلها كأنها زهرة لوجود نوعين من الأزهار: الخارجية أزهار غير منتظمة تسمى الازهار الشعاعية Ray florets لها تويج لسينى وتحيط بأزهار قرصية Disc Florets لها قنابات غشائية رقيقة-تحاط النورة الهامة من الخارج بمجموعة من القنابات الخضراء تسمى القلافة Involucre كما فى نورات الفصيلة المركبة مثل : دوار الشمس.

ثانياً : النورات غير المحدودة المركبة : وهى النورات التى يحمل محورها الرئيسى فروعاً هى نورات بسيطة وتشمل (شكل 54).

أ. نورات غير محدودة مركبة أزهارها معنقة:

1. عنقودية مركبة Compound Raceme الشمراخ الرئيسى يحمل نورات عنقودية بسيطة.
2. خيمية مركبة Compound Umbel الشمراخ الرئيسى قصيرتخرج من نهايته نورات خيمية بسيطة من آباط قنبات تسمى فى مجموعها قلافة Involucres تشاهد فى الفصيلة الخيمية.

ب- نورات غير محدودة مركبة أزهارها جالسة:

1. سنبلية مركبة Compound Spike المحور المركزى طويل يحمل جانبياً نورات سنبلية بسيطة يطلق عليها سنبلة Spiklet يختلف تركيبها وعدد أزهارها باختلاف النبات كما فى الفصيلة النجيلية: القمح والشعير.
2. اغريضية مركبة فى نخيل البلح تحاط النورة من الخارج بقنابة كبيرة تسمى القينوة وتحيط بالنورة المركبة لتفرغ الشمراخ الزهرى الى تجمع من نورات سنبلية بسيطة (خنثى فى أنواع النخيل ولكنها وحيدة الجنس فى البلح).

ثالثاً : النورات المحدودة : وتتميز الى ثلاثة أنواع.

1. النورة وحيدة الشعبة: Monochasium فى النورة البسيطة وحيدة الشعبة لاتزيد الأزهار عن زهرتين لأن المحور ينتهى بزهرة (رقم 1) ثم تخرج منه جانبياً فرعاً واحداً ينتهى بزهرة (رقم 2) وقد تكون الأزهار جالسة كما فى الرمرامية حيث تصبح النورة البسيطة تجمعاً من زهرتين فى كتلة واحدة مختلفى الارتفاع. أما النورات المحدودة المركبة فيزيد عدد الأزهار عن ذلك وتختلف فى شكلها الى أحد النوعين التاليين:

أ- نورة قوقعية (منجلية) Helicoid يتكون محور النورة من جملة محاور فى شكل منحنى وتبدو الأزهار فى جانب والقنابات فى الجانب المقابل كما فى الحامول.

ب- نورة عقربية Scorpioid تظهر الأزهار متعاقبة فى جبهتين متقابلتين ويبدو المحور أكثر استقامة لتجدد النمو من الجبهتين بالتبادل كما فى الفصيلة السوسنية والكتان والأتاتس (تتخذ الأزهار وضعاً قوقعياً كاذباً).

2. النورة ثنائية الشعبة Dichasium البسيطة ثلاثية الأزهار أما المركبة فيزداد عن ذلك (7-3 أزهار) لأن المحور يحمل زوجاً من النورات البسيطة كما فى الياسمين والجيسوفيلا.
3. النورة عديدة الشعب Polychasium يختلف عن السابق بوجود أكثر من زهرتين حول الزهرة الوسطى كما فى أم اللبن.

نورات ذات مميزات خاصة

1. النورة الدالية Pancle غير محدودة : عنقودية أو مشطية ذات شمراخ زهرى طويل والفروع الجانبية مدلاة ومحمولة بنظام سائب Loose Branching كما فى كثير من نورات الفصيلة النجيلية أما الشوفان فتفرعها مختلط (شكل 55).
2. النورة السوارية (اللولبية) Verticillaster المحور الأوسط غير محدود ويحمل جانبياً نورات محدودة مركبة فى نظام متقابل عند العقد ، أعناق الأزهار قصيرة متجمعة فى نورة ذات شعبتين كل فرع يتجدد فى نظام قوقعى أو عقربى وتحيط جوانب الشمراخ الأوسط بطريقة سوارية كما فى نبات السلفيا (الفصيلة الشفوية).
3. النورة الكأسية Cyathium هى نورة سنبلية مركبة محاطة من الخارج بخمس قنابات تكون قلافة كأسية- وتحتوى فى المركز على نورة مؤنثة تمثلها زهرة

عادية محمولة على عنق طويل وتتركب من وحدة متاعية (3 كرابل ملتحمة) تطوق تلك الزهرة من الخارج بمجموعات من النورات المذكرة: تتركب كل نورة من عدة أزهار متراصة فى نظام عقربى تختزل كل زهرة مذكرة الى سداه واحدة فقط– أقرب الأزهار المذكرة الى المركز هى الأكبر عمراً.

4. النورة التينية Hypanthodium الشمراخ الزهرى شحمى مجوف يحتوى بداخله على الأزهار ينتهى التخت الكروى الشكل من أعلى بفتحة علوية ضيقة تغطيها أوراق قلافية تبطن الأزهار وحيدة الجنس على السطح الداخلى – يرى البعض أنها تحور من النورة الرأسية وتحمل الأزهار فى مجاميع مكونة من عدة نورات محدودة تحمل الأزهار المذكرة فى القسم العلوى أما الأزهار الأنثى فمنتشرة فى أسفلها (جهة القاعدة).

التكاثر الزهري Reproductive By Flowers

تعتبر الزهرة في النباتات الراقية وسيلة التكاثر الجنسي Sexual Reproductive وذلك بتكوين جنين البذرة من الزيجوت الذي ينتج من اتحاد الجاميطة المذكرة بالجاميطة المؤنثة- توجد الأولي في حبة اللقاح أما الثانية فتوجد في الكيس الجنيني- لإتمام الإتحاد بين الجاميطتين تحدث عدة عمليات خاصة أهمها التلقيح والإخصاب ونشأة الجنين وتكوين الثمار ونضجها بما تحويه من بذور.

التلقيح Pollination

هى عملية انتقال المشيجات (الجاميطات) المذكرة داخل حبوب اللقاح من متك الأسدية إلى مياسم المتاع ويتم ذلك بإحدى الصورتين:

أ- التلقيح الذاتي Self Pollination بانتقال حبوب اللقاح من متك الزهرة إلى مياسم نفس الزهرة.

ب-التلقيح الخلطي Cross Pollination بانتقال حبوب اللقاح من زهرة إلى مياسم زهرة أخرى على نبات آخر.

يرجح حدوث التلقيح الذاتي في الظروف الآتية:

1. الأزهار الهوموجاميطية Homogamous وهى الأزهار التي تتفتح فيها المتك في وقت نضج المياسم مثل الكتان.
2. الأزهار المقفلة Cleistogamous وهى الأزهار التي تتفتح بعد إنجاز عملية التلقيح مما يضمن حدوث الإخصاب الذاتي Autogamy كما في الشعير والزمير.

ومن العوامل التي ترجح حدوث التلقيح الخلطي ما يأتي:

1. الأزهار وحيدة الجنس ويوجد منها نوعان: الأول ثنائية المنزل الذي تتواجد أزهار كل نوع على نبات منفصل كنخيل البلح والثاني أحادية المنزل الذي تتواجد الأزهار المذكرة والمؤنثة على نبات واحد كالذرة وتكون فيها نسبة الخلط مرتفعة.

2. الأزهار الديكوجاميطة Dichogamous وهى التي لا تنضج فيها المتك والمياسم في وقت واحد: فإذا كانت مبكرة الطلع سميت Protodrous كما في العائلات المركبة والخيمية والبقلية والشفوية، حيث تلقح الزهرة من زهرة إلى أخرى أحدث منها أما إذا كانت مبكرة المتاع سميت Protogymous حيث تتهيأ المياسم لإستقبال حبوب اللقاح قبل نضج الزهرة كما في النجيليات والكمثرى والتفاح وتلقح الزهرة من متك زهرة أكبر منها سناً.

3. العقم الذاتي Self Sterility في بعض الحلويات مثل البرقوق لا يمكن لحبوب اللقاح صنف ما أن تلقح أزهار ذلك الصنف وذلك راجع لأسباب فسيولوجية غير معروفة كعدم وجود توافق (تجاذب) بين الخلايا الجنسية في هذا الصنف ويعالج بزراعة أصناف أخرى كملقحات لذلك الصنف.

4. الخلافات التركيبية: في بعض الأزهار الهوموجاميطية لا يحدث تلقيح ذاتي لاختلاف نمو أعضاء المحيطات الأساسية في الزهرة مما يسبب حدوث ظاهرتي الازدواج الشكلي Dimorphism حيث تكون الأسدية طويلة والقلم قصيراً في بعض الأزهار والعكس في البعض الآخر كما في أزهار البروميولا.

   والتثليث الشكلي Trimor Phism كما يحدث في نبات الحامض Oxalis الذي توجد به ثلاث أنواع من الأزهار بينها ثلاث اختلافات في الأطوال فتوجد أزهار قصيرة القلم ومتوسطة وطويلة.

وسائل انتقال حبوب اللقاح: تحتاج حبوب اللقاح إلى وسائل خاصة تهيئ لها الانتقال من زهرة إلى أخرى كما يلي:

أ- **التلقيح بالمياه Hydrophily** في النبات المائية لفصيلة زلف الماء تكون حبوب اللقاح مستطيلة خيطية تنتقل مع التيار المائي وتلتصق بالمياسم تحت الماء- وفي نبات Valliseria تنفصل الأزهار المذكرة وتطفو على السطح بينما تستطيل الأعناق الحلزونية للأزهار المؤنثة حتى تصل سطح الماء ويتم التلقيح ثم تنجذب إلى أسفل.

ب- **التلقيح بالرياح Anemphily** أزهار تلك النباتات صغيرة خالية من الرائحة والألوان الجذابة (النخيل) والمتك متحرك والخيوط طويلة ورفيعة (الذرة) والمياسم ريشية كبيرة متفرعة- وفي أشجار الحلويات تتفتح الزهار قبل تكوين أوراق المجموع الخضري (المشمش- البرقوق- الخوخ).

ج- **التلقيح بالطيور Ornithophilous** يتميز الطائر الطنان بمنقار طويل يدفعه في الأزهار لامتصاص الرحيق فتنتشر حبوب اللقاح على رأسه فإذا انتقل إلى زهرة أخرى تنتقل حبوب اللقاح إلى مياسم الزهرة المهيأة للتلقيح. يكثر هذا النوع في نباتات المناطق الحارة الكثيفة وتواجد الطيور بكثرة.

د- **التلقيح بالإنسان:** ويعرف بالتلقيح الصناعي الذي يجرى لأغراض اقتصادية مثل انتاج أصناف جديدة تجمع بين الصفات الممتازة لأبوين مختلفين وتجري على خطوتين.

1. **الخصي Emasculation** حيث تفتح البراعم الزهرية للنبات الأم وتزال منها الأسدية.

2. **التلقيح Pollination** تنتقل حبوب اللقاح من النبات الأب إلى مياسم الزهرة الأم ثم تغطى بأكياس خاصة لمنع حدوث التلقيح الطبيعي.

هـ- **التلقيح بالحشرات Entomophily** يشاهد في كثير من أزهار النباتات الراقية ملتحمة البتلات من ذوات الفلقتين ومعظم أزهار ذوات الفلقة الوحدة. تتميز الأزهار حشرية التلقيح بما يأتي:

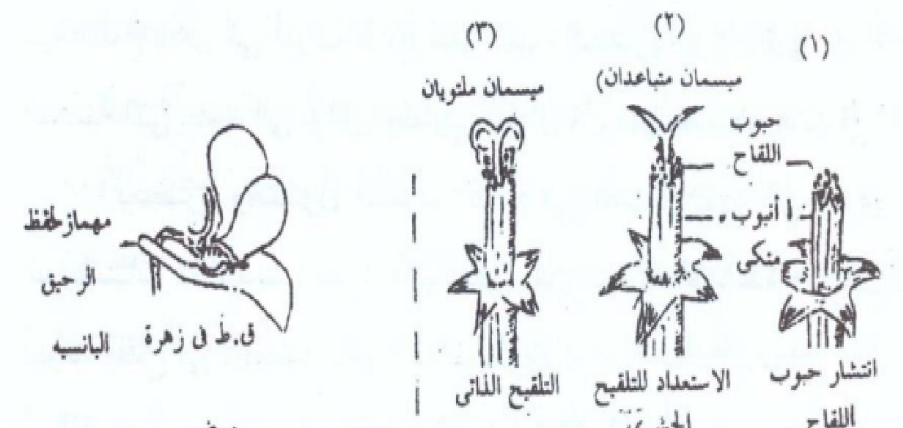
1. الأزهار كبيرة الحجم ألوانها زاهية ذات رائحة عطرية.
2. تنتج الأزهار مادة سكرية تسمى الرحيق Nectar.
3. حبوب اللقاح كبيرة خشنة أو لزجة ليسهل تعلقها بجسم الحشرة.
4. الأسدية قليلة العدد لتحور بعضها إلى أجزاء ملونة.
5. المياسم صغيرة نسبياً يتكون بها عند النضج سائل لزج تلصق به حبوب اللقاح ويسهم في إنباتها.
6. تحدث بالأزهار تحورات لتكتسب أشكالاً خاصة مثل تكوين الجيوب والمهاميز أو تكوين شفتين تعمل السفلى كمرساة لاستقبال الحشرات كما في السلفيا.
7. الأزهار عادة غير منتظمة (وحيدة التناظر) لوجود التحورات في الأعضاء السابقة كالمهاميز..

آليـة التلقـيح بالحشـرات: تختلـف ميكانيكيـة التلقيح الحشري بـاختلاف النباتـات ووسيلة التلقيح ونظم تجمع الأزهار كما يتضح من الأمثلة التالية:

1. نباتـات دوار الشـمس Helianthus annuus نورتـه هامـة أزهارهـا الشعاعية خارجية تحيط بالأزهار القرصية الخنثى ذات تويج أنبوبي وطلع بـه خمس أسدية ملتحمة المتك ومبيض سفلى لـه قلم مفرد ينتهي بميسم مـزدوج، تلـك الزهـرة مبكـرة الطلـع تتجمـع حبـوب اللقـاح داخـل الأنبـوب المتكـي– عنـد اسـتطالة القلـم داخـل الأنبـوب المتكـي يـدفع أمامـه حبـوب اللقاح أعلى والتي تلصق بالشعيرات الدقيقة الكاسية للقلم من الخارج، ثم ينفـتح فصـاً الميسـم ويتفرجـان ليصـبح الجـزء الـداخلي علويـاً معرضـاً لاسـتقبال حبـوب اللقـاح مـن الحشـرات التـي تـزور الزهـرة لرحيقهـا وتنجـز تلقيحها حشرياً (تلقيح خلطي)، ولكن إذا لم توفق الزهرة القرصية لزيارة الحشرات يقوم ميسمها المزدوج بزيـادة التواء فصـي الميسم حتـى يلامس السطح المهيأ لاستقبال حبوب اللقاح الجزء الشعري للقلم وما هو عالق به من حبوب لقاح نفس الزهرة فيتم تلقيحها ذاتياً (شكل 56).
2. بسـلة الزهـور Lathyrus odoratus التـويج فراشـي مكـون مـن علـم وجناحين وزورق يحيط بالطلع والمتاع يتكون الرحيق من السطح الداخلي لقواعد الأسدية الملتحمة ويتجمع عند قاعدة المبيض. عند زيارة الحشرة للزهرة تدفع جناحي التويج للخارج فينفتح الزورق من أعلى ويهبط إلى أسفل كاشفاً عن الأسدية الخصبة فتلامس المتك بطن الحشرة وتعلق بها حبوب اللقاح وتنقلها معها، عندما تزور زهرة أخرى يكون ميسمها مهيأ لاستقبال حبوب اللقاح التي يكتسبها من السطح السفلي (بطن الحشرة الزائرة) ويتم التلقيح الخلطي.
3. البانسية Viola tricolor الأزهار ذات ألوان جذابة زاهية– يوجد في البتلة الأمامية مهماز يتجمع به الرحيق المفرز من زائدتين غدتين تمتدان من متك السداتين الأماميتين– كما أن المتك تحيط بالمتاع مكونة حول القلم غرفة داخلية تتجمع فيها حبوب لقاح نفس الزهرة– أما المتاع فهو مكون من مبيض وقلم به زاوية حادة تشبه المرفق– وينتهي القلم بميسم مجوف به فتحة خاصة. عند زيارة الحشرة للزهرة تضغط القلم من أسفلا فيرتفع القلم إلى أعلى وينضغط عند المرفق لينغلق تجويف القلم– ويسبب زيـادة تضـاغط القلـم (مـع السـطح العلـوي لجسـم الحشـرة) بـروز سـائل مخـاطي مـن ثقـب الميسـم فتعلـق بهـا حبـوب اللقـاح التـي علـى الحشـرة وحملتها من زهرة أخرى فيتم التلقيح الخلطي وباستمرار توغل جسم الحشرة

تنفتح الغرفة المتكية لتلك الزهرة فتتساقط حبوب اللقاح فوق ظهر الحشرة، وبعد جمع الحشرة للرحيق تنسحب الحشرة متراجعة فينخفض الضغط على القلم فتتراجع المادة المخاطية إلى داخل التجويف حيث تثبت حبوب اللقاح ويتم التلقيح الخلطي.

4. السلفيا Salvia splendence تويج الزهرة أنبوبي ذو شفتين تتكون العليا من بتلتين والسفلى من ثلاث بتلات– الطلع سداتين تتكون كل واحدة من خيط قصير وموصل طويل بشكل رافعة من النوع الأول ذراعها الداخلي قصير فصه عقيم والخارجي طويل وفصه خصب عندما تزور الحشرة (كبيرة الحجم) ترسو على الشفة السفلى وتحاول الحصول على الرحيق فتندفع الذراع القصير للرافعة إلى أعلى فيهبط الفص الخصب ويلامس ظهر الحشرة وتنثر عليه حبوب اللقاح فإذا زارت الحشرة زهرة أخرى يكون ميسمها مدلى إلى أسفل فيلامس ظهر الحشرة ويلتقط حبوب اللقاح ويتم التلقيح الخلطي.
5. التين *Ficus spp* لا تنجح زراعة التين الأزمرلي (في تركيا) إلا في مناطق يتوافر بها نوع من الزنابير يسمى Blastophaga. الزهرة المؤنثة ذات قلم طويل ينتهي بميسم مزود بشعيرات نامية لحجز حبوب اللقاح أما التين البري فتحتوي على أزهار مذكرة عند القمة وأخرى مؤنثة أسفلها وأقلامها قصيرة وعندما تزورها الحشرة تضع البيض في مبايض تلك النورة البرية وعندما يفقس البيض تخرج الحشرات من النورة مارة على الأزهار المذكرة (في الجانب العلوي من تجويف النورة) فتعلق بها حبوب اللقاح– وتطير في الجو فإذا صادفها نورة لنبات التين المنزرع تدخلها لتلقيح مياسم الأزهار المؤنثة ولكنها لا تستطيع وضع البيض فيها لطول الأقلام وبذلك تتنبه النورة وتنمو معطية الثمار ذات القيمة الاقتصادية– أما الثمار غير الملقحة فتذبل وتسقط شكل (56).



شكل 56: التلقيح الحشري

شكل 56: التلقيح الحشري

الإخصاب Fertilization

يتم التلقيح بانتقال حبوب اللقاح إلى الميسم الذي يهيئ نفسه ليكون أفضل وسط لإنبات حبوب اللقاح التي تقع عليه، يبدأ نشاط الحبة بخروج جزء أنبوبي خيطي يسمى أنبوب اللقاح Germ Tube الذي ينبت من إحدى ثقوب الإنبات في جدار الحبة ثم ينمو في نسيج الميسم ومنه إلى نسيج القلم فيخترقه متجهاً نحو المبيض ويلاحظ أن محتويات حبة اللقاح تنتقل إلى أنبوب اللقاح فتمر النواة الخضرية أولاً وتليها النواة الجنسية التي تنقسم إلى نواتين جنسيتين (تمثل كل منها جاميطة مذكرة).

بمجرد وصول أنبوب اللقاح إلى المبيض يتجه إلى إحدى البويضات مترشداً بمواد منبهة تفرز من الخلايا المساعدة- يدخل أنبوب اللقاح في البويضة بإحدى ثلاث طرق:

أ. **النقير:** في معظم النباتات يدخل عن طريق ثقب النقير ويعرف ذلك بالمسمى نقيري Poromgamy.

ب. **الكلازا:** في الكازورينا والجوز والبندق يدخل عن طريق الكلازا ويسمى كلازى Chalazogamy.

ج. **وسط البويضة:** عن طريق الأغلفة والحبل السري كما في القرع والحور ويسمى وسطى Mesogamy. وفي جميع تلك الأنواع يخترق أنبوب اللقاح النيوسيلة حتى تصل إلى الكيس الجنيني فيشق أنبوب اللقاح طريقه داخل الكيس الجنيني خلال إحدى الخلايا المساعدة فيدمرها (وهى المجاورة لخلية البيضة) تنفجر قمة أنبوب اللقاح وتفرغ محتوياتها في الكيس الجنيني وتختفي الخلية الخضرية ثم تندمج إحدى الأنوية المذكرة (الجاميطة المذكرة الأولى) مع نواة البيضة (الجاميطة المؤنثة) ويسمى ذلك Syngamy وبذلك يتم الإخصاب Fertilization الذي ينتج عنه تكوين الزيجوت Zygote أما النواة الذكرية الأخرى فإنها تندمج مع نواة الكيس الجنيني المزدوجة ويسمى الاندماج الثلاثي Triple Fusion وفي حالة حدوث عمليتي الاندماج والاتحاد الثلاثي يطلق عليهما معاً الإخصاب المزدوج Double Fertilization.

تحدث داخل الكيس الجنيني عدة تغيرات هامة فتنشط نواة الأندوسبرم وتنقسم معطية أنوية عديدة تهاجر عبر العصير الخلوي (في الكيس الجنيني) إلى السيتوبلازم المبطن للجدار الخارجي وتتكاثر لتكون نسيج الأندوسبرم- يكبر

الكيس الجنيني في الحجم على حساب ضمور نسيج النيوسيلة الذي كان محيطاً بالكيس الجنيني من الخارج، كما ينشط الزيجوت ويكون جزءاً كروياً يسمى الجنين الأولى Proembryo الذي يظل متصلاً بجدار الكيس الجنيني بصف واحد من الخلايا يسمى المعلق Suspensor وبالتكاثر المستمر لخلايا الجنين يبدأ تكشفها إلى محور وأوراق فلقية (واحدة أو أثنين)- يظهر بالمحور: الجذير (الذي تتصل قمته بالمعلق) وتليه السويقة التي تنتهي من أعلى بالريشة وتكون جميع الخلايا مرستيمية.

تختلف الأجنة في نشاطها التكويني بإحدى الطريقتين التاليتين:

1. تنمو الفلقات بدرجة ضئيلة وتصبح ورقية رقيقة بينما يستمر الأندوسبرم في تكوينه كنسيج خازن لغذاء الجنين داخل تجويف القصرة يسمى الأندوسبرم ويكون محيطاً بالجنين وتصبح البذرة أندوسبرمية.
2. تنمو فلقات الجنين وتنشط وتقوم بامتصاص نسيج الأندوسبرم وبذلك يصبح غذاء الجنين مخزناً في أوراق الجنين (الفلقتين) وبذلك يشغل الجنين جميع الحيز الداخلي للبذرة وتصبح بذلك البذرة لا أندوسبرمية.
3. في نبات الفلفل الأسود تحتوي الثمرة على بذرة واحدة يقوم البريسيرم Perisperm (وهو ناشئ من النيوسيلة) بتخزين غذاء الجنين مع جزء أندوسبرمي محيط بالجنين الدقيق.

الأجنة اللاجنسية

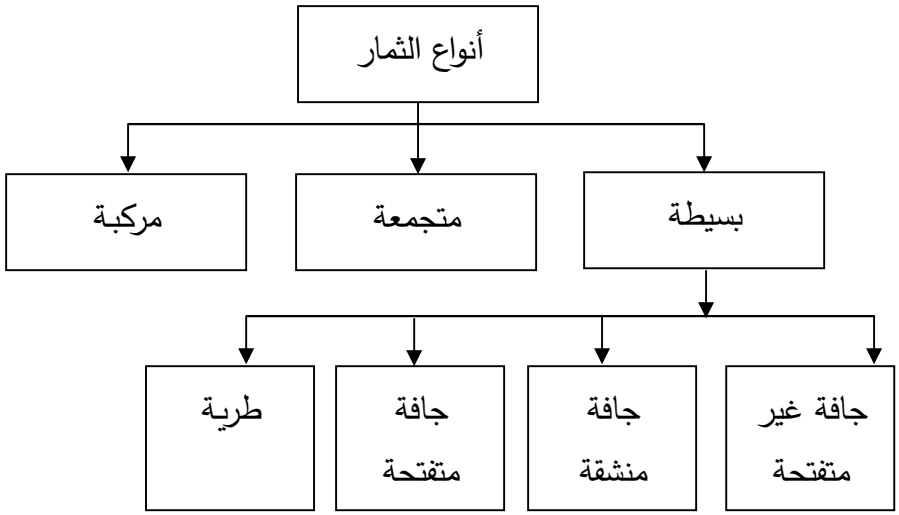
يتكون الجنين عادة من إخصاب جاميطة مؤنثة بالجاميطة المذكرة في تكاثر زيجوتي Amphimixis ولكن توجد حالات خاصة ينشأ الجنين بدون حدوث اندماج تزاوجي فتنشط البيضة (بدون إخصاب) وتكون جنيناً أحادياً عقيماً ويسمى ذلك بالإثمار البكري Parthonogensis. في الموالح يتكون في الثمرة الجنين الزيجوتي (الجنسي) ولكن تنشط معه بعض خلايا النيوسيلة المجاورة للكيس الجنيني وتكون أجنة داخل البذرة تعتبر لازيجوتية ولذلك يطلق عليها الأجنة العرضية Adventitious Embyos وتعرف تلك الحالة بتعدد الأجنة Polyembryony. تعتبر الأجنة العرضية صورة من الإكثار اللاجنسي (اللازيجوتي) Apomixis.

الإثمار البكري Parthenocarpy

تتكون كثير من الثمار الخالية من البذور– فبمجرد حدوث التلقيح يتنبه المبيض وينمو ليكون ثمرة خالية من البذور (أو الأجنة) كما في البرتقال أبوسرة– الليمون العجمي– العنب البناتي– الموز.

في الزراعة الحديثة يمكن الحصول على الثمار بكرياً برش النباتات بمواد خاصة تعمل كمنبه هرموني لتنشيط المبيض وتكون ثماراً خالية من البذور كما في الطماطم والجوافة.

الثمـار Fruits



بعد إنتهاء عملية الإخصاب تتكون البذرة من البويضة وتتنبه أجزاء المبيض من تأثير الإخصاب وتتكون ثمرة النبات وينمو جدار المبيض مكوناً للغلاف الثمري Pericarp أما القلم والميسم فيذبلان. أحياناً قد تبقى لها بعض الآثار التي نفرق بها بين الثمار الصغيرة والبذرة كما قد تدخل بعض الأجزاء الزهرية في تركيب الثمرة.

تعرف الثمرة بأنها الوحدة الناتجة من المتاع الناضج مع أى أجزاء أخرى من الزهرة أو النورة تنضج وتشترك معه.

تقسم الثمار إلى الأقسام التالية:

1. حسب تكوينها:

أ- ثمار صادقة True Fruits إذا لم يدخل في تركيبها أى جزء من أجزاء الزهرة وتكونت من المبيض فقط، ويكون فيها الغلاف الثمري عبارة عن الجدار الحقيقي للمبيض.

ب-ثمار كاذبة "Pseudocarps" False Fruits إذا تكونت الثمار من المبيض بالاشتراك مع أجزاء أخرى من الزهرة مثل التخت كما في التفاح

والكمثرى أو الغلاف الزهري كما في التوت أو النورة جميعها (شمراخها الزهري) كما في التين فتعرف بأنها كاذبة.

2- حسب أصل الثمرة ونشأتها:

أ- بسيطة Simple وذلك إذا نشأت الثمرة من زهرة واحدة ذات متاع به كربلة واحدة أو مكون من عدة كرابل ملتحمة في وحدة متاعية واحدة.

ب-متجمعه Aggregate وذلك إذا نشأت الثمرة من زهرة واحدة ذات متاع به عدة كَرابل ولكنها منفصلة كما في الورد والشليك (الفراولة).

ت-مركبة Compound إذا نشأت من عدة أزهار مشتركة في نورة.

3- نوع الغلاف الثمري:

أ- ثمار جافة Dry Fruits إذا كان فيها الغلاف الثمري خشبي أو جلدي ولا يمكن تمييز أجزائه.

ب-ثمار طرية (غضة) Succulent وهى التي يكون فيها الغلاف الثمري أو جزء منه قد تحول إلى نسيج عصيري (متشحم) وتتميز في تلك الثمار مناطق الغلاف الثلاث.

تقسيم الثمار:

(أ) الثمار البسيطة Simple Fruits: وتنقسم إلى ثمار جافة وثمار طرية. تتميز الثمار الجافة إلى ثلاث أقسم هى:

أولاً: الثمار الجافة غير المتفتحة Dry Indehiscent Fruits

الجدار الثمري:

إما خشبي أو جلدي ولا يتفتح أو ينشق ولكن تتخلص منه البذور بعد أن يبلي ويتحلل ونظراً لصلابة الغلاف الثمري وتحمله عبء المحافظة على البذرة فنجد أن البذور قليلة وقصرتها رقيقة ومنها:

1. الفقيرة Achene الغلاف الثمري جلدي رقيق ومنفصل عن البذرة وهى تنشأ من كربلة واحدة (في متاع عديد الكرابل المنفصلة) كما في الشقائق والأنيمون والورد.

2. البندقة Nut الغلاف الثمري خشبي صلب غير ملتحم مع القصرة الرقيقة للبذرة الوحيدة عادة، الثمرة ناشئة من وحدة متاعية من كربلتين ملتحمتين وسكن واحد به عدة بويضات وعند النمو تكون إحداهما البذرة بينما تذبل البويضة الأخرى كما في البندق وأبوفروة والبلوط.

3. البرة Caryopsis تشبه الفقيرة إلا أن غلافها الثمري ملتحم مع غلاف البذرة كما في النجيليات مثل القمح والشعير، وتتكون الثمرة من وحدة متاعية (من عدة كرابل ملتحمة) بها مسكن واحد به بويضة واحدة– وقد تبقى بعض الثمار مغلفة بالقنابع كما في الشعير والأرز.

4. الجناحية Samara تشبه الفقيرة إلا أن الغلاف الثمري يمتد على شكل زائدة جانبية أو جناح. الثمرة أصلها كربلة واحدة ذات مسكن واحد به بويضة واحدة كما في أبوالمكارم أو يكون أصلها عدة كرابل ملتحمة ذات مبيض أحادي المسكن به بذرة واحدة كما في الترمناليا حيث يمتد الجدار الثمري في عدة زوائد طولية تعتبر أجنحة.

5. سبسلاء Cypsela يتكون فيها المبيض من كربلتين ملتحمتين ومسكن واحد به بويضة واحدة، الغلاف الثمري غير ملتحم مع قصرة البذرة– تمتاز الثمرة عن الفقيرة بوجود زوائد الكأس Pappus كما في ثمار الفصيلة المركبة وتختلف الزوائد بين شعرية– حرشفية– شوكية– أسنان– أو غشائية سريعة السقوط كما في دوار الشمس.

ثانياً: الثمار الجافة المنشقة Schizocarps

هى ثمار جافة ملتحمة الكرابل– عند نضج الثمرة تنفصل الكرابل عن بعضها إلى ثميرات– في كل ثميرة بذرة واحدة– والثميرة الناتجة من الانشقاق إما متفتحة Coccus أو غير متفتحة Mericarp ومنها الأنواع الآتية:

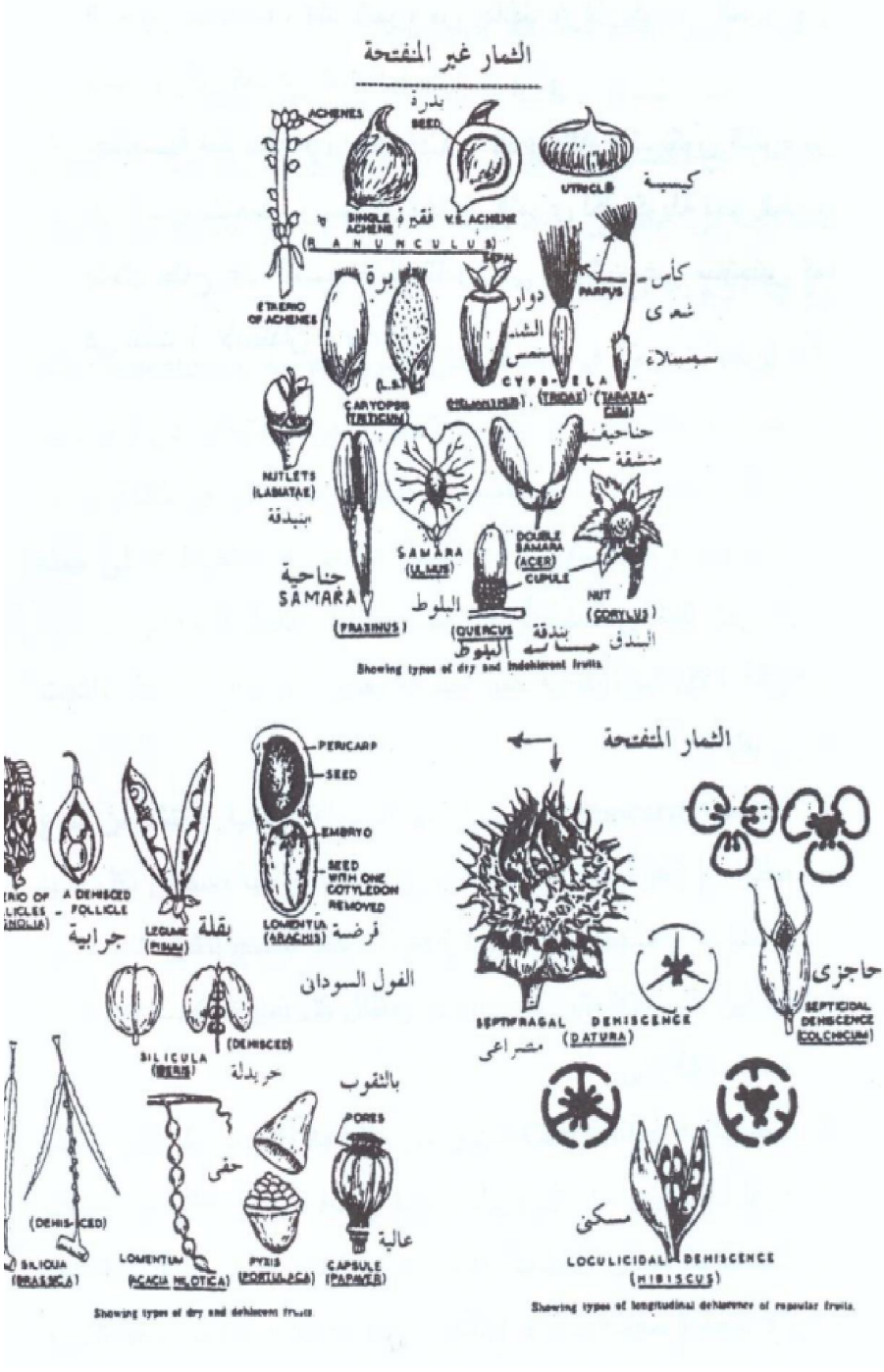
1. **قرضة (قرظة في لهجة بعض الدول العربية) Lomentum** تنشأ من كربلة واحدة لا تتفتح- تمتاز بوجود اختناقات في الثمرة بين أماكن وجود البذور أو تنقسم عرضياً بواسطة حواجز كاذبة- عند النضج (بالجفاف) إما تنفصل في مناطق الاختناقات إلى جملة ثميرات كما في السنط أو لا تنفصل كما في الفول السوداني.
ملحوظة: كل ثمرة بقولية غير متفتحة تعتبر "قرضة" أما إذا انفتحت فهى "بقلة".

2. **خيمية Cremocarp** تمتاز بها الفصيلة الخيمية- تنشأ من متاع سفلى (زهرة علوية) ذو كربلتين ملتحمتين بها مسكنين بكل منها بويضة (فيما بعد بذرة) قمية. عند النضج تنشق الثمرة إلى ثمرتين غير متفتحتين Mericarps وتظل كل ثميرة متصلة من قمتها بحاملها الكربلي.

3. **الخبازية Carcerulus** تتكون من متاع به أكثر من كربلتين (عدة كرابل) تتكون من كل كربلة ثميرة واحدة كما في كثير من نباتات الخبازية مثل الخطمية والخبازي- تعتبر الثميرات الناتجة غير متفتحة (حابسة للبذرة) تعتبر أيضاً Cremocarp قد تحاط الثمرة من الخارج بالوحدات الكأسية الجافة.

4. **الرجما Regma**- تتكون من متاع ذو كربلتين أو أكثر يحدث انشقاق الثمرة هنا بقوة (وفرقعة) وتفتح الثميرات وتخرج منها البذور Coccus وتنشأ الثمرة من ثلاث كرابل كما في الخروع أو خمس كرابل كما الجيرانيوم.

5. **جناحية منشقة Winged Cremocarp**- تتكون الثمرة من كربلتين ملتحمتين يمتد الغلاف الثمري لكل كربلة نحو الخارج بشكل جناح عند النضج تنشق الثمرة إلى ثميرتين غير متفحتين كما في نبات (الأسفندان) Acer.



شكل 57: الثمـار الجافـة

ثالثاً: الثمار الجافة المتفتحة Dehiscent Fruits

ينفتح الغلاف الثمري بطريقة منتظمة تسهم في تحرر البذور وانتشارها لذلك تكون البذور كثيرة العدد لها قصرة سميكة لحماية التركيب البذري (غذاءاً وجنيناً) من المؤثرات البيئية لحين توفر الظروف الملائمة للإنبات وتنقسم تلك الثمار تبعاً لنظام تفتحها إلى الأنواع:

1. الجرابية Follicle تتكون الثمرة من كربلة واحدة ذات مبيض علوي بها بذرة واحدة أو أكثر تتفتح الثمرة عدد جفافها بانفصال حافتي الكربلة من الجهة البطنية (الدرز البطني Vental Suture) كما في العايق أو توجد الجرابيات في مجموعات كما في بذرة العفريت Sterculia أو يحدث الانفتاح على طول الدرز الظهري Dorsal Suture كما في المانوليا Manolia.

2. البقلة Legume تشبه الجرابية في جميع مميزاته (كربلة واحدة ومسكن واحد) ولكنها تختلف في طريقة الانفتاح حيث يبدأ من أعلى إلى أسفل على طول الدرزين البطني والظهري مكونة مصراعين يلتويان بقوة حلزونياً مما يقذف البذور إلى مسافات بعيدة كما في الفصيلة الفراشية كما في نباتات الفول والبسلة.

3. الخردلة Siliqua تنشأ الثمرة من متاع ذو كربلتين ملتحمتين منقسمة طولياً إلى مسكنين بواسطة حاجز كاذب (False Septum) plum عند الجفاف تتفتح الجدر الخارجية للثمرة إلى مصارعين من أسفل إلى أعلى ثم ينفصلان (يسقطان) وتترك البذور متصلة بالحاجز الكاذب حيث انفصالها منه باهتزازه بالريح كما في الفصيلة الصليبية: المنثور.

4. الخريدلة Silicula تشبه الخردلة من حيث التركيب والانفتاح ولكنها قصيرة عادة وتحتوي على بذور أقل وتشاهد في ثمار كيس الراعي والأليسم.

5. العلبة Capsule تتكون الثمرة من كربلتين أو أكثر ملتحمة مع بعضها ذات مسكن واحد أو عديدة المساكن وتتفتح بعدة طرق منها يأتي:

أ- انفتاح مسكن Loculicidal حيث يتم انفتاح كل كربلة على طول الدرز الظهري كما في القطن والبنفسج.

ب-انفتاح حاجزي Septifrgal يحدث الانفتاح على طول خط التحام الكرابل كما في البصل والكتان.

ج- انفتاح مصراعى Septicegal كما في الداتورة وأبوقرن حيث تسقط الجدر الخارجية للكرابل تارجة حوافها أو حواجز المتاع كجزء مركزي متصلاً بعنق الزهرة.

د- انفتاح بالأسنان Denticidal يحدث انفصال جزئي للكرابل من جزئها العلوي فتبدو الحافة العلوية للثمرة مسننة- قد تنحني هذه الأسنان إلى الخارج كما في ثمار الفصيلة القرنفلية.

هـ-انفتاح بالثقوب Poricidal قد تكون الثقوب علوية قرب قمة الثمرة كما في ثمرة الخشخاش حيث تغطيها المياسم الجالسة- وعند نضج الثمرة وجفافها تضمر المياسم كاشفة عن مناطق خاصة تتكون فيها الثقوب. قد تتكون الثقوب قرب قاعدة الثمرة حيث تتفتح جدر الكرابل بمصاريع صغيرة (دقيقة) كما في الفصيلة الناقوسية.

و- انفتاح حقي Circumscissile يحدث الانفتاح عرضياً بإحدي صورتين إما جزئياً وبذلك لا ينفصل الجزء العلوي من الثمرة كما في Jeffersonia أو يكون كاملاً فينفصل الجزء العلوي من العلبة بشكل غطاء- وتسمى الثمرة في تلك الحالة Pyxidium كما في الرجلة وعين القط وعرف الديك.

رابعاً: الثمار الطرية Succulent Fruits

يتحول الغلاف الثمري أو جزء منه إلى نسيج عصيري شحمي- كما تتميز أجزاؤه إلى ثلاث مناطق: خارجية ومتوسطة وداخلية- هذه الثمار غير متفتحة بجدرها اللينة التي تساعد على توزيع الثمار والبذور غالباً بواسطة الحيوانات والطيور، توجد ثلاثة أنواع من تلك الثمار:

1. حسلية أو لوزة Drupe كربلة واحدة أو أكثر ملتحمة مع بعضها بها بذرة واحدة أو بذرتين- ثمارها لا تتفتح- يتميز غلافها الثمري إلى ثلاث طبقات: الخارجية Exocarp جلدية والمتوسطة Mescocarp لحمية (عصارية) والداخلية Endocarp خشبية صلبة كما في البرقوق- المشمش- الزيتون- الخوخ- أحياناً تكون الوسطى ليفية (لتخفيف الوزن) كما في ثمار جوز الهند والدوم التي تنتشر بالمياه.

2. لبية (عنبة) Berry تتكون من مبيض علوي أو سفلي ملتحم الكرابل تختلف عن الحسلة في أن الجدار الداخلي لا يكون صلباً بل لحمياً كما أن بذورها عديدة سميكة القصرة مثل: الطماطم والعنب والخيار- في ثمار البلح يمثل الغشاء الرقيق المحيط بالبذرة الغلاف الداخلي وكذلك: الموز والرمان والقرع والخيار فإن المحيط بالبذرة هو الغلاف الداخلي، تعتبر ثمار الموالح جلدية الغلاف الثمري وتسمى Hesperidium أما القرعيات فتسمى ثمرة لبية Pepo لتزايد صلابة الغلاف الثمري مع تقدم النضج.

3. تفاحية Pome ثمار كاذبة لأن الجزء الرئيسي منها هو التخت المتضخم تحاط من الخارج بغلاف ثمري سطحي Epicarp جلدي القوام أما الجزء المتوسط فيشمل قشرة التخت وأسطوانته الوعائية التي يتغرس فيها المبيض ويشمل الغلاف الخارجي والغلاف الأوسط وهى شحمية وتميز بصعوبة أما الغلاف الثمري الداخلي فهو قرني ويحيط بالبذور كما في ثمار التفاح والكمثرى والسفرجل.

(ب) الثمار المتجمعة Aggregate Fruits

تنشأ الثمرة المتجمعة من زهرة واحدة ذات متاع عديد الكرابل المنفصلة ومن أمثلتها:

1. **مجموعة فقيرات Aggregate of Achenes** يختلف وضع الفقيرات باختلاف شكل التخت إما أن تحمل الفقيرات على سطح التخت العصيري المحدب كما في الفراولة أو تتجمع الفقيرات داخل تجويف مقعر لتخت الزهرة وتبطين الفقيرات سطحه الداخلي كما في ثمرة الورد.

2. **مجموعة جرابيات Aggregate of Follicles** تتركب الثمرة من عدة جرابيات تتفتح ثميراتها من جانب واحد فهى إما من الدرز البطني كما في بودرة العفريت Sterculia وبعض أنواع العايق وإما من الجهة الظهرية كما في ثمار المانوليا Magnolia.

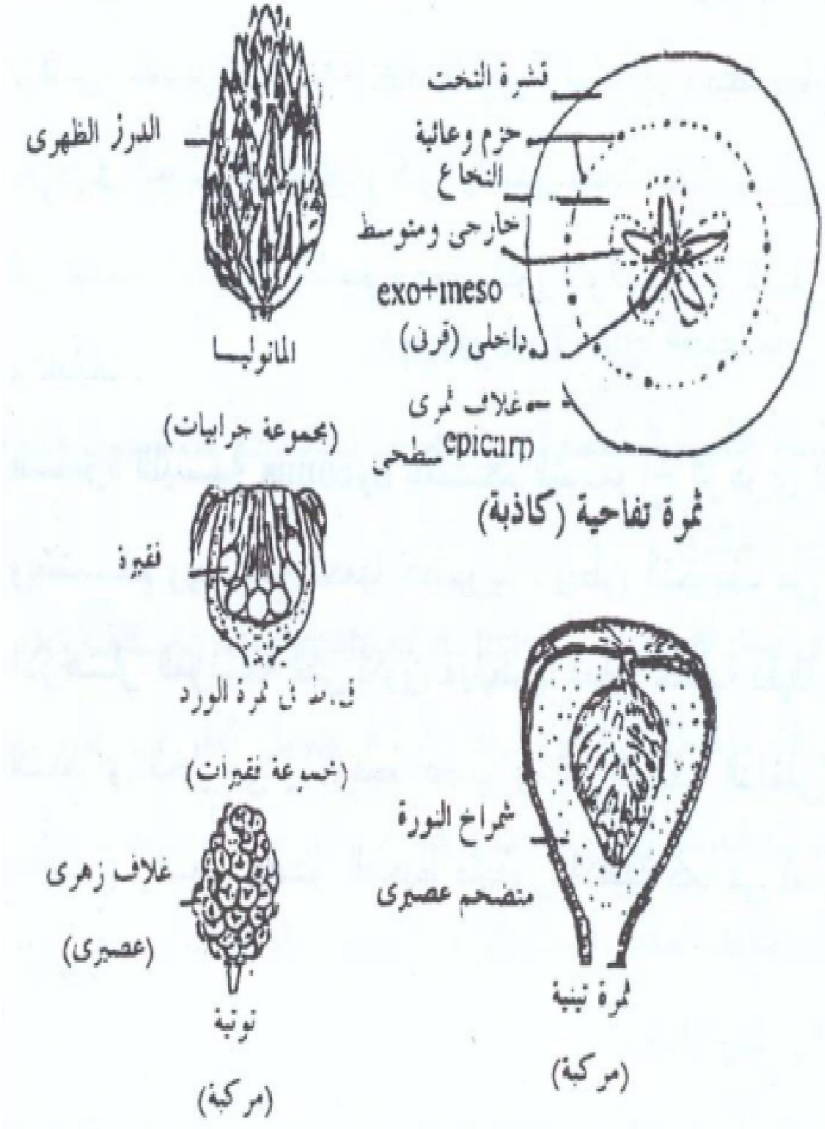
3. **مجموعة حسلات Aggregate of drupes** كما في ثمار توت العليق Raspberry.

(ج) الثمار المركبة Compound Fruits

في هذا النوع من الثمار تشترك مجموعة من الأزهار أو النورة في تكوين الثمرة وتسمى أيضاً الثمار المتضاعفة Multiple Fruits ويوجد منها الأنواع الآتية:

1. الثمار التوتية: Sorosis في نبات التوت تتكون الثمرة من النورة الهرية المؤنثة وعند النضج تتشحم الأغلفة الزهرية وتعطي كل زهرة ثميرة بندقية Nutlet (في المتاع) ويحيط بها الغلاف الزهري العصيري الحلو (كثرة الغسيل بالماء تفقده الحلاوة). في نباتات الأناناس يتشحم محور النورة والثميرات المنغرسة فيه والقنابات.

2. الثمرة التينية Syconus يتشحم الشمراخ الزهري الدورقي ويتضخم ويصبح لحمياً عصيرياً، يبطن التجويف من الداخل الأزهار المؤنثة التي تكون مبايضها ثماراً حسلية دقيقة غلافها الثمري الخارجي والأوسط عصيري أما الغلاف الداخلي فيكون خشبي رقيق وهو المحيط بالبذور الدقيقة كما في ثمار التين والجميز.

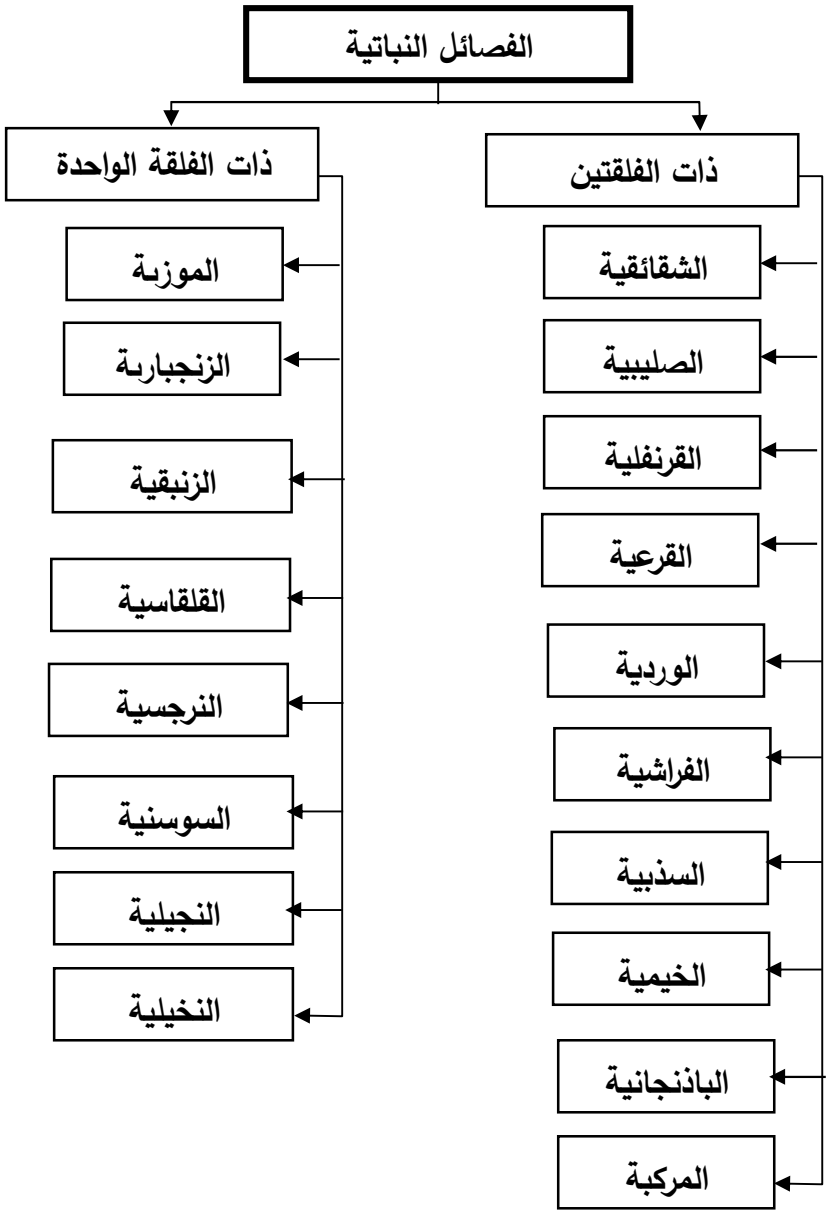


شكل 58: بعض أنواع الثمار: التفاحية والمتجمعة والمركبة

مقارنة بين ذوات الفلقتين وذوات الفلقة الواحدة

ذوات الفلقتين	ذوات الفلقة الواحدة
الجنين: ذو فلقتين تخرجان للإنبات فوق سطح التربة (إنبات هوائي الفلقتين) قليلاً ما يكون أرضي (تظل الفلقتان داخل التربة)	**الجنين:** ذو فلقة واحدة تظل غالباً أرضية ونادراً هوائي (ظهور جزء من الفلقة فوق سطح التربة).
غذاء الجنين: إما في نسيج خاص (الإندوسبرم)، أو يخزن داخل الجنين (لا إندوسبرمى)	**غذاء الجنين:** في نسيج خاض (إندوسبرم)
تشكيل النمو: إما قليل الحجم (عشبي) أو كبير الحجم (شجيري شجري خشبي)	**تشكيل النمو:** معظمه عشبي يتميز فيه ريزومات- كورمات- أبصال- القليل منها شجيري أو شجري (النخيل- الغاب)
الأوراق: التعريق غالباً شبكي، القاعدة نادراً ما تغمد الساق يصاحبه نماء للعنق الذي ينتهي ينصل عريض الشكل	**الأوراق:** التعريق غالباً متوازي القاعدة غمدية تطوق الساق- نصل الورقة مستطيل أو شريطي يندر نماء العنق
الأزهار: خماسية أو رباعية الأوراق	**الأزهار:** ثلاثية الأوراق أو مضاعفاتها
النظام الوعائي: يتكون من عدد محدود من الحزم الوعائية مرتبة في الساق في محيط حلقي	**النظام الوعائي:** مكون من عدد غير محدود من الحزم الوعائية مبعثرة بدون نظام يتزايد حجمها كلما اتجهنا للداخل (فى المركز)
الحزم الوعائية: جانبية مفتوحة (بها كمبيوم) يعطي أنسجة وعائية ثانوية تزيد في سمك	**الحزم الوعائية:** جانبية مقفلة (ليس بها كمبيوم) لذلك لا يحدث بها نمو ثانوي في السمك. يتكون الجسم الابتدائي مبكراً فى مرستيم التغليظ الابتدائى.
النسيج الأساسي: يتكشف إلى قشرة واسطوانة وعائية بها نخاع مركزي متسع	**النسيج الأساسي:** غير متكشف إلى قشرة وأسطوانة وعائية

بعض الفصائل النباتية الهامة



اتفق علماء التقسيم على أن نباتات مغطاة البذور تكون مجموعة طبيعية ولكن اختلفوا في مراتبها التقسيمية ونظراً لاحتوائها على ما يزيد عن نصف المملكة النباتية بين ما هو حجمه دقيق إلى ما يبلغ أشجاراً ضخمة، وهى جميعاً مصنفة في أنواع بلغ تعدادها ما يزيد على ربع مليون نوع. ولكننا ندرس بعضها من ذوات النفع الاقتصادي والبيئي المصري ونورد فيما يلي بعض الفصائل الهامة مع عرض بسيط لخواصها الزهرية والثمرية إن أمكن. من الفصائل المنسقة تحت صف ذوات الفلقتين Dicotyledonous Plants.

1. الفصيلة الشقائقية Ranunculaceae

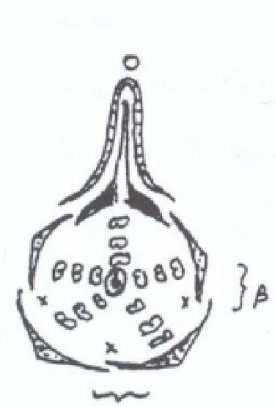
قليلة الرقي– نباتاتها متباينة الصفات نذكر منها الأجناس التالية:

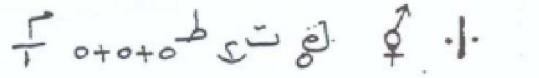
أ. الشـــقائق Ranunculus والعـــايق Delphinium والأنيمونِ Anemone (نبات زينة).

ب. بـــرنس الراهـــبِ Aconitum يســـتخرج منـــه مركـــب بأســـمه (الأكونيت) لعلاَج القلب.

ج. الحبـة السـوداء (حبـة البركـة) Nigella بالبـذور زيـت ذو فوائـد طبية.

الوصف النباتي: نبات العايق له نورة عنقودية ويوجد به مهماز لحفظ الرحيق في الكأس.

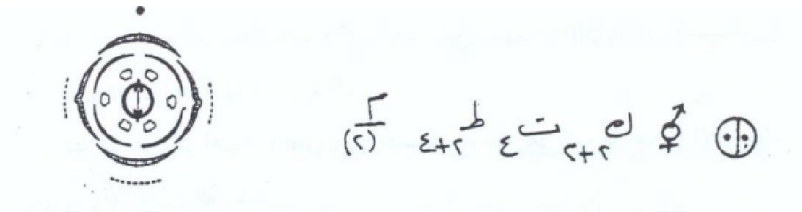




2. الفصيلة الصليبية: Crucifera

كثير من نباتاتها اقتصادية نذكر منها الأجناس التالية:
جنس Brassica من أنواعه الكرنب *B. capitat* والقنبيط *B. botrytis* واللفت *B. tapa* والخردل والفجل *Raphanus sativus* والجرجير *Eruca sativa* من نباتات الزينة: المنثور Matthiola والأليسم Alyssum والحرفة Iberlis وحشيشة الحارة Lepidium التي تعطي الطعم المميز لزيت بذرة الكتان (الزيت الحار).

الوصف النباتي:
يسمى الطلع طويل الأربع
يوجد بالمتاع حاجز كاذب– الثمرة: خردلة أو خريدلة.

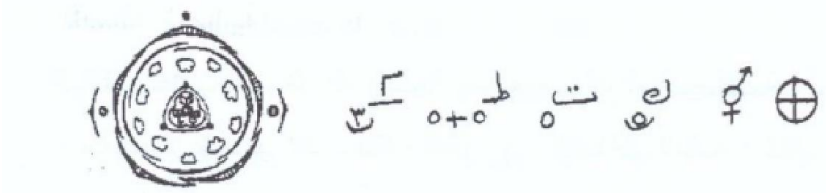


3. الفصيلة القرنفلية Caryophllaceae

النباتات الهامة: نباتات الزينة

القرنفل Dianthus ذو رائحة خفيفة مميزة– السيلين Sielene به تاج صغير.

عرق الحلاوة Saponaria به مركب سابونين الذي يضاف إلى الحلاوة الطحينية لجعلها مسامية هشة، التويج قرنفلي، الأقلام سائبة– الوضع المشيمي محوري سائب.

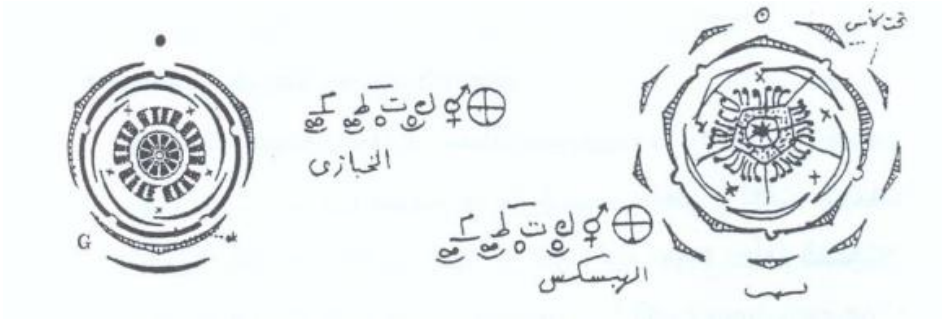


4. الفصيلة القرعية Curcubitaceae

النباتات عشبية زاحفة أو متسلقة بمحاليق، الأزهار وحيدة الجنس بها متاع أثري والمؤنثة طويلة (مبيض سفلي) ثلاث مشيمات جدارية متفرعة- البذور عديدة غي ثمرة لبية Pepo- أهم النباتات: جنس Cucumis يتبعه الخيار- *C. satiyus* الشمام *C. odoratissimus*- القاوون *C. melo* جنس Cucurbita يتبعه قرع الكوسة *C. pepo*- القرع العسلي *C. maxima* جنس Citrullus يتبعه البطيخ C. vulgaris – الحنظل *C. colocynthus* نبات اللوف Luffa- القثاء *Sativus flexuosus*.

5. الفصيلة الخبازية

النباتات عشبية أو خشبية (شجيرات)- الأوراق مفصصة راحية- مغطاة بشعيرات مختلفة الأنواع- النباتات الهامة: الخبازي Malva- القطن Gossypium- الهيسكس الوردي *Hibisins rosa*- البامية *H. esculemtus*- التيل *H. cannabinus* الخطمية *Althea rosa* التيل البلدي *A. cannabina* يوجد تحت كأس. التويج وردي- الطلع ملتحم الخيوط في حزمة واحدة- المتاع عديد الكرابل- الثمرة خبازية منشقة.



6. الفصيلة الوردية

النباتات أشجار وشجيرات وعشبيات– الأوراق بسيطة أو مركبة– الأزهار مفردة أو في نورات عنقودية أو سنبلية– الأزهار خنثى سفلية (الفراولة). محيطية (الورد) أو علوية (التفاح والكمثرى)– التويج وردي– الأسدية محدودة أو عديدة. المتاع كربلة واحدة إلى عدة كرابل مختلفة الالتحام– التلقيح خلطي بالحشرات– الثمار مختلفة: حسلة (الحلويات) فقيرات (الورد) أو تفاحية كاذبة (التفاح والكمثرى).

جنس Prunus: المشمش *P. ameniaca* الخوخ *P. parsica*– البرقوق *P. domeslica* الكريز *P. cerasus* اللوز *P. amygdalus*– القراصيا *P. grotta*.

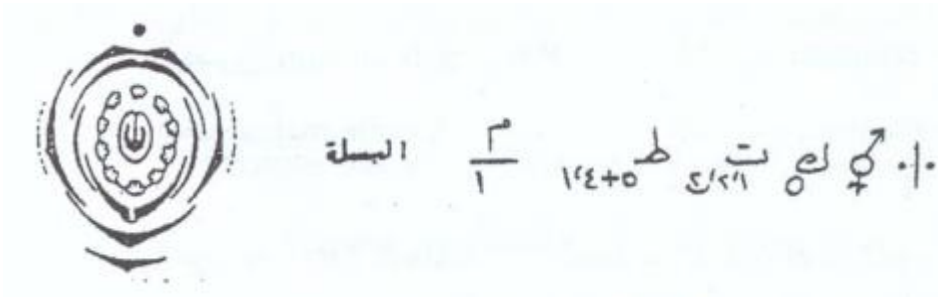
جنس *Pyrus* التفاح *P. malus*– الكمثرى *P. communis*

7. الفراشية (أو الفولية) Fabaceae

الزهرة وحيدة التناظر– التويج فراشي (علم + جناحين + زورق)

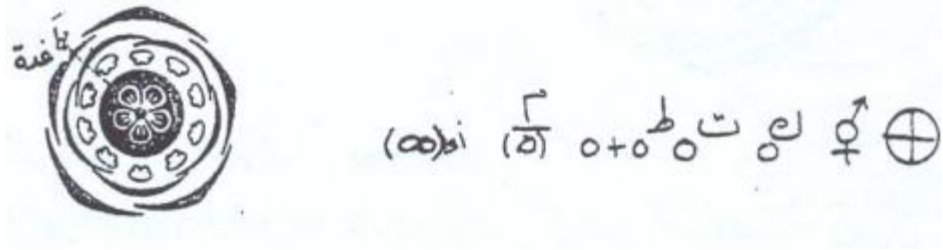
– **الطلع:** عشرة ثنائي الحزم (9، 1) المتاع كربلة واحدة. الثمرة بقلاء متفتحة أو قرضة منشقة البذور لا اندوسبرمية.

النباتات الهامة: الفول *Vicia faba*– الفاصوليا Phaseolus– اللوبيا Vigna– البسلة Pisum– العدس Lens– الفول السوداني Atachis– البرسيم المسقاوي *Trifolium alexandrinum*– البرسيم الحجازي *Medicago* بسلة الزهور *Lathyrus odoratus*– الترمس *Lupinus termis*.



8- الفصيلة السذبية Rutaceae

النباتات أشجار وشجيرات- الأوراق بسيطة ومركبة- عليها بقع غدية (الرائحة المميزة)- الزهرة 4-5 أوراق- الطلع عديد الأسدية- المتاع ملتحم الكرابل يحيط بقاعدته قرص غدي- المشيمة مركزية- الثمرة طويلة لبية.
الجنس Citrus (الموالح) منها البرتقال *C. sinesis* اليوسفي *C. nobilis*، الليمون المالح *C. limonia*- *C. النارنج bigardia*- السذب *Ruta graveolens* ذو رائحة عطرية.



9. الفصيلة الخيمية Umbellifera

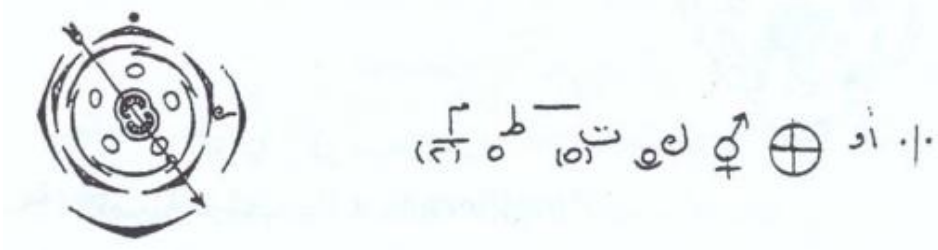
عشبيات- الساق طويلة الأخاديد- الأوراق مجزأة- تتميز بانتشار القنوات الغدية العطرية- الأزهار متجمعة في نورة خيمية مركبة- الأزهار علوية- الكأس أثري التويج بتلاته سريعة السقوط- المتاع كربلتين ملتحمتين- يوجد مسكنين بكل منها بويضة بندولية- الثمرة خيمية منشقة: نباتاتها الهامة طبية

الجزر	*Daucus carita*	الكمون	*Cumminum*
الينسون	*Pimpinells anisum*	الكزبرة	*Corsuabdrum*
الخلة	*Ammie majus*	الشمر	*Foeniculum*
الكراوية	*Carum carvi*	البقدونس	*C. petriselinium*

10. الفصيلة الباذنجانية Solanaceae

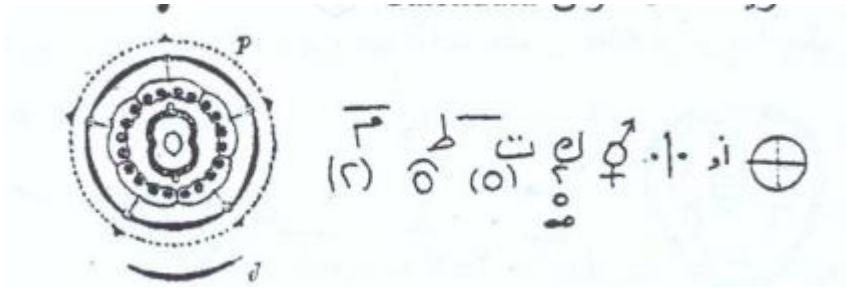
أعشاب وشجيرات– كأس ملتحم مصراعي مستديم مع الثمرة– تويج قمعي ملون– أسدية فوق البتلية– كربلتي المتاع تميل على المحور، الثمار لبيه كالطماطم والباذنجان أو علبة جافة.

جنس Solanum: الباذنجان *S. melongena* البطاطس *S. tuberosum* الشطة *Capsicum*.
البتونيا *Patunia*– الداتورة *Datura* (له خواص طبية)– الدخان *Nicotina*



11. الفصيلة المركبة Compositae

الأزهار متجمعة في نورة هامة محاطة بقلافة– الأزهار الخارجية شعاعية تحيط بالأزهار القرصية– كأس شعري أو حرشفي.
الطلع ملتحم المتك– الأسدية فوق بتلية– الزهرة علوية– الثمرة سبسلاء.
دوار الشمس *Helianthus annus*– القرطم Carthamus
الطرطوفة *H. tuberosus*– الخرشوف Cynara
نباتات الزينة: الأقحوان Calendula

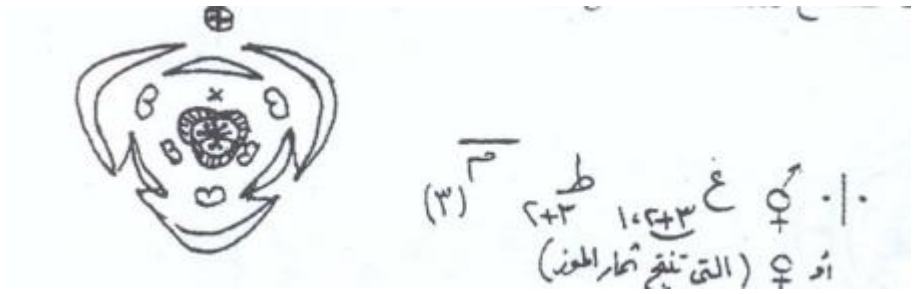


ومن أهم فصائل نباتات ذوات الفلقة الواحدة

1. الفصيلة الموزية Musaceae

نباتات عشبية معمرة بالريزم الأرضي– في الموز الساق الظاهرية كاذبة (إغماد الأوراق) النورة سنبلية مركبة مجاميعها في أبط قنابة حمراء– أهم النباتات: الموز Musa spp– من أنواعه: المغربي: *M. sapientum* والأمريكي *M. paradisica* والهندي *M. cavendishi* ، والفلبيني *M. textils*، والحبشي *M. ensete*.

ونباتات السائح *Ravenala madagascarerensis*



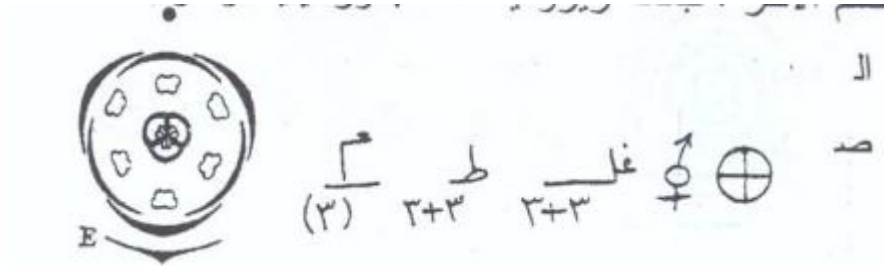
2. الفصيلة الزنجبارية Zingiberaceae

نباتات عشبية معمرة– الريزومات خازنة للغذاء تعطي سوقاً هوائية– الورقة بسيطة غمدية. الزنجبيل Zingiber officinals يحضر من ريزوماته مشروب ذو فوائد طبية عديدة. الكركم Curcuma longa يحتوي على صبغة ملونة صفراء.

3. الفصيلة الزنبقية Liliaceae

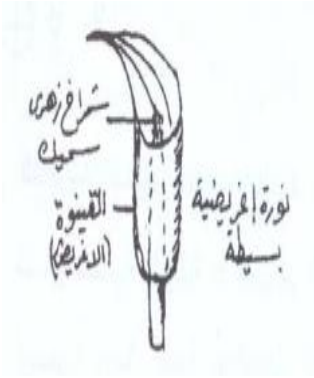
نباتات إما ذات أبصال أو كورمات منها الكثير من نباتات الزينة مثل: التيوليب Tulipa والزنبق Lilium والياسنت Hyacinthus واللحلاح Colchicum.

القسم الأخر: نباتاته ريزمومية ذات جذور ليفية أو درنية مثل:



الصبار Aloe– الهليون Asparagus– برواق Asphodelus– سوسن أصغر Hemerocllis.

4. الفصيلة القلقاسية Araceae

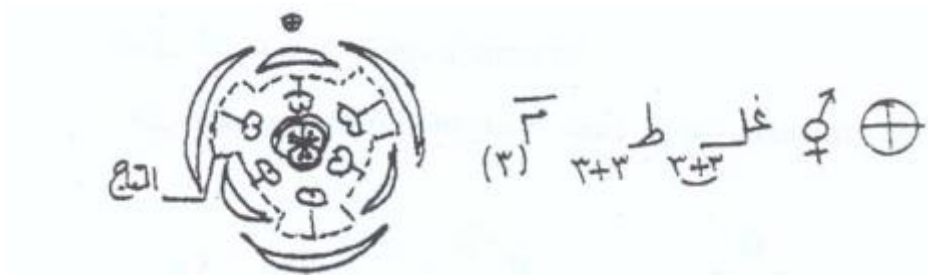


النورات أغريضية بسيطة

القينوة ملونة صفراء في القلقاس أو حمراء في الأنثوديم– الأزهار دقيقة جالسة معظمها نباتات زينة: عيش القرود Arum–الكلاديوم Cladium – المونسترا Monstra – البوتوس Pothos.

5. الفصيلة النرجسية Amaryllidaceae

الغلاف الزهري ملتحم– به تاج مميز – الطلع سداسي– المبيض سفلي (أو علوي في البصل) النرجس Narcissus – الأمرلس Amaryllis وهى من نباتات الزينة. أما من الخضر الجنس Allium: البصل: *A. cepa* الثوم *A. sativum* الكرات بشوشة *A. porrum*.



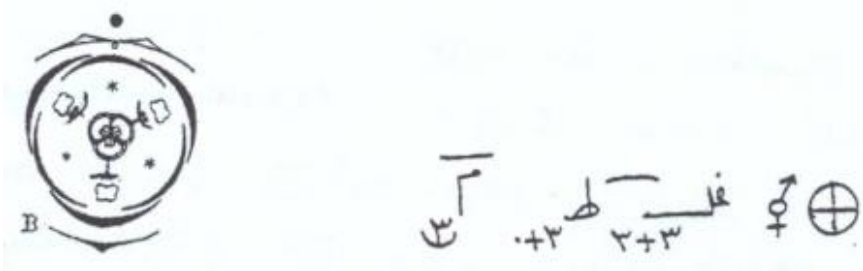
6. الفصيلة السوسنية Iridaceae

الأزهار غلافها الزهري ملون– الطلع ثلاثي الأسدية لغياب المحيط الداخلي.

المتاع بتلي الأقلام كما في السوسن والمياسم تحت طرفية– النباتات الهامة:

نباتات زينة: السوسن Iris – الجلاديول Gladiolus

الفريزيا Freezia– الأنثوليزا Antholyza– الكروكس Crocus.



7. الفصيلة النخيلية Palmaceae

الساق خشبية طويلة– البرعم الطرفي مستمر في النمو– الأوراق كبيرة: إما ريشية (النخيل الريشي Feather Palm) أو راحية (النخيل المروحي Fan Palm) النور أغريضية مركبة– الأزهار خنثى ما عدا البلح فهى وحيدة الجنس (مذكرة أو مؤنثة على نباتات منفصلة).

النباتات الهامة:

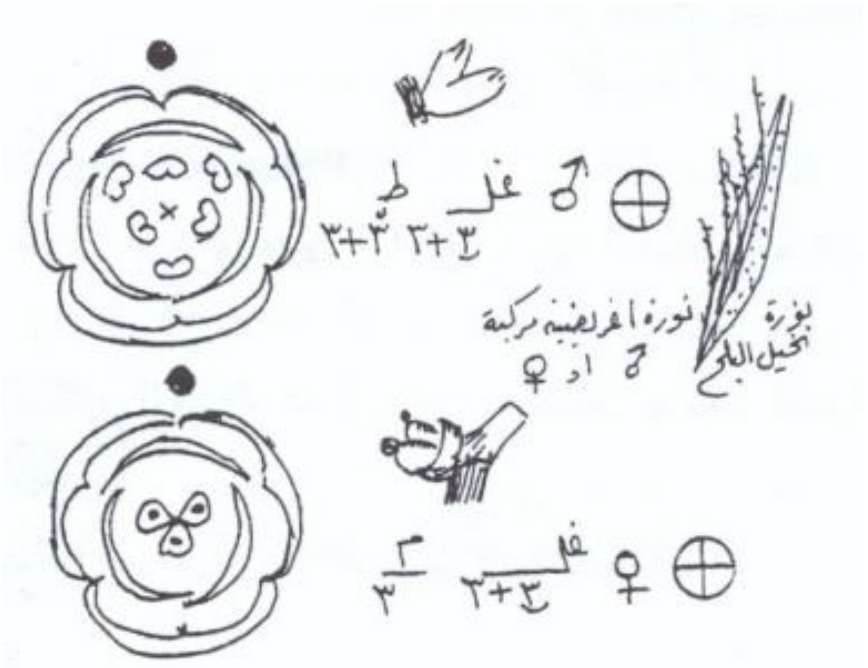
نخيل البلح Phoenix dectylifera نخيل جوز الهند Cocos nucifera

نخيل الدوم Hyphaene thebaica نخيل ملوكي Rhoystonia

نبات الخيرزان Calamus draco

نخيل الكرنوبا Copernicia cerifera

نخيل الكاريوتا Caryota urens نخيل الزيت Elaies juineesis



8. الفصيلة النجيلية Gramineae (البواوية Poaceae)

فصيلة نباتات الحبوب سوقها هوائية وأرضية (ريزومية) للأوراق الشريطية لسين Ligule وزوائد auricles الأزهار في نورات سنبلية مركبة (القمح- الذرة) أو دالية- الزمير (الشوفان) الأزهار في سنيبيلات ترافقها القنابع- خنثى (القمح) وحيدة الجنس (الذرة)- توجد أحياناً زائدة السفا Awn- المتاع ملتحم الكرابل. المبيض مسكن واحد به بويضة واحدة- الثمرة برة. النباتات الهامة.

القمح *Triticum vulgare* الذرة *Zea mays*

الشعير *Horeudum vulgare* النجيل *Cynoden dactylon*

الأرز *Oryza sativa* قصب السكر *Saccharum officinarum*

البوص *Arundo donax* حشيشة الليمون *Andropgon citratus*

الملخص

ثانياً: مورفولوجيا وتقسيم النبات

1. **ينقسم التركيب المورفولوجي إلى قسمين:** جذري وخضري- تختلف الجذور حسب نشأتها إلى: جذر أصلي ينشأ من الجذير الجنيني ويكون محوراً وسطياً يعطي فروعاً جانبية ثانوية داخلية النشأة- قد يخزن الأصلي غذاءه كما في الفجل والجزر واللفت- أما الجذور العرضية (ليست أصلها الجذير) فمن أنواعها: أرضية ليفية كالقمح ودرنية كالبطاطا- أما الجذور الهوائية فهي عديدة: مساعدة (الذرة والقصب)- ماصة للرطوبة (الأراشد) تسلقية (حبل المساكين)- تنفسية (الشورى) ممصات (الحامول).

تنشأ الساق الأصلية من نمو الريشة مكونة المجموع الخضري بأفرعه الحاملة للأوراق عند العقد- أما الساق العرضية فتنمو في مواقع أخرى خلاف الريشة- يكون التفرع غير محدود والساق صادق المحور ويكون محدداً حيث يتكرر تجدد النمو من براعم الساق الكاذبة المحور.

تقسم الساق إلى هوائية تظهر فوق سطح الأرض مثل: الساق القائمة (عشبية أو خشبية)- أما الساق الضعيفة نذكر منها المفترشة: المدادة- الزاحفة- وأخيراً الساق القصيرة والساق القزمية أما الساق الأرضية فهى المتعايشة تحت سطح الأرض تغطيها الأوراق الحرشفية مثل ساق الريزوم والدرنة والكورمة والساق القرصية في البصلة وهى تشاطر الساق المعمرة في كثير من الخواص التشكيلية والتركيبية، تجري التحورات الساقية لأغراض البناء الضوئي أو التسلق أو الحماية وتقليل النتح والتخزين.

تمثل الأوراق بزوائد خضراء مفلطحة تحملها الساق عند العقد وأهم مكوناتها: القاعدة والعنق والنصل الذي تقسم الأوراق تبعاً لشكله التركيبي إلى: بسيطة: نصلها قطعة واحدة- أو مركبة التي يتجزأ فيها النصل إلى وريقات (نصلها أصغر) مرتبة ريشياً أو راحياً.

يختلف تعريق الأنصال إلى تعريق شبكي (ذوات الفلقتين) أو تعريق متوازي (ذوات الفلقة الواحدة). بدراسة ترتيب الأوراق على الساق: تعتبر الأوراق جذرية (متوردة) عندما تحملها ساق قصيرة عند سطح الأرض أو تتوزع على عقد الساق الهوائية في وضع سواري أو متقابل أو متبادل.

2. **أنـــواع الأوراق:** فلقيـــة وأوليـــة وخوصـــية وقشـــرية (بقســـميها: الخازنـــة والحرشفية) إذا قامت الورقة بوظائف إضافية اعتبر ذلك تحوراً مثل: الأوراق الخازنـــة (للمـــاء) فـــي خلايـــا خاصـــة مـــن النســـيج المتوســـط (الأبصـــال)– أو تحـــورات ميكانيكيـــة: للتســـلق (بالمحـــاليق الوريقيـــة فـــي البســـلة) أو الـــدفاع بشـــويكات (النـــارنج والســـنط)– الافتـــراس (الـــدرويزا– حامول الماء العذب) تكاثرية (أعضاء زهرية).

3. **التشكل الزهري:** تعتبر الزهري هى العضو المميز للنباتات الزهرية فهى مكونة من ساق ينتهي من أعلى بالتخت الذي يختلف في الأزهار السفلية والمحيطية والعلوية من حيث نظام وحمل الأوراق في محيطاتها الزهرية بالترتيب التصاعدي: الكأس (سبلاته) يليه التويج (بتلاته) ثم الطلع بأسديته ثم المتاع بوحداته التي تتوسط الزهرة: السبلات تكون عادة خضراء والبتلات ملونة ثم سداة الطلع بخيطها المنتهي بالمتك الذي تتكون به حبوب اللقاح (سداة خصبة) أو لا تتكون (سداة عقيمة) المتاع وحدته الكربلة (مبيض– قلم– ميسم) تترتب البويضات داخل المبيض في الأوضاع الميشيمية: حافي– جداري– مركزي– محوري– سائب– قاعدي– قمي.

عند دراسة تركيب الزهرة تنسق بياناتها وخواصها في مسقط زهري وقطاع طولي والقانون الزهري، الحمل الزهري قد يكون فردياً أو تحمل الأزهار في تجمعات تسمى النورات التي تقسم إلى:

نورات بسيطة معلقة الأزهار كما في النورات: عنقودية مشطية– خيمية. أو جالسة الأزهار– زهرية وأغريضية ورأسية والهامة جميع تلك النورات نموها الزهري غير محدود أو يكون النمو محدوداً عقربياً أو قوعياً وهناك نورات خاصة دالية– كأسية وتينية، التلقيح هو عملية انتقال المشيحات المذكرة (داخل حبوب اللقاح) إلى مياسم المتاع، ومن أهم وسائله لحشرات ويتم الإخصاب باندماج الجاميطة المذكرة بنواة البيضة التي في الكيس الجنيني للبويضة فيتكون الزيجوت لتكوين الجنين البذري ذو الفلقتين أو ذو الفلقة الواحدة تنتهي تلك التغيرات بتكوين الثمار التي تقسم إلى: بسيطة إذا نشأت من زهرة واحدة متاعها وحيد الوحدة المتاعية وتقسم إلى ثمار جافة وثمار طرية تصنف الثمار الجافة إلى غير متفتحة وتشمل: الفقيرة والبندقة والبرة والجناحية والسبسلاء ثم الثمار المنشقة التي تنشطر عند النضج إلى ثميرات

منها: قرضة وخيمية وخبازية والرجما والجناحية المنشقة أما الثمار الجافة المتفتحة فتشمل جرابية وبقلاء والخردلة والخريدلة والعلبة ذات طرق الانفتاح المختلفة (حاجزي- مصراعي- بالأسنان- بالثقوب وأخيراً الحقي) أما الثمار الطرية فهى التي يتحول غلافها الثمري كله أو جزء منه إلى نسيج عصيري (شحمي) وتشمل الثمرة اللبية ثم الحسلة (لوزة) أو تفاحية كاذبة.

تنشأ الثمار المتجمعة من زهرة واحدة متاعها عديد الكرابل المنفصلة من أمثلتها: مجموعة الفقيرات أو الجرابيات أو الحسلات أما النورات فهي تعطي الثمار المتضاعفة كما في الثمار التوتية والتينية.

أسئلة متنوعة على القسم الثاني
"التركيب المورفولوجي"
أ. أسئلة موضوعية

السؤال الأول:

أكتب المفهوم العلمي الذي تدل عليه العبارات التالية:

1- عملية انتقال المشيجات المذكرة داخل حبوب اللقاح من متك الأسدية إلى مياسم المتاع (.....)

2- يتكون من ورقة كربلية أو أكثر تنشأ فيها الجاميطة المؤنثة (.....)

3- دراسة نظام توزيع الجهاز الوعائي في الورقة خصوصاً النصل (.....)

4- عضو نباتي يتركب من ساق سلامياتها قصيرة جداً (.....)

5- ساق أرضية تنمو موازية لسطح الأرض بدرجة أكثر أو أقل (.....)

6- ساق أرضية قصيرة وغليظة تنمو عمودية بالنسبة لسطح الأرض ويخزن فيها الغذاء النشوي (.....)

7- الورقة التى من أبطها الزهرة (.....)

8- مسحوق دقيقي يتكون في أكياس المتك (.....)

9- رسم تخطيطي لقطاع مستعرض فى البرعم الزهري (.....)

10- اندماج بين الجاميطة المذكرة والجاميطة المؤنثة لتكوين الزيجوت (.....)

11- تكوين البويضة بدون إخصاب (.....)

12- نمو المبيض لتكوين الثمار الخالية من البذور (.....)

13- انفتاح يحدث على طول خط التحام الكرابل (.....)

14- ثمار تتكون نتيجة تحول الغلاف الثمري إلى نسيج عصيري شحمى (.....)

15- فصيلة نباتية القانون الزهري لها: (.....)

السؤال الثاني:

أكمل العبارات التالية:

1. من أمثلة التحورات الميكانيكية في الورقة .....، ..... بينما من التحورات الحيوية ..... ، ..... ، .....

2. تختلف الأزهار بالنسبة لتناظرها إلى ..... ، .....، .....، .....

3. تنقسم النورات من حيث طريقة تفرع محورها إلى ..... ، ..... بينما تقسم حسب حمل الأزهار إلى ..... ، .....

4. يحدث التلقيح في النبات بطريقتين هما ..... ،.....
5. يدخل أنبوب اللقاح في البويضة بإحدى ثلاث طرق هى .....،
..... ، .....
6. الجدار الثمري في الثمار الجافة غير المتفتحة أما ..... أو
.....
7. تنقسم الثمار الجافة المتفتحة تبعاً لنظام تفتحها إلى خمس أنواع هى
.....، .....، .....، .....، .....
8. تسمى الثمار المركبة بالثمار..... ومن أنواعها .....،
.....
9. من مميزات الأزهار حشرية التلقيح..... ، .....، .....
10. تختلف النباتات باختلاف نوعية الأزهار التي تحملها إلى .....،
.....

السؤال الثالث:

أكتب من العمود الأول الحرف الذي يناسب الرقم بالعمود الثاني:

العمود الأول	العمود الثاني
(أ) الأزهار الديكوجامية	(1) الشمراخ الزهري شحمي يحتوي بداخله على الأزهار
(ب) النورة التينية	(2) الشمراخ الزهري قرصي مفلطح أو كروي محدب
(ج) النورة الهامة	(3) التويج فراشي مكون من علم وجناحين وزورق يحيط بالمتاع والطلع
(د) بسلة الزهور	(4) لا ينضج فيها المتك والمياسم فى وقت واحد
	(5) تويج الزهرة أنبوبى ذو شفتين

ب. الأسئلة المقالية

1. قارن بين الجذر الأصلي والجذر العرضي من حيث الأصل والمظهر التشكلي (المورفولوجي) لمجموعيها.
2. قارن بين الجذور العرضية الليفية في حالتها: الأرضية والهوائية.
3. قارن بين بين السوق الأصلية والسوق العرضية من حيث المنشأ.
4. يختلف سلوك البرعم الطرفي في كل من النمو غير المحدود والنمو المحدود وما نوع المحور الناتج في كل حالة.
5. ما الفرق بين: الساق العشبية القائمة والساق العشبية الضعيفة.

6. قارن بين السوق الأرضية: الريزوم والدرنة والكورمة والبصلة من حيث الوضع المحوري والتشكل الظاهري والأعضاء التي يحملها كل منها.
7. أشرح الملاءمة الوظيفية للتحورات الساقية للقيام بكل من الأغراض التالية:
أ- بناء ضوئي ب- تسلق ج- الدفاع والحماية د- التخزين
8. قارن بين الأجزاء الرئيسية لورقة نبات فلقتين وورقة نبات نجيلي.
9. قارن بين نوعي التعريق الورقي وفي أى النباتات يتواجد كل منهما.
10. أذكر مع التوضيح والرسم التحورات الورقية المحققة لكل مما يأتي:
بناء ضوئي- تسلق- دفاع شويكي- تقليل النتح.
11. ما هى الزهرة وما هى أجزائها الرئيسية؟
12. تشكل خلافات تراكيب التختي تنوعاً رئيسياً في التركيب الزهري أشرح ذلك.
13. صف تركيب السداة الكاملة ثم قارنها بالسداة العقيمة.
14. أشرح بالرسم أوضاع تواجد البويضات داخل تجويف المبيض.
15. أشرح الفرق بين الحمل الزهري الفردي أو الحمل في تجمعات مع عرض الأنواع.
16. أشرح بعرض مبسط أنواع النورات البسيطة غير المحدودة المعنقة والجالسة.
17. ما الفرق بين النورة البسيطة والنورة المركبة وضح كل حالة بأمثلة نباتية.
18. ما هى المميزات الرئيسية للنورات التالية: الدالية- الكأسية- التينية.
19. أكتب مقالاً موجزاً عن التلقيح.
20. أكتب مقالاً موجزاً عن الإخصاب ونشأة الجنين.
21. عرف الثمرة ثم وضح متى اعتبرت بسيطة النشأة أو منشقة أو مركبة.
22. أعرض تصنيفاً مبسطاً للثمار البسيطة الجافة وحالات انفتاحها.
23. تختلف الثمار العلبة في نظم انفتاحها. أشرح ذلك.
24 أكتب مقالاً موجزاً عن الثمار الطرية موضحاً بالرسم التركيب الداخلي لكل منها.
25. قارن بين المميزات التشكيلية الظاهرية (المورفولوجية) والتشريحية والزهرية.

ثالثاً فسيولوجيا النبات

الأهـداف

يرجى عزيزى الطالب بعد دراسة هذا الجزء أن تكون قادراً على أن:

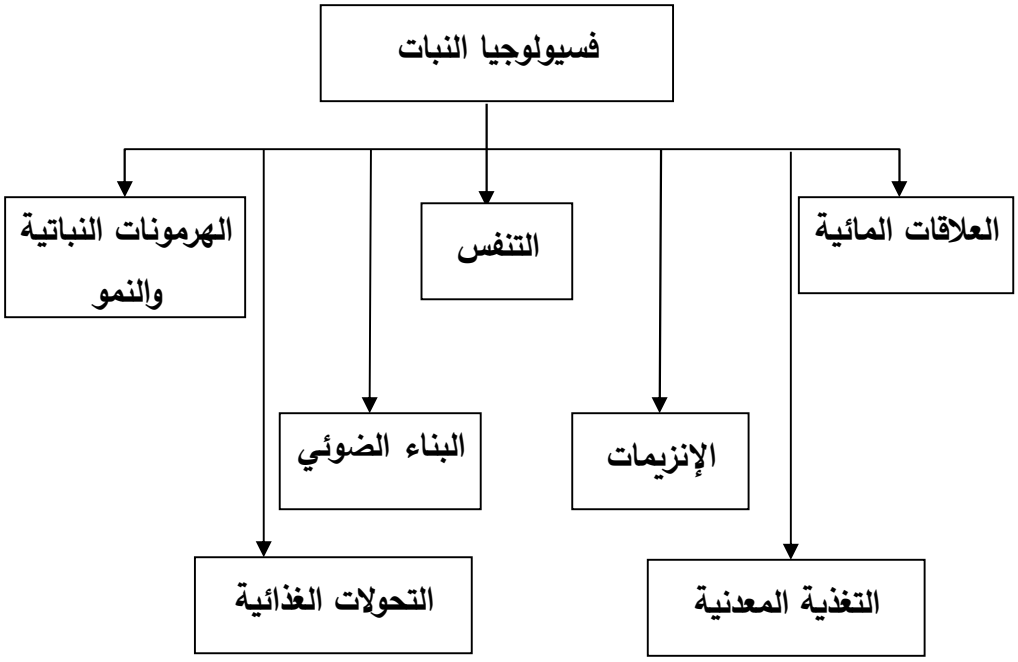
1- تحديد أهمية الماء للنبات
2- تفرق بين أنواع المحاليل المائية وخواصها.
3- تحدد خواص الغرويات.
4- تحدد كيفية حدوث حركة الماء.
5- تفرق بين الظواهر الآتية: الانتشار- الأسموزية- التشرب.
6- تحدد مسار حركة الماء في الجذر.
7- تحدد دور القوى المختلفة المسئولة عن امتصاص الماء.
8- تحدد العوامل المؤثرة على امتصاص الماء.
9- تحدد كيفية فقد الماء من النبات.
10- تفرق بين أنواع النتح: العديسى- الأدمي- الثغري
11- تحدد دور العناصر الغذائية الكبري في تغذية النبات.
12- تحدد دور العناصر الغذائية الصغرى في تغذية النبات.
13- تحدد كيفية الانتقال عبر الأغشية.
14- تفرق بين: النفاذية- حركة الأيونات- الانتقال السالب والنشط للذائبات.
15- تحدد ميكانيكيات الانتقال النشط.
16- تحدد كيفية انتقال الذائبات.
17- تحديد المقصود بالإنزيمات وتركيبها.
18- تفرق بين المرافقات الأنزيمية المختلفة ودورها.
19- تحدد طبيعة فعل الأنزيم.
20- تحدد العوامل التي تؤثر في نشاط الإنزيمات.
21- تقسم الإنزيمات إلى أنواعها المختلفة.
22- تحدد المقصود بالتنفس.
23- تفرق بين مفهومي: معامل التنفس- معدل التنفس.
24- تحدد العوامل المؤثرة في سرعة التنفس.
25- تحدد المراحل المختلفة لعملية التنفس.
26- تحدد كيفية حدوث الانحلال الجليكولي.
27- تحدد تحولات حمض البيروفيك.

28- تحدد المقصود بالتخمر اللاكتيكي والتخمر الكحولي.
29- تحدد مراحل دورة كربس (حمض الستريك).
30- تحدد دور الصبغات في عملية البناء الضوئي.
31- تحدد كيفية حدوث تفاعلات الضوء.
32- تحدد كيفية تثبيت غاز CO_2 أثناء البناء الضوئي.
33- تحدد كيفية تأثير الضوء والظلام على تركيز حامض الفوسفوجلسريك وريبولوز 5 فوسفات.
34- تحدد العوامل التي تؤثر على البناء الضوئي والانتاجية.
35- تقسم الكربوهيدرات.
36- تحدد كيفية بناء وتحليل النشا.
37- تحدد العوامل المؤثرة في تحولات الكربوهيدرات.
38- تقسم الليبيدات.
39- تحدد كيفية بناء الدهون.
40- تحدد التحولات الغذائية للنيتروجين.
41- تحدد المركبات النيتروجينية الهامة في النبات.
42- تحدد دور الأكسينات في نمو وتطور النبات.
43- تحدد دور الجبريلينات في نمو وتطور النبات.
44- تحدد دور السيتوكينينات في نمو وتطور النبات.
45- تحدد دور حمض الأبسيسك في نمو وتطور النبات.
46- تحدد التأثيرات الفسيولوجية للإيثيلين.
47- تحدد المقصود بالنمو ومظاهره.
48- تحدد المقصود بمعدل النمو.
49- تحدد الأطوار المختلفة للنمو (منحنى النمو).
50- تحدد طرق قياس النمو.
51- تحدد العوامل التي تتحكم في النمو.
52- تحدد كيفية حدوث الإزهار في النبات.
53- تحدد المقصود بالتواقت الضوئي وآليته.

ثالثاً: فسيولوجيا النبات Plant Physiology

تقديـم

ويشمل هذا الجزء الموضوعات الآتية



علاقة النبات بالماء Plant Water Relation

تتوقف الوظائف الحيوية تماماً على وجود الماء– كما ترتبط خواص الحياة مباشرة بخواص وصفات الماء حيث يعتبر الماء أكثر الجزئيات وجوداً في الكائنات الحية.

أهمية الماء للنبات The Importance of Water to Plant

1. **تركيب المادة الحية:** تكتسب المركبات الأساسية المكونة للبروتوبلازم protoplasm مثل البروتينات والأحماض النووية والكربوهيدرات صفات فذة غير معتادة نتيجة ارتباطها بجزئيات الماء مكونة نظماً غروية تكون ما يعرف بمادة الحياة.

2. **تفاعلات البروتوبلازم:** تتم كل التفاعلات الحيوية المنظمة أنزيمياً داخل البروتوبلازم في وجود الماء كوسط لهذه التفاعلات، كما قد يدخل الماء مباشرة في بعض التفاعلات مثل التحليل المائي وتحول الأحماض العضوية وتفاعل الضوء في عملية البناء الضوئي.

3. **النظام الهيدروكليكي:** يتواجد معظم الماء في الخلايا النباتية داخل فجوة عصارية أو أكثر ويؤدي امتلاء الفجوات بالمحلول المائي إلى انتفاخ الخلية وبالتالي النسيج مما يجعله يعمل كدعامة للأجزاء النباتية الغضة التي لا تحتوي على أنسجة خشبية قوية مثل النباتات العشبية والجذور والسوق الغضة والأوراق والأجزاء الزهرية والثمرية والبراعم ويبدو ذلك واضحاً عند تعرض النباتات للجفاف حيث تذبل وتتهدل تلك الأجزاء- كما أنه في كثير من الأحيان لا تكون حركة النبات ناتجة عن النمو ولكن تنتج ومن التغير في الضغط الهيدروليكي مثل انفتاح وانغلاق بعض الزهور والتفاف بعض الأوراق وفتح وقفل الثغور.

4. **نظام النقل:** يحيط بالخلايا النباتية طبقة رقيقة من الماء كما يوجد الماء في المسافات بين الخلايا وكمادة تشرب للجدر الخلوية مما يساعد على انتقال المواد والذائبات بين الخلايا كما يعتبر الماء وسط الانتقال داخل الأنسجة الخاصة بالنقل داخل النبات وهى أوعية الخشب وأنابيب اللحاء.

5. **التنظيم الحراري:** يتميز الماء بدرجة حرارة نوعية عالية حيث تتغير درجة حرارته ببطء ويحتاج ذلك لطاقة كبيرة مما يؤدي إلى ثبات في درجة حرارة الماء وبالتالي في درجة حرارة النبات، كما يحتاج الماء لدرجة حرارة عالية ليتحول إلى بخار يكتسبها من النبات مما يؤدي إلى تلطيف درجة حرارته عند ارتفاع حرارة الجو المحيط.

6. **بجانب مما سبق:** هناك عدة وظائف إضافية هامة للماء مثل:

أ- وسط انتقال الجاميطات المتحركة لإتمام عملية الإخصاب في كثير من النباتات المائية والنصف مائية.

ب-وسط انتشار العديد من الجراثيم والبذور والثمار.

ت-إعطاء تدعيم ميكانيكي خارجي للنباتات المائية.

المحاليل المائية Water Solutions

يندر بشدة أن يتواجد الماء في الصورة النقية سواء داخل النبات أو خارجه بل يتواجد دائماً في صورة محلول. تنقسم المحاليل المائية إلى ثلاث أنواع حسب حجم المواد المنتثرة فيها هى:

1. **المحاليل الحقيقية True Solutions**: وفيها تتجزأ المادة المنتثرة إلى جزئيات أو أيونات لا يزيد حجمها عن ملليميكرون مما يجعل المحلول متجانساً ويكتسب بعض الصفات المميزة.
2. **المعلقات Suspensions**: ووحدات المادة المنتثرة بها عبارة عن تجمعات كبيرة جداً من الجزئيات يكون قطرها أكبر من 200 ملليميكرون وبالتالي يمكن رؤيتها بسهولة كما أنها تنفصل عن الماء وترسب.
3. **المحاليل الغرية Colloidal Solutions**:حيث تجزأ وحدات المادة المنتثرة إلى وحدات صغيرة جداً أو دقائق غروية عبارة هم تجمعات لآلاف من الجزئيات بقطر وسط بين النوعين السابقين أى من 1−200 ملليميكرون مكسباً المحلول خواصاً خاصة ونظراً لأن المادة الحية في الخلايا تكون غالبيتها في صورة محاليل غروية فيحظى هذا النوع بعناية خاصة.

أنواع المحاليل الغروية:

تنقسم المحاليل الغروية إلى نوعين حسب درجة تجاذب الدقائق الغروية مع الماء هما:

1. محبة لوسط الانتثار (الماء): وفيها تحاط الدقائق بأغلفة مائية مما يكسبها خصائص معينة.
2. كاروهة لوسط الانتثار (الماء) ولا تحاط فيها الدقائق بأغلفة مائية.

خوص الغرويات:

للغرويات خصائص هامة منها:

1. الشحنات الكهربية للدقائق الغروية: لأسطح الدقائق الغروية نشاط مميز تمكنها من تجميع شحنات كهربية من نوع واحد على هذه الأسطح (موجبة أو سالبة) مما يجعل هذه الدقائق تتنافر مع بعضها مما يمنع تجمعها وترسيبها.
2. انعكاس الأطوار: ويظهر في المحاليل الغروية المحبة للماء لأن دقائقها تحتفظ كما سبق القول بأغلفة مائية وهذه الأغلفة يزيد سمكها بالتبريد على

حساب الماء الحر بين الدقائق مما يجعل المحلول يتحول بعد فترة إلى صورة متصلبة Gel ويحدث العكس عند التسخين حيث يعود المحلول للسيولة Sol

3. النفاذية Permeability: نظراً لكبر حجم الدقائق الغروية النسبي فإنها لا تستطيع النفاذ من خلال الأغشية شبه المنفذة على عكس دقائق المحلول الحقيقي.
4. التجمع السطحي Adsorption: نتيجة لصغر حجم الدقائق الغروية فإن مساحة أسطح هذه الدقائق بالنسبة لوحدة الوزن تكون كبيرة جداً بحيث تكتسب خاصة تجميع شحنات كما سبق أو مواد أخرى على هذه الأسطح وتسمى هذه الخاصة بالتجمع السطحي أو الادمصاص.
5. اللزوجة Viscosity: أى مقاومة المادة للأنسياب ولزوجة الغرويات المحبة للماء كبيرة نتيجة لوجود كمية من ماء المحلول مرتبطة بالدقائق كما سبق القول.

حركة الماء Movement of Water

ترتبط حركة الماء عموماً وداخل الخلايا والنبات خاصة ومن خارج لداخل النبات ببعض الظواهر الطبيعية مثل:

أ- الانتشار Diffusion

إذا وضعنا بلورة من مادة ملونة مثل كبريتات النحاس في كأس به ماء يلاحظ انتشار اللون تدريجياً لأعلى إلى أن يحدث تجانس اللون في كل الماء، أى أن دقائق المادة تم توزيعها بانتظام في الحيز المتاح بواسطة عملية الانتشار نتيجة تحرك الدقائق حركة سريعة مستمرة (الطاقة الحرة للجزئيات) ويمكن أن يعرف الانتشار بأنه انتقال دقائق المادة من نقطة ذات جهد كيميائي مرتفع إلى نقطة ذات جهد كيميائي منخفض لهذه المادة.

العوامل التي تؤثر على معدل الانتشار:

1. حجم وكتلة الدقائق: يتناسب معدل الانتشار عكسياً مع حجم وكذلك وزن الدقائق المنتشرة.
2. تدرج الجهد الكيميائي: يزيد معدل الانتشار بزيادة تدرج الجهد الكيميائي أى بالفرق بين تركيز مادة الانتشار من نقطة وأخرى وكذلك بين المسافة بين النقطتين.

3. القابلية للذوبان: حيث يزيد معدل الانتشار كلما زادت درجة ذوبان المادة المنتشرة في وسط الانتشار.
4. درجة الحرارة: حيث يزيد معدل الانتشار بزيادة درجة الحرارة.

ب- الأسموزية Osmosis

ويمكن تعريفها بأنها انتشار المواد (المذيب غالباً) خلال الأغشية شبه المنفذة نتيجة اختلاف الجهد الكيميائي على جانبي الغشاء (الغشاء شبه المنفذ هو الغشاء الذي يسمح للمذيب فقط مثل الماء بالنفاذية من خلاله مثل الأغشية الخلوية).

وطبقاً لظاهرة الانتشار السابق شرحها فعند فصل محلولين ذوي تركيزين مختلفين بغشاء شبه منفذ فإن الماء يتحرك عبر هذا الغشاء من المحلول الذي يزيد فيه تركز الماء (ذائبات قليلة) إلى المحلول ذو التركيز المنخفض من الماء (ذائبات أكثر) بمعدل أسرع من العكس وهو ما يعرف بعملية الأسموزية Osmosis (وبمرور الوقت يحدث تراكم للماء داخل الغشاء وتخفيف للمحلول) مما يؤدي إلى انخفاض معدل دخول الماء نتيجة تقليل الفرق بين الجهد الكيميائي للماء على جانبي الغشاء. ويطلق على الجهد الكيميائي للماء الناتج عن الطاقة الحرة لجزئياته اصطلاح الجهد المائي Water Potential (ψ_w)، وهو يعبر عن ميل الماء للانتشار (أوالبخر أو الادمصاص على سطح مادة أخرى) بينما يستخدم اصطلاح الجهد الأسموزي Osmosis Potential (ψ_s) للدلالة على الجزء من الجهد الراجع لوجود المواد الذائبة ولذلك يرتبط مباشرة بتركيز الذائبات، وكلما زاد التركيز يصبح الجهد الأسموزي أكثر سالبيه (المحلول المولال من مادة غير متأينة له جهد أسموزي- 22.4 ضغط جوي) وعلى ذلك فإذا وضعت الخلية النباتية في محلول ذو جهد أسموزي شديد السالبية (تركيز مرتفع) تزيد حركة الماء إلى خارج الخلية وينسحب البروتوبلاست عن الجدار منكمشاً في وسط الخلية وهذا ما يعرف بعملية البلزمة Plasmolysis.

ج- التشرب Imbibitions

عند وضع قطع خشب أو بذور جافة في الماء يلاحظ انتفاخها بدرجة ملحوظة وهو ما يعرف بعملية التشرب وكمية الماء الممتص بواسطة مادة التشرب

يسمى ماء التشرب Imbibed Water وتكون كميته كبيرة جداً مقارنة بوزن المادة المتشربة.

امتصاص النبات للماء Water Absorption

تحصل نباتات اليابسة على الجزء الأكبر من الماء عن طريق الجذور بينما يتم الامتصاص عن طريق كل أسطح النبات في حالة النباتات المائية.

منطقة النباتات الامتصاص بالجذر:

تمتص الجذور عادة الماء في المناطق الغضة القريبة من قمم الجذر حيث تتكون الشعيرات الجذرية التي تزيد من مساحة السطح الماص.

مسار حركة الماء الممتص بالجذر

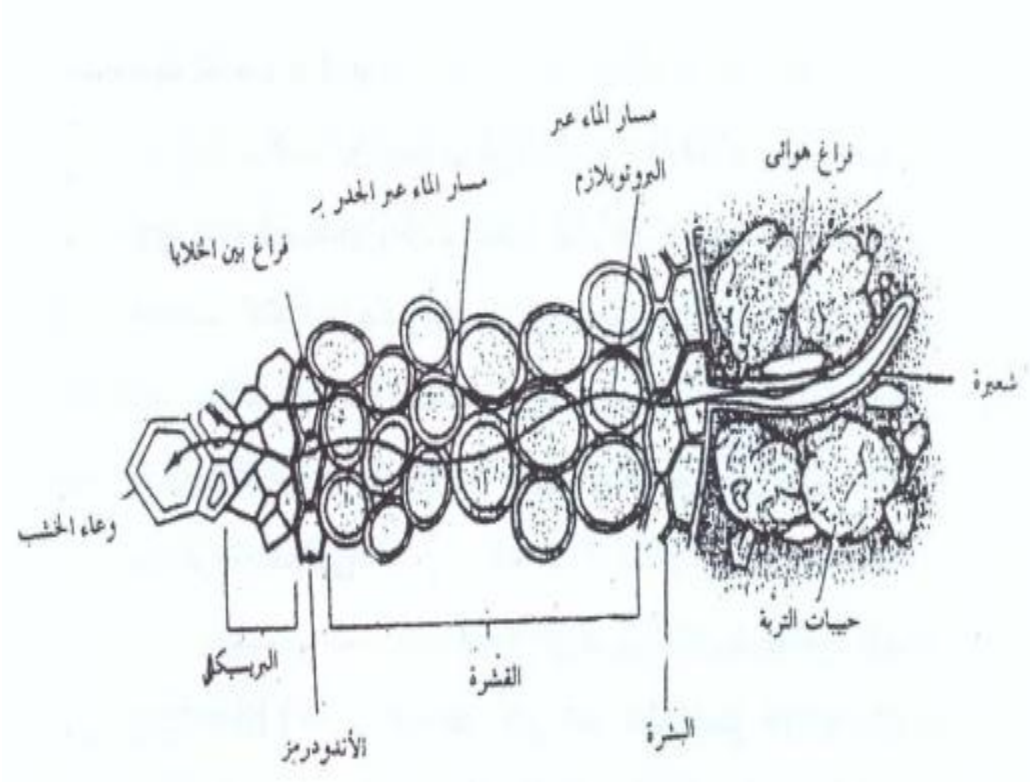
The Pathway of Absorbed Water

ويقصد به الطريق الذي يتحرك خلاله الماء من بشرة الجذر إلى العمود الوعائي ماراً بالقشرة (انظر الرسم) فالماء يمر من البشرة إلى القشرة ويمر في خلايا القشرة من فجوة إلى فجوة إلى أن يصل إلى طبقتها الأخيرة وهو نسيج الأندودرمس (طبقة واحدة تحيط بالأسطوانة الوعائية) وخلايا الأندودرمس مغلظة بطريقة خاصة جانبياً بحيث تسمح بمرور الماء عبر الجدر المقابلة لمسار حركة الماء الذي ينتقل إلى أوعية الخشب والتي تنقله بدورها إلى أعلى شكل (59). **ميكانيكية امتصاص الماء Mechanism of Water Absorption**

يتم امتصاص الماء بواسطة قوى مباشرة وأخرى غير مباشرة غالباً ما تعمل كل منهما مستقلة عن الأخرى وتكمل بعضها البعض.

أولاً: القوى المباشرة Direct Forces

وهى القوى الناشئة عن الجذر وتكون ما يعرف بالضغط الجذرى ويزيد فعاليته عندما يكون محلول التربة مخففاً ويحدث الضغط الجذري نتيجة عدة أسباب منها:



شكل 59: مسار حركة الماء في الجذر

أ- التشرب:

تتشرب خلايا الجذر بماء التربة وينتقل ماء التشرب إلى جدر خلايا القشرة ثم إلى أوعية الخشب وكمية الماء التي تدخل عن هذا الطريق محدودة جداً.

ب- جهد الماء

ينتقل الماء من محلول التربة ثم من خلية لأخرى نتيجة تدرج جهد الماء فعند دخول الماء لخلايا البشرة يزيد جهد الماء بها فينتقل لخلايا القشرة وهكذا ينتقل في اتجاه تدرج الجهد حتى يصل إلى الخلايا المقابلة لوعاء الخشب الذي

يتعرض فيه الماء للسحب لأعلى نتيجة القوى غير المباشرة وبالتالي يندفع الماء من خلايا القشرة إلى الوعاء الخشبي.

ويتسبب الضغط الجذري في حدوث ظاهرة الإدماء Bleeding(قطرات مائية تظهر عند قطع الساق النباتية مثل ما يحدث عند التقليم) وظاهرة الأدماع Guttation (خروج قطرات مائية في الصباح الباكر من أطراف أوراق بعض النباتات).

ثانياً: القوى غير المباشرة Indirect Forces

وتنشأ تلك القوى نتيجة فقد الماء في عملية النتح التي تؤدي إلى تقليل جهد الماء في خلايا الميزوفيل المقابلة للثغور وبالتالي يتحرك الماء إلى هذه الخلايا من الخلايا المجاورة والتي تمتص الماء بدورها من الخلايا المجاورة الأخرى حتى تصل إلى أوعية الخشب بعروق الورقة فتنشأ قوة شد سالبة للماء في أوعية الخشب إلى أعلى ويحدث انتقال لهذه القوى للجذور وبذا تصبح الأوعية الخشبية بالجذر ذات قوة شد أعلى من الخلايا المجاورة فينتشر الماء إلى الخشب من خلايا القشرة.

ويساعد على الانتقال داخل أوعية لخشب قوة الجذب الكبيرة بين جزئيات الماء وبعضها (قوة التماسك Cohesion) وقوة التصاق جزئيات الماء بجدر الأوعية الخشبية (قوة التلاصق Adhesion) وكلها قوى طبيعية.

العوامل المؤثرة على امتصاص الماء

أ. العوامل البيئية ومنها:

1. الماء القابل للإفادة بالتربة

ويحدث الامتصاص عندما تقع نسبة الرطوبة في التربة بين قيمتي السعة الحقلية Field Capacity ونقطة (أو نسبة الذبول الدائم) Permanent Wilting Percentage، والسعة الحقلية للتربة هو محتواها من الماء بعد ابتلالها جيداً وحدوث الرشح وحدوث حالة اتزان وهى ثابته لكل تربة أما نسبة الذبول الدائم فهوى المحتوى المائي الذي تصبح فيه أوراق النبات ذابلة في غرفة ذات جو رطب.

2. تركيز محلول التربة

تقل مقدرة النبات على امتصاص الماء كلما زاد تركيز الأملاح في ماء التربة حيث يقلل ذلك من الجهد المائي لمحلول التربة وتختلف قدرة الأنواع النباتية المختلفة على تحمل الأملاح في ماء التربة.

3. حرارة التربة

يزداد معدل الامتصاص بارتفاع درجة حرارة التربة ويحدث العكس عند انخفاض درجة الحرارة حيث يقل معدل حركة الماء ونفاذية الخلايا ونمو الجذور ويقل النشاط الحيوي.

4. التهوية

يؤدي نقص التهوية وبالتالي قلة الأكسجين إلى نقص معدل الامتصاص لتأثير نشاط التحولات الغذائية بالجذر وقلة معدلات التنفس مع ملاحظة أن هناك بعض الأنواع النباتية تستطيع النمو في وسط مائي.

5. تركيز ثاني أكسيد الكربون

ويؤدي تراكمه إلى تأثير مثبط على عملية الامتصاص.

ب- العوامل الداخلية بالنبات: مثل معدل النتح واختلاف الجهد المائي من التربة إلى النبات وكفاءة النظام الماص (الجذر).

فقد الماء من النبات Loss of Water

يتم فقد الماء من أى جزء نباتي إما على هيئة سائل (الإدماع) أو في صورة بخار وهو ما يعرف بعملية النتح Transpiration وهو الطريق الرئيسي لفقد الماء من النبات وله عدة أنواع منها:

أ- **النتح العديسي:** ويتم من العديسات الموجودة في نسيج البريدرم.

ب-**النتح الأدمي:** وهو عن طريق أسطح خلايا البشرة ويقلل وجود الكيوتيكل من حدوثه بدرجة كبيرة.

ج-**النتح الثغري:** وفيه يتم فقد الجزء الأكبر من الماء من خلال الثغور (انظر تشريح النبات) والتي لها علاقة وثيقة بالنتح وامتصاص الأكسجين وثاني أكسيد الكربون وتميز بميكانيكيات خاصة للفتح والقفل.

حركة الثغور Stomatal Movement

ترجع حركة الثغور (فتح أو قفل) إلى الاستجابة المباشرة للزيادة أو النقص في الجهد المائي للخلايا الحارسة ويؤدي تغيره نتيجة التغيرات الأسموزية إلى حركة الماء إلى الخلايا الحارسة أو خارجها. فعندما تنتفخ تلك الخلايا فإن الثغر ينفتح ويحدث العكس عند ارتخائها نتيجة فقد الماء، وتتم حركة الماء نتيجة حدوث فرق

في الجهد المائي بين الخلايا الحارسة والخلايا المجاورة وتكون الصفات الخاصة بالخلايا الحارسة (سبق دراستها) هى المسئولة عن حدوث فتح وقفل الثغور عند انتفاخها أو ارتخائها ويحدث انفتاح الثغور عادة في وجود الضوء وتقفل في الظلام.

العوامل المؤثرة على معدل النتح

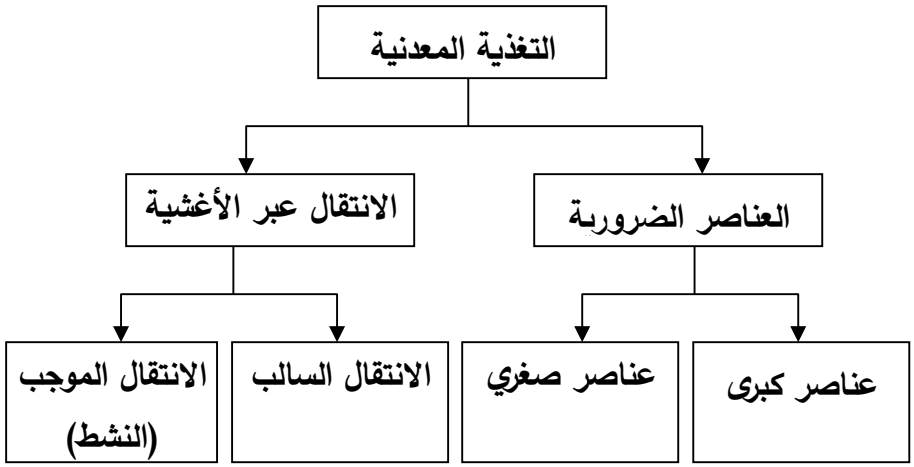
أ- العوامل البيئية

1. **الضوء:** تفتح معظم الثغور إذا عرضت للضوء وتقفل في الظلام.
2. **الحرارة:** عنما تكون الظروف المحيطة بالنبات عادية فإن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي (في حدود الدرجات المحتملة) إلى زيادة معدل النتح نتيجة زيادة معدل البخر.
3. **الرطوبة النسبية في الجو:** يؤدي ارتفاع الرطوبة النسبية في الجو إلى ازدياد ضغط بخار الماء في الجو وبالتالي تقليل البخر وقلة النتح بالتالي.
4. **حركة الهواء:** تزيل حركة الهواء الرطوبة المحيطة بالأوراق مما يزيد من معدل النتح.
5. **محتوى التربة من الماء:** يقل النتح بنقص إمداد الماء من التربة.
6. **تركيز ثاني أكسيد الكربون:** تزداد درجة انفتاح الثغور عند نقص تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو.

ب- العوامل النباتية

1. النسبة بين المجموع الجذري والمجموع الخضري: وجد أن النتح يزداد بزيادة نسبة المجموع الجذري إلى المجموع الخضري Root/ Shoot Ratio أى بزيادة نسبة الأسطح الماصة إلى الأسطح الناتحة.
2. مساحة الورقة: يتبع زيادة مساحة الورقة زيادة في النتح وعندما تنتح النباتات الصغيرة بمعدل أكثر من الكبيرة فهذا راجع إلى أن نسبة المساحة الورقية أكبر في الصغيرة وبالتالي يزداد معدل النتح بها عن الكبيرة.
3. تركيب الورقة: ويؤثر بدرجة كبيرة على النتح فسمك طبقة الكيوتكل من العوامل الهامة كما أن النباتات النامية في بيئات جافة يوجد بها تغيرات تركيبية هامة لتقليل معدل النتح.

التغذية المعدنية للنبات Mineral Nutrition of Plants



بجانب العناصر الرئيسية في المركبات العضوية وهى الكربون والهيدروجين والأكسجين فإنه بتحليل النباتات وجد أنها تحتوي على عدد كبير من العناصر المعدنية المختلفة يربوعلى ستين عنصراً في صور كيماوية مختلفة بعضها فقط يعتبر ضرورياً للنبات.

العناصر الضرورية Essential Elements

بالرغم من وجود هذا العدد الكبير من العناصر في النباتات وكذلك في التربة فإن حوالي 16 عنصر فقط تعتبر من العناصر الضرورية للنباتات والتي تتميز بتوافر عدة شروط منها:

1. إذا كان النبات لا ينمو نمواً عادياً ولا يتم دورة حياته في غيابه.
2. لا يمكن إحلال أى عنصر آخر محله.
3. أن يكون جزءاً من مكون أساسي للنبات أو ناتج أيضي.

وبالنظر إلى العناصر الضرورية (الأساسية) فإن عدد كبيراً منها يشمل الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين والكالسيوم والبوتاسيوم والماغنسيوم والفسفور والكبريت والحديد يحتاجهم النبات بكمية كبيرة نسبيا وبالتالي تسمي العناصر الغذائية الكبري بينما هناك عناصر أخري هى المنجنيز والبورون والنحاس والزنك والموليبدنم والكلورين فإنها عناصر أساسية أيضاً ولكن يحتاجها النبات بكمية أقل لذا يطلق عليها العناصر الغذائية الصغرى.

وهناك بعض العناصر تعتبر نافعة لنمو بعض النباتات دون غيرها ولكنها لا تعتبر عناصر أساسية مثل الصوديوم والسليكون والألومنيوم والكوبلت والنيكل.

العناصر الغذائية الكبرى Macronutrient Elements

تحصل النباتات على الكربون والهيدروجين والأكسجين من البيئة الطبيعية المحيطة بالنبات وهى الهواء والماء لذلك فلا مجال لمناقشتها أما العناصر الأخرى فهى:

النيتروجين: ترجع أهميته أولاً لوجوده في تركيب البروتين كما يدخل في مركبات عضوية أخرى مثل الأحماض الأمينية والنووية وجزئ الكلوروفيل الهام للبناء الضوئي ومركبات السيتوكروم الهامة لعملية التنفس.

وعند نقصه تظهر على النبات أعراض فجائية مثل الاصفرار العام مع تأخر النمو وتبدأ الأعراض في الأجزاء المسنة أولاً لتحرك النيتروجين إلى الأجزاء الحديثة عند نقصه.

الفوسفور: ويكثر في البذور والثمار وترجع أهميته لدخوله في تركيب مركبات عضوية هامة مثل الفوسفوليبيدات والفيتين والأحماض النووية والسكريات المفسفرة وبعض المرافقات الإنزيمية الهامة.

ومن الأعراض التي تظهر عند نقصه (على الأجزاء المسنة أولاً) ظهور اللون الأخضر الغامق أو الأخضر المزرق وظهور صبغات حمراء أرجوانية أو بنية في عروق الأوراق ويقل النمو ويتأخر نضج النبات.

الكالسيوم: ترجع أهميته لدخوله في تركيب الصفيحة الوسطى في الجدار الخلوي وله تأثير على عملية انقسام الخلية ويعمل كمنشط لبعض الإنزيمات كما أنه له دور في إزالة ضرر بعض الأحماض العضوية حيث يكون معها بللورات غير ذائبة.

وتظهر أعراض نقصه مبكرة وتتأثر المناطق الصغيرة أولاً حيث أنه عنصر غير قابل للحركة من المناطق الناضجة فتتلف أو تموت البراعم الطرفية كما قد تتعفن الثمار ويتأثر نمو الجذر بدرجة كبيرة.

الماغنسيوم: يدخل في تركيب جزئ الكلوروفيل ويعمل كمنشط للعديد من الإنزيمات كما يربط بين الريبوزومات عند بناء البروتين.

وتبدأ أعراض نقصه في الأجزاءالناضجة (عنصر متحرك) وتبدو في صورة إصفرار حواف الأوراق وقد يكون الاصفرار على هيئة بقع تنتشر في النهاية

البوتاسيوم: له تأثير على كثير من العمليات مثل التنفس والبناء الضوئي وتكوين الكلوروفيل ولكنه لا يدخل في تركيب أى مركب داخل النبات وله تأثير على ميكانيكية فتح وقفل الثغور.

وعند نقصه قد يظهر لون أخضر غامق على الأوراق (مثل الفوسفور) ولكن مع تكون بقع أو حروق على حافة الورقة وعند شدة نقصه تموت البراعم.

الكبريت: ترجع أهميته لدخوله في تركيب البروتينات ومركبات أخرى هامة مثل بعض المرافقات الأنزيمية والفيتامينات.

وتتشابه أعراض نقص الكبريت مع أعراض نقص النيتروجين (اصفرار وبطء النمو) ولكنها تبدأ في الأجزاء الصغيرة لصعوبة تحركه.

الحديد: ضروري لبناء الكلوروفيل بالرغم من عدم دخوله في تركيبه وله دور هام في التنفس حيث يدخل في تركيب مركبات السيتوكروم وبعض أنزيمات الأكسدة.

ومن العلامات المميزة لنقصه اصفرار الأوراق الصغيرة وقد تظل العروق خضراء من البداية ثم تصفر بعد ذلك.

الغناصر الغذائية الصغرى Micronutrients Elements

الزنك: يلعب دوراً أساسياً في بناء الأكسين خلال دوره في بناء مركب التربتوفان كما يقوم بتنشيط عدد من الأنزيمات ويدخل في تركيب عدد آخر.

ومن أعراض نقص الزنك المميزة (خاصة في أشجار الفاكهة) صغر الأوراق وتوردها نتيجة عدم استطالة السلاميات وقد تصفر الأوراق أو تكون خضراء فاتحة.

النحاس: يلعب دوراً في التأثير على بعض أنزيمات الأكسدة وقد يساعد في تكوين الكلوروفيل، ويدخل في تركيب مركب البلاستوسيانين الهام لعملية البناء الضوئي وله دور هام في عملية تثبيت النيتروجين الجوي.

وتختلف أعراض نقصه حسب النوع النباتي فقد تصفر الأوراق أو تكون خضراء مزرقة ملتفة لأعلى ويكون القلف خشناً به تقرحات ويفرز الصمغ كما يحدث موت لأطراف أفرع الموالح.

المنجنيز: له دور في تكوين الكلوروفيل وأغشية البلاستيدات يقوم بتنشيط عدد من الأنزيمات وله دور في البناء الضوئي وتحولات النيتروجين وهدم الكربوهيدرات.

وغالباً فإن نقصه يؤدي إلى اصفرار المناطق بين التعريق وتظل العروق خضراء وقد تظهر بقع ميته أو تخطيط على بعض الأوراق.

البورون: له أهمية في عملية انتقال الكربوهيدرات وفي تكامل الخلايا وبعض تفاعلات التحولات الغذائية.

ومن أعراض نقصه تلف القمم الطرفية وتصبح النباتات جافة سهلة الكسر وقد تتشوه الأوراق وتتشقق السوق وتتأثر الأزهار بدرجة كبيرة.

الموليبدنم: له دور في تثبيت النيتروجين التكافلي بالبقوليات وفي اختزال النترات إلى أمونيا لبناء الأحماض الأمينية.

وتبدأ أعراض نقصه بإصفرار بين العروق التي تكون خضراء باهته (يشبه المنجنيز) كما تلتف جوانب الأوراق وقد يتحطم النصل في بعض النباتات تاركا شريطاً ضيقاً حول العرق الوسطى.

الكلور: يقوم بتنشيط عملية البناء الضوئي وله دور في تنشيط بعض أنزيمات إضافة ونزع الماء.

وتبدو أعراض نقصه في اللون الأخضر المزرق على الأوراق وتبدو الأوراق في صورة لامعة وبزيادة النقص تأخذ الأوراق لوناً برونزياً مع الذبول.

التغلب على أعراض النقص

يمكن منع أو علاج نقص أى عنصر أساسي بإضافة هذا العنصر وتصحيح النقص بأحد الوسائل الآتية:

1. معاملة التربة (التسميد)
2. معاملة المجموع الخضري (التسميد بالرش)
3. بواسطة طرق الحقن.

الانتقال عبر الأغشية
Transport Across Members

النفاذية Permeability

ويقصد بالنفاذية مرور المواد عبر الأغشية الخلوية وبالطبع فإن المواد المختلفة تظهر درجات مختلفة من النفاذية عبر الأغشية ومن ناحية أخرى فإن الخلايا النباتية تتميز بإحاطتها بالجدار الخلوي الذي يسمح بنفاذ الماء والذائبات بحرية بينما ينظم الغشاء البلازمي وكذا أغشية جسيمات الخلية المختلفة مرور الذائبات وذلك لكي تصبح محتويات الخلية الداخلية منظمة بدقة وحيث يعتبر التميز بين محتويات الخلايا الحية والسوائل المحيطة بها عامل أساسي للإبقاء على الحياة.

حركة الأيونات Movement of Ions

والمشكلة الرئيسية عبارة عن تحرك الأيونات وانتقالها عبر الأغشية الخلوية فمن المعروف أن للأيونات قدرة ضعيفة على النفاذية عبر الأغشية وذلك لكبر حجم الغلاف المائي المحيط بها، ولعدم ذوبانها في الدهون وأهم من ذلك كله وجود الشحنات الكهربائية عليها مما يجعلها تتأثر بالشحنات الأخرى الموزعة في الأغشية وشحنات الأيونات الأخرى المتحركة.

الانتقال السالب والنشط للذائبات

Passive and Active Solute Transport

عند حدوث انتشار لجزئ ما لا يحمل شحنة كهربية مثل جزئ الجلوكوز عبر الأغشية الخلوية فهذا الانتشار يحدث نتيجة لفرق الجهد الانتشاري على جانبي الغشاء لذلك يطلق على هذا الانتشار اتنقال سالب (طبيعي) Passive ولكن عند حدوث انتقال للأيونات أو الجزيئات عبر الأغشية متخطية بذلك قوانين الانتشار المعروفة فهذا ما يطلق عليه الانتقال أو الامتصاص النشط Active، ولذا فإن هذا الانتقال يحتاج إلى توفر قدر من الطاقة Energy ليتم حدوثه ضد فروق التركيز، وهناك كثير من الأدلة المتوفرة على امتصاص وانتقال أيونات العناصر المختلفة عن طريق الانتقال النشط، وقد أوضح العالم Levitt ثلاث أسباب لهذا الاعتقاد هى:

1. زيادة معدلات الانتقال عما كان متوقعاً نتيجة لفرق الجهد الانتشاري والتركيز على جانبي الغشاء.
2. عدم حدوث توازن بين التركيزات على جانبي الغشاء وحدوث ما يعرف بالتراكم Accumulation للأيونات أو الجزئيات أى زيادة تركيزها داخل الخلايا عن تركيزها في الوسط المحيط بدرجة ملحوظة.

3. ارتباط ميكانيكية الانتقال مع نشاط الخلية.

ويحدث كلا الانتقال السالب أو النشط للذائبات من جسيم لآخر داخل الخلية أو من خلية لأخرى أو من محلول التربة لخلايا الجذر وعلى سبيل المثال فإن السكروز الذي يبني داخل البلاستيدات الخضراء أثناء عملية البناء الضوئي ينتقل إلى السيتوبلازم المحيط بالبلاستيدات بالانتشار السالب وذلك لفرق التركيز داخل وخارج البلاستيدة وبنفس الطريقة ينتقل إلى الخلايا المجاورة وكذلك خلال الأنابيب الغربالية وكمثال للانتقال النشط داخل الخلايا ما يحدث لصبغة الأنثوسيانين القرمزية اللون عند انتقالها من السيتوبلازم إلى الفجوة العصارية حيث مكان تراكمها عبر غشاء التونوبلاست.

وللانتقال النشط أهمية بالغة للخلايا الحية حيث يجب أن يتوافر بها العديد من المواد وبتركيزات عالية باستمرار.

ميكانيكيات الانتقال النشط Mechanisms of Active Transport

كيفية حدوث الانتقال النشط بالضبط غير معروفة إلى الآن ولكن هناك عدة احتمالات معروضة بواسطة عدد من العلماء وأهم هذه الاحتمالات هي:

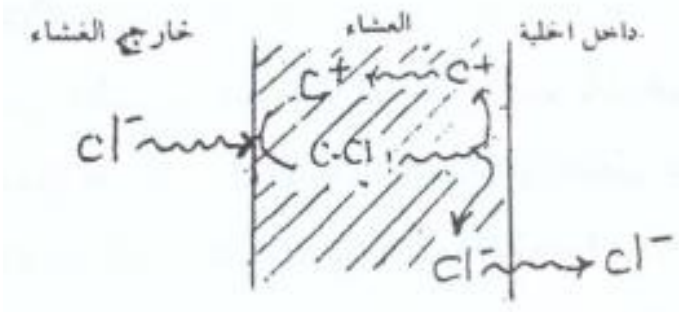
1. انتقال مباشر بجزئيات حاملة Carrier Molecules (نظرية الحوامل Carriers).
2. الانتقال بمساعدة مركبات السيتوكروم (نظرية لوندجارد Lundegardh).
3. انتقال للشحنات ينتج عنه جهد كهروكيميائي Electrochemical Potential

وتعتبر نظرية الحوامل هى أكثر النظريات قبولاً في الوقت الراهن وتفترض اتحاد مع جزئ حامل يختلف معها في الشحنة مما يؤدي إلى معادلتها وتكوين معقد منهما يتحرك عبر الغشاء إلى الجانب الآخر، وتفترض النظرية أن هذه الجزيئات الحاملة عبارة عن أجزاء من مكونات الأغشية نفسها ويختص الحامل بنقل عدد معين من الأيونات، ويوضح شكل (60) كيف تؤدي الحوامل إلى انتقال وتراكم الأيونات داخل الخلية، وفي هذا المثال يتحرك أيون الكلورين (Cl^-) إلى الجانب الخارجي للغشاء حيث يتحد مع الحامل المختص (C^+) ليكونا المعقد C^-Cl وهذا التفاعل يتم بواسطة أنزيم متخصص مرتبط بالجانب الخارجي للغشاء، ثم يتحرك المقعد C^-Cl إلى الجانب الداخلي للغشاء حيث يوجد أنزيم آخر

يؤدي إلى انحلال هذا المعقد إلى مكونيه وانتشار (Cl^-) إلى الداخل بينما يعود الحامل (C^+) إلى الجانب الخارجي مرة أخرى.

ويؤدي ثبات مكان الأنزيمين المشار إليهما إلى تراكم CL^- داخل الخلية لعدم إمكانية الاتحاد مع الحامل مرة أخرى.

وتوضح هذه النظرية كيفية استهلاك الطاقة فكون هذه الحوامل كما سبق القول عبارة عن أجزاء من الغشاء نفسه فقد تكون ذات طبيعة بروتينية وبذا تحتاج إلى الطاقة في تفاعلات الارتباط والانحلال مع الأيونات المنقولة أو قد تكون عبارة عن مركبات فسفوليبيدية مثل مركب الليسثين Lecithen والذي يحتاج معقدة مع الأيون إلى طاقة حتى يحدث له الانحلال عند الجانب الداخلي للغشاء كما أن إعادة بناء الليسثين تحتاج إلى الطاقة.



(شكل 60) رسم تخطيطي يوضح عمل الحوامل

أما النظرية الثانية فقد تقدم بها العالم السويدي لوندجارد Lundegardh الذي أقترح أن الأيونات (الأيونات السالبة) تستطيع المرور خلال الأغشية بمساعدة مركبات السيتوكروم وهى مركبات توجد بالخلايا وتكون نظاماً خاصاً لنقل الالكترونات داخل الخلايا لدخول عنصر الحديد في تركيبها واقترح لوندجارد أن الطاقة اللازمة لإتمام الامتصاص تنتج من تأكسد بعض المركبات الوسطية لعملية التنفس.

أما النظرية الثالثة فترتكز على تكوين أيونات الهيدروجين يد H^+ ، والهيدرونيوم H_3O^+ كناتجات وسطية في عملية التنفس وقد أوضح العالم Fensom أن هذه الكاتيونات صغيرة جداً وسريعة الانتقال مما يجعلها تحدث جهد كهروكيميائي يؤدي إلى انتشار الكاتيونات الأقل تحركاً عبر الأغشية.

التضاد Antagonism

بالرغم من أن محلول أى ملح في صور نقية في الغالب يكون ضاراً بالنبات بغض النظر عما إذا كان هذا الملح مكون من عناصر أساسية Essential أو غير أساسية Non-Essential فإنه عند خلط محاليل عدة أملاح معاً بنسب معينة وليكن محلول NaCl مع محلول $CaCl_2$ مثلاً فإن كلاً من الملحين يضاد Antagonize التأثير الضار للآخر، ويسمى المحلول حينئذ محلولاً متزناً Balanced Solution وفي حين إلا أن ظاهرة التضاد واضحة بين الكاتيونات الأحادية والكاتيونات ثنائية التكافؤ أنها تكون ضعيفة بين الكاتيونات متشابهة التكافؤ.

انتقال الذائبات
The Translocation of Solutes

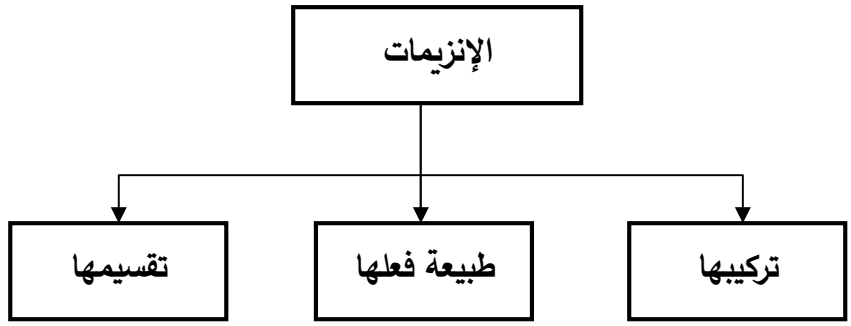
يؤدي التخصص الوظيفي في النباتات الراقية إلى ضرورة انتقال Translocation المواد الغذائية من جزء إلى آخر، حتى تقوم الأعضاء المختلفة بوظائفها بصورة طبيعية فالماء والأملاح المعدنية التي تمتص من التربة تنتقل من الجذر إلى المجموع الخضري كذلك تنتقل مع هذه المواد بعض المركبات العضوية التى قد يكونها المجموع الجذري كذلك تنتقل المكونات العضوية التي تكونها الأوراق نتيجة لعملية البناء الضوئي إلى بقية أعضاء النبات.

وفي بعض التجارب أزيلت حلقة Ring من القلف Bark خارج الخشب في الساق ورغم هذا فإن الأملاح المعدنية وصلت إلى المجموع الخضري أعلى الحلقة مما يدل على أن انتقال العناصر المعدنية يتم خلال الخشب وقد اتضح هذا أيضاً من تجارب أخرى استخدمت فيها النظائر المشعة Radioactive Tracers.

كما أثبتت نتائج تجارب عديدة أن اللحاء هو الطريق الرئيسي لانتقال المواد العضوية ففي أحدي هذه التجارب أزيلت من الساق حلقة كاملة من القلف تحتوي على اللحاء وذلك أسفل الجزء الذي يحمل الأوراق وقد أدى هذا إلى تراكم الكربوهيدرات والمركبات النيتروجينية العضوية أعلى الحلقة لا سيما في القلف الذي يعلوها مباشرة بينما نقصت هذه المواد في الأنسجة الموجودة أسفل الحلقة.

أما بخصوص الحركة الجانبية للذائبات فقد اتضح أن الانتقال الأفقي للذائبات من الخشب إلى اللحاء أو العكس يمكن أن يتم خلال الأشعة الوعائية.

الأنزيمات Enzymes



من أهم النظم الحيوية هذا العدد الهائل من التفاعلات المعقدة التي تتم في نفس الوقت وبالرغم من ذلك فإن هذه التفاعلات الكيميائية الحيوية تتم بصورة منتظمة وبدون حدوث أى تداخل أو اضطراب في الخلايا النباتية المختلفة ويرجع السبب في ذلك لاحتواء الخلايا على منظمات لكل التفاعلات التي تتم بها تفرزها هذه الخلايا يطلق عليها الإنزيمات.

تركيب الإنزيمات

من المعروف أن جميع الإنزيمات تتركب من جزء رئيسي بروتيني يرجع إليه التخصص العالي للإنزيمات ويتأثر بالحرارة. وترتبط بعض الإنزيمات مع جزء آخر غير بروتيني أساسي لعمل هذه الأنزيمات يطلق عليه المرافق الأنزيمي Coenzymes كما يحتاج البعض الآخر إلى أيونات عناصر معدنية خاصة لتنشيط عملها.

ومن أمثلة المرافقات الأنزيمية الهامة:

1. المرافقات الأنزيمية الخاصة بنقل الأيدروجين

ومنها مركبات النيكوتين أميد مثل مركب Nicotinamide Adenine dinucleatide واختصاره NAD ومركب آخر مشابه يزيد عنه بمجموعة فوسفات وهو NADP ومركبات الفلافين مثل مركب Flavine Adenine Dinucleotide واختصاره FAD، وتلعب هذه المركبات دوراً هاماً في عمليات

الأكسدة والاختزال في جميع الخلايا كمستقبلات أو مانحات للأيدروجين والألكترونات وعدد اختزالها تصبح رموزها $FADH_2$, $NADH_2$, $NADPH_2$ على التوالي.

2. المرافقات الأنزيمية الخاصة بنقل الفوسفات

وهى تختص باستقبال ونقل مجاميع الفوسفات، ومن هذه المرافقات مركب Adenosine Triphosphate ويطلق عليه ATP والذي يعتبر من المركبات المخزنة للطاقة وهو يحتوي على ثلاث مجاميع فوسفات ويتحول عند فقد إحداها إلى المركب Adenosine Diphosphate (ADP) والذي يحتوي على مجموعتين فوسفات.

طبيعة فعل الأنزيم

من المعروف أنه لكي يحدث تغير في أى مادة أى يحدث تفاعل لابد من وضع قدر معين من الطاقة في جزيئات هذه المادة لتنشيطها مثل ما يحدث بالتسخين مثلاً وتسمى هذه الطاقة بطاقة التنشيط Energy of Activation وتعمل الأنزيمات على تقليل طاقة التنشيط وعليه يمكن اعتبارها عوامل مساعدة (حيوية) لكنها ذات قدرة كبيرة تفوق أى عوامل مساعدة أخرى غير حيوية وكخطوة أولى لحدوث الفعل الأنزيمي فإنه يجب حدوث اتحاد بين الأنزيم ومادة التفاعل لتكوين معقد منهما يتحلل في خطوة لاحقة إلى الأنزيم وناتجات التفاعل كما بالمعادلة:

$$\text{أنزيم} + \text{مادة التفاعل} \underset{(1)}{\rightleftharpoons} \text{معقد الأنزيم ومادة التفاعل} \xrightarrow[(2)]{} \text{أنزيم} + \text{ناتجات التفاعل}$$

العوامل التي تؤثر على نشاط الإنزيمات

1. تركيز كل من الإنزيم ومادة التفاعل:

يتوقف معدل التفاعل على كمية المعقد الأوسط الذي يتكون في الخطوة (1) في المعادلة السابقة والذي يتوقف بدوره على تركيز كل من مكونيه.

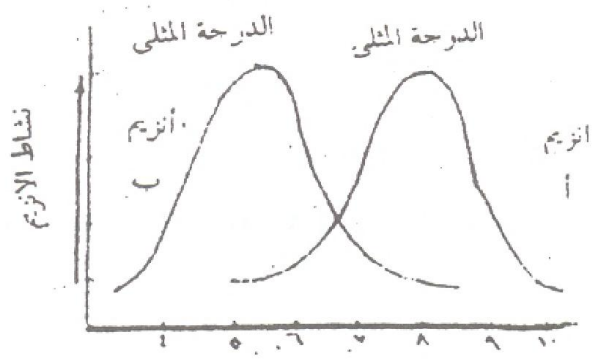
2. درجة الحرارة

وجد أنه في حدود درجات الحرارة الملائمة لحيوية النبات فإن المعامل الحراري (Q10) لمعظم التفاعلات الإنزيمية يتراوح من 2–3 أى أنه برفع درجة

الحرارة 10°م فإن هذا يؤدي إلى زيادة سرعة التفاعل من 2–3 مرات وتظهر هذه القيمة الكبيرة الدور الواضح لدرجة الحرارة في زيادة سرعة التفاعل الإنزيمي.

3. تركيز أيون الأيدروجين (pH)

يلاحظ بصفة عامة أن الأنزيمات تكون نشطة في مدى معين من رقم الحموضة (pH) يختلف من إنزيم لآخر كما يمكن ملاحظة رقم pH أمثل Optimum محدد لكل إنزيم ويقل نشاط الإنزيم برفع أو خفض رقم الـ pH الأمثل بحيث تأخذ العلاقة عند إيضاحها في رسم بياني شكل ناقوس منتظم مختلف من إنزيم لآخر كما يؤثر الارتفاع أو الانخفاض الشديد في رقم الـ pH على طبيعة الأنزيم نفسه (شكل 61).



(شكل 61) تأثير رقم الـ pH على إنزيمين مختلفين

4. ناتجات التفاعل

وجد أن معدل سير التفاعل الإنزيمي عادة ما يصبح بطيئاً بتقدم الوقت وقد يرجع السبب إلى تراكم ناتجات التفاعل بتركيز عالي قد يؤدي إلى تثبيط عمل الأنزيم نفسه أو إلى حدوث انعكاس للتفاعل بدرجة تفوق التفاعل الأصلي.

5. المثبطات Inhibitors

وهى مجموعة كبيرة جداً من المواد يمكنها أن تعوق أو توقف الفعل الأنزيمي قد تكون مواد عضوية أو مواد غير عضوية.

تقسيم الأنزيمات Classification of Enzymes

تقسم الأنزيمات حديثاً إلى ستة مجاميع رئيسية حسب طبيعية التفاعل الذي تقوم به وهى:

أنزيمات الأكسدة والاختزال Oxidoreductases

ويشمل هذا القسم جميع أنزيمات الأكسدة والاختزال وهى مجموعة كبيرة وهامة منها:

أ- **ديهيدروجينيز Dehydrogenases** وهى الإنزيمات التي تؤكسد بنزع الهيدروجين ومنها أنزيم ديهيدروجينيز الكحول ويقوم بالتفاعل:

$$\text{كحول إيثانيل} + NAD \underset{\text{dehydrogenase}}{\overset{\text{Alcohol}}{\rightleftharpoons}} \text{اسيتالدهيد} + NADH_2$$

ب-**الأكسيديز Oxidases:** وتقوم بالأكسدة باستخدام أكسجين الهواء الجوي.

ج- **البيروكسيديز Peroxidases:** وتقوم بالأكسدة باستخدام فوق الأكاسيد

د- **الأكسيجينيز Oxygenases:** وفيها تضاف ذرات الأكسجين إلى مادة التفاعل

2. الأنزيمات الناقلة Transferases

وتقوم بنقل مجموعات معينة من مركب إلى آخر ومنها أنزيمات نقل مجموعة الأمين Transaminases وأنزيمات الفسفرة Kinases وتنقل مجموعة الفوسفات من جزئ لآخر وأنزيمات Mutases وتنقل المجموعة داخل نفس الجزئ ومنها الأنزيمات الناقلة لمجاميع الكربون.

3. أنزيمات التحليل المائي Hydrolases

وهى أنزيمات تقوم بعملية تحليل مائي للمركبات ومن أمثلتها:

أ) أنزيمات تحليل رابطة الأستر Esterases مثل أنزيمات تحليل الدهون:

Lipase

دهن + 3 يد2أ ⟷ جلسرون + 3 أحماض دهنية

ب) أنزيمات تحليل الروابط الببتيدية Peptidases مثل أنزيمات تحليل البروتين ومنها البيسين.

ج) إنزيمات تحليل الرابطة الجليكوسيدية مثل محللات الكربوهيدرات

سكر مالتوز + يد$_2$ أ ⟷ (مالتيز) 2 جزئ جلوكوز

د) أنزيمات تحليل مجاميع الفوسفات Phosphorases

4. الأنزيمات النازعة Lyases

وتقوم بنزع مجموعات معينة من مادة التفاعل وتترك ورائها رابطة زوجية مثل أنزيمات نزع الماء مثل:

ك أأيد– كيد2– ك يد أ يد ⟵(Fumaras) أأيد – ك يد = ك يد– ك أأ يد + يد2 أ

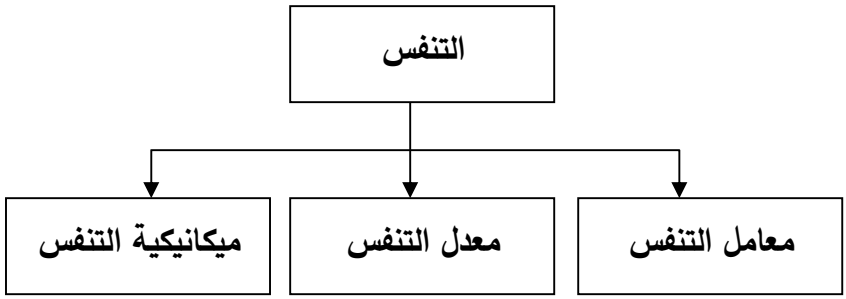
حمض ماليك — حمض فيوماريك

5. أنزيمات المشابهات Insomerases

وهى الأنزيمات التي تغير أحد مشابهات مركب ما إلى المشابه الآخر

6. أنزيمات البناء Ligases: وتعمل على ارتباط جزئين معاً.

التنفس Respiration



عملية التنفس من أهم العمليات الحيوية التي تحدث في الخلايا الحية وعن طريقها يتمكن الكائن الحي من الحصول على الطاقة اللازمة لحياته وذلك عن طريق أكسدة المواد الغذائية وتتم عملية الأكسدة هذه في وجود الأكسجين عادة وينطلق غاز ك أ$_2$ والماء.

$$\text{ك}_6\text{يد}_2\text{أ}_6 + 6\text{أ}_2 \xrightarrow{\text{تنفس هوائي}} 6\text{ ك أ}_2 + 6\text{ يد}_2\text{ أ} + \text{طاقة}$$

(جزئ جلوكوز)

وعند تمام أكسدة جزئ الجلوكوز في وجود الهواء يكون حجم ك أ2 الناتج مساوياً لحجم الأكسجين الممتص كما في المعادلة السابقة وهذه العملية تتم على عدة مراحل وهى تحدث طول الوقت ليلاً ونهاراً.

وإذا تمت العملية في غياب الأكسجين يؤدي ذلك إلى تراكم نواتج وسطية لعمليات التحليل مثل تكوين كحول الإيثايل وك أ2 وينطلق قدر ضئيل من الطاقة وتعرف في هذه الحالة العملية بالتنفس اللاهوائي.

ويمكن للخلية الحية أكسدة مصادر مختلفة من المواد الغذائية مثل الكربوهيدرات (السكر) أو الدهون أو البروتينات أو الأحماض العضوية لإنتاج الطاقة في عملية التنفس وتتوقف التفاعلات التي تتم في كل حالة على نوع المادة المستخدمة.

ويمكن الاستدلال على حدوث عملية التنفس بالآتي:

1. خروج غاز ك أ2 (والكحول أو النواتج الوسطية في حالة التنفس اللاهوائي).
2. نقص الوزن الجاف نتيجة أستهلاك مادة التنفس.
3. انطلاق الطاقة أثناء التنفس.

معامل التنفس Respiratory quotient (RQ)

يعرف معامل التنفس بأنه النسبة بين حجم CO_2 المنطلق أثناء التنفس إلى حجم الأكسجين الممتص في العملية ($CO_2:O_2$) ويختلف معامل التنفس حسب نوع المادة المستهلكة أثناء التنفس ونوع التنفس (هوائي أو لا هوائي) فمثلاً بالنسبة لاختلاف مادة التنفس نذكر الآتي:

أ- المواد الكربوهيدراتية ($C_6 H_{12}O_6$) عند الأكسدة الكاملة الهوائية يكون كمية $CO_2=O_2$ كما يتضح من المعادلة المعطاة سابقاً وبذلك يكون معامل التنفس 6/6= 1.

ب-عند استهلاك المواد الدهنية كمادة للتنفس فإن معامل التنفس يكون أقل من الوحدة حيث أن الجزئ يحتوي على نسبة عالية من الكربون إلى الأكسجين، وعلى ذلك يحتاج الجزئ إلى O_2 خارجي بكميات كبيرة لكي يؤكسد جميع ذرات الكربون الموجودة فيه وبذلك تقل قيمة معامل التنفس عن الوحدة.

مثال:

ك18 يد24أ2 + 25.5أ2 ⟵ 18 ك أ2 + 17 يد2 أ + طاقة

معامل التنفس = 25.5 / 18 = 0.7 (أقل من الوحدة)

ج-الأحماض العضوية: وهذه الأحماض غنية في محتواها من الأكسجين وبالتالي يحتاج الجزئ إلى كمية قليلة منه وبذلك تزداد قيمة معامل التنفس.

مثال:

ك أ أ يد – ك يد أ يد – ك أ أ يد + 3 أ 2 ⟵ 4 ك أ2 + 3 يد أ2

حمض ماليك

معامل التنفس = ¾ = 1.33 (أى أكبر من الوحدة)

وبالإضافة إلى ما سبق يتأثر معامل التنفس بتغير درجة الحرارة وتركيز الأكسجين وك أ 2 حول النسيج.

معدل التنفس Rate of Respiration

وتقاس سرعة التنفس (معدل التنفس) بتقدير الأكسجين الممتص أو ثاني أكسيد الكربون المنفرد أثناء العملية في فترة زمنية محددة على أساس الوزن الجاف ويستخدم عادة حمض البيروجاليك لامتصاص الأكسجين بينما يستخدم أيدروكسيد الصوديوم أو البوتاسيوم لامتصاص CO_2 في مثل هذه التجارب.

وهناك جملة عوامل تؤثر في سرعة عملية التنفس الهوائي أهمها ما يلي:

1. نسبة الماء في النسيج

كلما قلت نسبة الماء في النسيج النباتي (كما في البذور) كلما قل بالتالي معدل التنفس إلى أن يصل إلى قيمة لا تكاد تذكر (البذور الجافة تماماً) وذلك يفسر طول عمر البذور الجافة أى الفترة التي تحتفظ فيها هذه البذور بحيويتها حيث تصل لمدد طويلة جداً ربما مئات وآلاف السنين.

2. درجة الحرارة

أن عملية التنفس عملية حيوية يتم في أثناءها تفاعلات كيمائية حيوية وعلى ذلك فإن تأثير الحرارة على عملية التنفس يشبه تماماً تأثير الحرارة على التفاعلات الكيميائية (التفاعلات الإنزيمية) وتكون قيمة المعامل الحراري (Q10) تساوي 2–2.5.

3. المادة المستهلكة في التنفس:

فكلما زاد تركيز السكريات الأحادية الذائبة (جلوكوز) زاد بالتالي معدل التنفس.

4. تركيز الأكسجين في الجو الخارجي:

يختلف تأثير الأكسجين في الجو الخارجي على عملية التنفس تبعاً لدرجة التركيز ونوع النسيج المعرض ومدة التعريض وبعض الظروف الأخرى.

وعموماً لا يتأثر معدل التنفس كثيراً بتغير نسبة الأكسجين من 20% (الجو الطبيعي) إلى 5% أما إذا نقص تركيز الأكسجين عن 5% فإن معدل التنفس يرتفع لحدوث التنفس الهوائي واللاهوائي جنباً إلى جنب وذلك لإمداد النبات بكمية ثابتة من الطاقة لابد من انطلاقها.

5. تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو الخارجي

يقل معدل التنفس بارتفاع نسبة ك أ 2 حول النسيج النباتي وتستخدم هذه الخاصية في حفظ الخضروات والفواكه أثناء شحنها دون أن يطرأ عليها أى تغير كبير نتيجة لقلة معدل التنفس بها عند زيادة نسبة ك أ 2.

6. الضوء:

يؤدي الضوء إلى زيادة طفيفة في معدل عملية التنفس ففي النهار تكون عملية البناء الضوئي أسرع كثيراً من عملية التنفس (حوالي 8 أمثالها) وعلى ذلك فإن ك أ2 الناتج من التنفس وحده لا يكفي لتمويل عملية البناء الضوئي لتجري بالسرعة العادية وتؤدي سرعة سحبه في العملية الأخيرة هذه إلى زيادة محدودة في التنفس.

7. تأثير الجروح:

فمن المعروف أن معدل التنفس يزداد عند حدوث الجروح في الأنسجة النباتية وهذه الزيادة تكون مصحوبة بزيادة نسبة السكر في النسيج المصاب.

8. الحالة البروتوبلازمية:

فالأنسجة الغنية بالبروتوبلازم (الخلايا المرستيمية) عادة عالية جداً في معدل تنفسها عن الخلايا البالغة.

9. التنفس عند ارتفاع نسبة الأملاح Salt Respiration

لاحظ بعض العلماء أن معدل التنفس يزداد بدرجة ملحوظة عند وضع النبات أو النسيج النباتي في محلول ملحي بدلاً من الماء.

10. التأثير الميكانيكي Mechanical Stimulation

لاحظ بعض العلماء أن بعض الأنسجة النباتية يرتفع معدل تنفسها باللمس أو ثنى أوراقها.

ميكانيكية التنفس Mechanical of Respiration

سبق أن ذكرنا أن المحصلة النهائية في عملية التنفس الهوائي عند أكسدة جزئ جلوكوز هي:

$$C_2H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 674 \text{ big erg}$$

وهذه المعادلة تمثل مجموع خطوات عديدة من التفاعلات تنطلق أثنائها الطاقة على دفعات صغيرة كل دفعة منها تمثل مرحلة من مراحل انتاج الطاقة لتستفيد منها الخلية أولاً بأول، حيث أن الخلية الحية لا تتحمل انفراد هذا القدر الكبير من الطاقة على دفعة واحدة وهذه التفاعلات الكيميائية تمثل سلسلة طويلة تبدأ بجزئ الجلوكوز (في حالة استخدامه كمادة تنفس طبعاً) وتنتهي بثاني أكسيد الكربون والماء مارة بالعديد من المركبات الوسطية وفي أثناء الأكسدة الجزئية لجزئ الجلوكوز ينزع من الجزئ ذرات أيدروجين عن طريق مرافقات أنزيمية تقوم باستقبال ذرات الأيدروجين الناتجة أثناء الأكسدة وأهم هذه المرافقات الأنزيمية FAD, NADP, NAD وفي الخطوات النهائية تنقل ذرات الأيدروجين (أو الإلكترونات) من هذه المواد الوسطية إلى مركبات السيتوكروم المختلفة والتي تنتهي بأكسدة المركب النهائي منها بواسطة الأكسجين الجوي في وجود أنزيم سيتوكروم أكسيديز Cytochrome Oxidase وكل خطوة من هذه الخطوات عبارة عن تفاعل حيوي يتم بواسطة أنزيم متخصص له وفي وجود المرافق الأنزيمي الخاص به، وقد تم عزل الكثير من هذه الإنزيمات وأمكن تحديد دورها الحقيقي في التفاعل بعد دراستها دراسة وافية، ومن تراكم هذه المعلومات تم وضع النظريات والدورات الخاصة بسلسلة التفاعلات الكيمائية التي يتضمنها هدم جزئ الجلوكوز في عملية التنفس.

وتنقسم عملية التنفس عادة إلى مرحلتين:

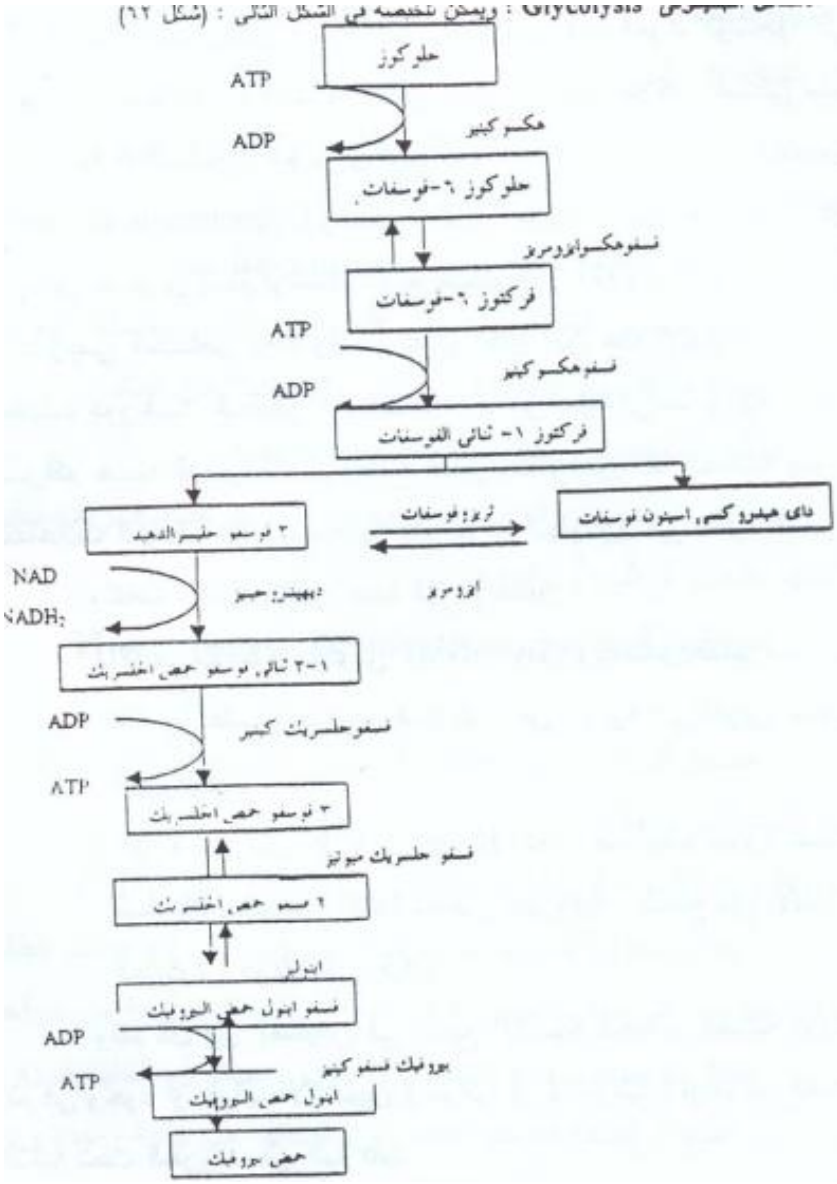
1) الانحلال الجليكولي Glycolysis ويتضمن التغيرات التي تطرأ على جزئ الجلوكوز من البداية إلى تكوين حمض البيروفيك.
2) دورة كربس Kerbs Cycle وتعرف أيضاً بدورة حمض الستريك وتتضمن أكسدة حمض البيروفيك الناتج من الانحلال الجليكولي هوائياً إلى H_2O + CO_2.

وتتم كل من العمليتين في جميع الأنسجة الحية والعملية الأولى تتم في وجود أو غياب الأكسجين (هوائياً أو لا هوائياً) بينما تتم العملية الثانية تحت الظروف الهوائية فقط.

وتحسب الطاقة الناتجة عادة في صورة جزئيات من المركبات ATP حيث أنه يمثل الصورة التي تختزن عليها الطاقة في الخلية واحتواء الخلية على نسبة عالية منه يمثل مستوى عالي من الطاقة في هذه الخلية.

وبتتبع حساب الطاقة في دورة الانحلال الجليكولي نلاحظ أن جزئ واحد من الجلوكوز يحتاج إلى اثنين من جزئيات ATP بينما ينطلق اثنين من هذه الجزيئات (واحد عند تحويل 1، 3 ثنائي فوسفور حمض الستريك إلى 3- فوسفو حمض الجلسريك والثاني عند تحويل فوسفو أينول حمض البيروفيك إلى

الانحلال الجليكولى Glycolysis: ويمكن تلخيصه فى الشكل التالى: (شكل 62)



حمض أينول البيروفيك) لكل جزئ واحد من 3 فوسفو جلسرالدهيد (أى نصف جزئ جلوكوز) أى أربعة جزيئات ATP لكل جزئ جلوكوز كما أن أكسدة 3 فوسفو جلسرالدهيد إلى 1، 3 ثنائي فوسفو حمض الجلسريك ينتج عنها تكوين جزئ واحد من $NADH_2$ أى أن جزئ الجلوكوز ينتج عنه جزيئين $DADH_2$ وحيث أن هذا المركب الأخير يتأكسد بواسطة نظام السيتوكروم وينطلق عن ذلك ثلاث جزيئات ATP لكل جزئ واحد من $NADH_2$ وبالتالي ينتج من جزئ واحد من الجلوكوز ستة جزئيات ATP في هذه المرحلة ويكون إجمالي جزيئات ATP الناتجة = 6+ 4= 10−2 (استهلكت في التفاعل)= 8 جزيئات ATP وواضح أن هذا قدر محدود جداً من الطاقة حيث أن الأكسدة غير تامة.

تحولات حمض البيروفيك

يتكون حمض البيروفيك كما سبق كناتج مشترك في كل من عمليتي التنفس الهوائي واللاهوائي. وفي الظروف اللاهوائية فإنه ينتج عنه عادة مركبات مثل كحول الإيثايل (في التخمر التحولي) أو حمض اللاكتيك (في التخمر اللاكتيكي) كنواتج أساسية نهائية حسب نوع الكائن الحي.

التخمر الكحولي Alcohol Fermentation

ويتم بواسطة خلايا الخميرة وبعض الكائنات اللأخري كما يحدث أيضاً في النباتات الراقية عند غياب الأكسجين ويتضمن المراحل التالية:

ك يد3–ك أ– ك أ أ يد ⟵(دى كربوكسليز) ك يد3 – ك يد أ – ك أ2

حمض بيروفيك — (اسيتالدهيد)

ك يد2 ك يد أ + $NADH_2$ ⟵(ديهيدروجينيز) ك يد2 – ك يد2 أ يد+ NAD

اسيتالدهيد — كحول إيثانول

ومرافق الإنزيم المختزل $NADH_2$ الذي يدخل في التفاعل يأتي من خطوة سابقة في تفاعلات الانحلال الجليكولي (أكسدة الجلسرالدهيد إلى حمض الجلسريك).

التخمر اللاكتيكي Lactic Fermentation

ويتم هذا النوع بواسطة بعض أنواع البكتريا وفي أنسجة العضلات في الحيوان.

ك يد3–ك أ– ك أ أيد+ $NADH_2$ ⟵ ك يد3– ك يد أ يد– ك أ أ يد+ NAD

حمض بروفيك حمض لاكتيك

وفي حالة كل من التخمر الكحولي أو التخمر اللاكتيكي تقل الطاقة الناتجة عن تحلل جزئ واحد من الجلوكوز بمقدار يساوي 6 جزئيات من ATP عن الطاقة الناتجة من الانحلال الجليكولي السابقة (8 جزيئات ATP) أى أصبح 8 – 6 = 2 جزئ ATP.

أكسدة حمض البيروفيك هوائياً

Aerobic oxidation of pyrvic acid

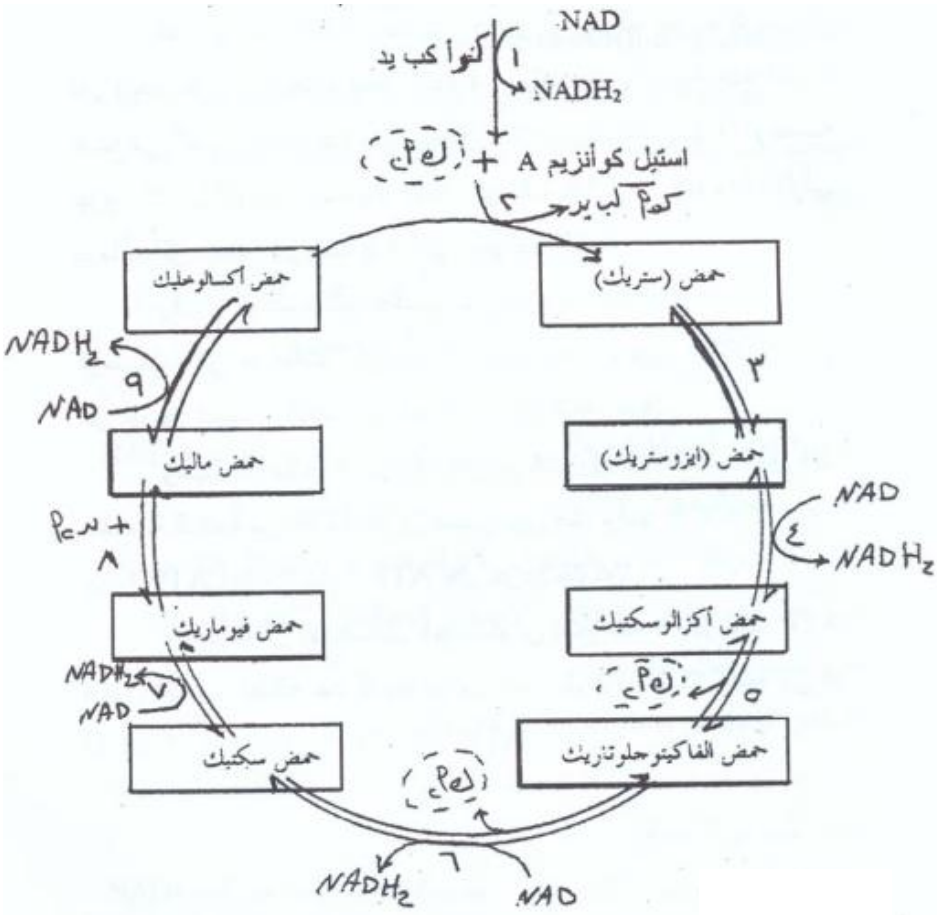
تتم خطوات الأكسدة هذه عن طريق ما يعرف بدورة كربس أو دورة حمض الستريك (أنظر الدورة) ويتضح من دراسة هذه الدورة أنه في أثناء دورة واحدة منها ينطلق ثلاثة جزيئات من ك أ2 وخمسة جزيئات $NADH_2$ ويستهلك ثلاثة جزيئات يد2 أ في المرحلة الأولى بينما ينطلق خمسة جزيئات يد2 أ في المرحلة الثانية.

وفي الواقع تتم الأكسدة بنزع ذرات أيدروجين من المركبات الوسطية إلى مرافقات الأنزيمات المستقبلة للأيدروجين NAD وليس عن طريق استخدام الأكسجين الجزيئي مباشرة كما سبق.

وحيث أنه ينتج 5 جزيئات من مركب $NADH_2$ كما سبق فإنه الطاقة الناتجة من أكسدة جزئ حمض بيروفيك واحد = 5 × 3= 15 جزئ ATP أى 30 جزئ ATP لكل جزئ جلوكوز.

وحيث أن الانحلال الجليكولي ينتج عنه 8 جزيئات ATP فيكون إجمالي الطاقة عند أكسدة جزئ واحد جلوكوز أكسدة كاملة إلى ك أ2، يد2 أ= 8 + 30= 38 جزئ ATP.

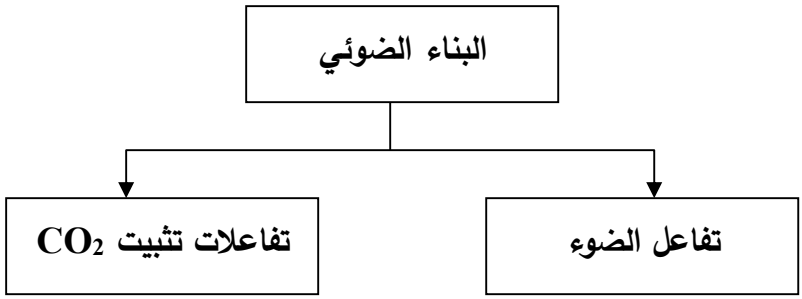
(شكل 63): دورة حمض الستريك Citric acid cycle
(حمض بيروفيك)



إنزيمات الدورة

1- بيروفات أكسيديز
2- أنزيم تكثيف
3- أكونيتيز
4- أيزوسترات ديهيدروجينيز
5- اكزالوسكسنيات ديكربوكسيليز
6- الفاكيتوجلوتاريك اكسديز
7- سكسينيك ديهيدروجينيز
8- فيوماريز
9- ماليك ديهيدروجينيز

البناء الضوئي Photosynthesis

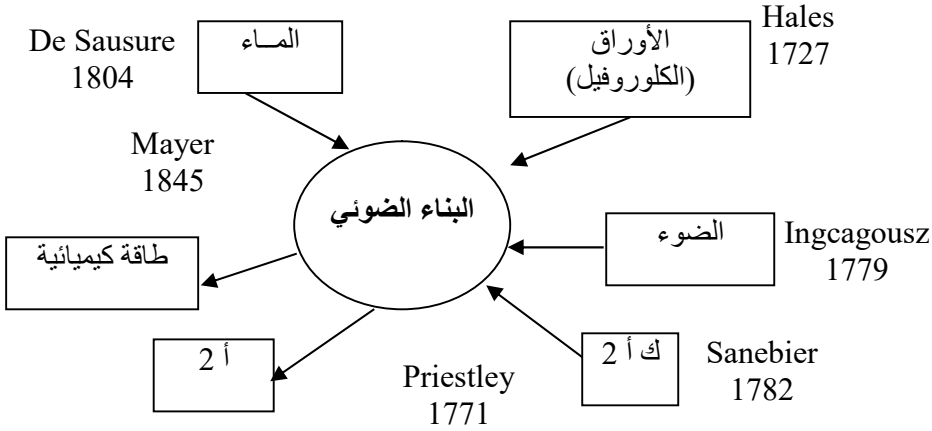


مع بداية القرن الثامن عشر بدأت عملية البناء الضوئي في اجتذاب اهتمام عدد من الباحثين نجحوا في إماطة اللثام عن الأساسيات التي تقوم عليها هذه العملية (شكل 64) ومع استمرار البحث عرفت تفاصيل كثيرة تتعلق بميكانيكيات هذه العملية وتفتح الطريق للمزيد من البحث في أهم عملية حيوية يقوم بها النبات على سطح الأرض وتتوقف عليها حياة بقية الكائنات من ناحية الهواء والغذاء.

ويمكن بيان عملية البناء الضوئي في أبسط صورها بالمعادلة التالية:

$$\text{ك أ}_2 + \text{يد}_2\text{أ} \xleftarrow[\text{كلوربلاستيدة}]{\text{طاقة ضوئية hv}} (\text{ك يد}_2\text{أ})_N + 2\text{أ}$$

(التغير القياسي في الطاقة الحرة ΔGO = 114.8 كيلو كالوري

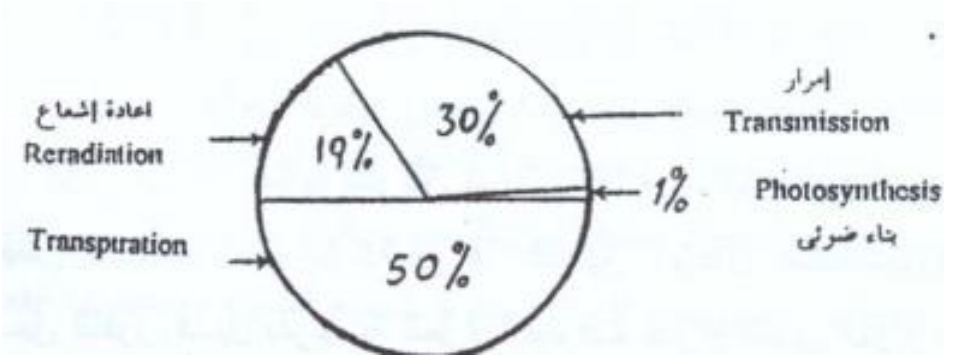


(شكل 64) مساهمة العلماء القدامي في كشف الدعائم التي يقوم عليها البناء الضوئي

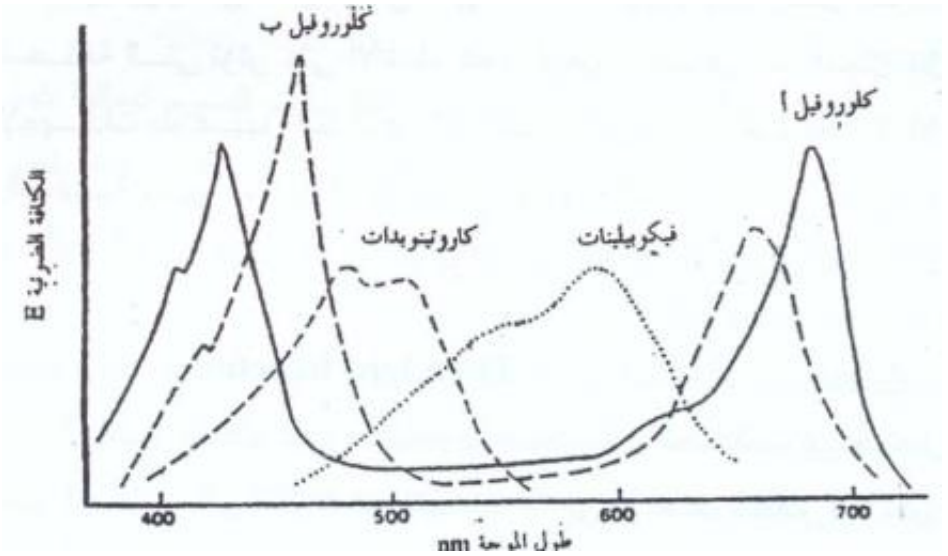
صبغات البناء الضوئي Photosynthetic Pigments

تحتوي جميع كائنات البناء الضوئي عامة على الكلوروفيل Chlorophyll الذي يميزها باللون الأخضر غير أن صوراً محددة منه من نوع كلوروفيل أ (كل أ) ورمزه الكيميائي ك55 يد72 أ 5 ن4 مغ هى الحرجة في تفاعل الضوء وتعرف بالصبغة الابتدائية Primary Pigment أما الصبغات الأخرى التي تلعب دوراً رئيسياً في امتصاص الضوء فتعرف بالصبغات المساعدة Accessory Pigment وأهمها في النباتات الراقية والطحالب الخضراء كلوروفيل ب (كل ب) والكاروتينويدات Carotenoids التي تشمل الكاروتينات Carotenoids (برتقالية) مثل B-carotene، والزانثوفيلات Xanthophylls (صفراء) مثل الليوتين Leutein وفي الطحالب الزرقاء المخضرة والحمراء الفيكوبيلينات Phycoblins ومنها الفيكوارثرين Phycoerythrin (حمراء) والفيكوسيانين Phycocyanin (زرقاء) وتوجد الصبغات عامة داخل الكلوربلاستيدة أو في مساحات محددة من البروتوبلاست في بعض أنواع الطحالب وبكتريا البناء الضوئي.

وتمتص الصبغات الضوء حسب الأطوال الموجبة المميزة لذروة (أ ت) طيف امتصاصها Absorption Spectrum وتعمل الصبغات المساعدة على اتساع مدى الأطوال الموجيه الممتصة وتقليل ضعف الامتصاص في الفراغ الأخضر شكل (65) كما تسمح ببعض التخصص النباتي مع ظروف خارجية معينة بما يعرف بالتكيف اللوني Chromatic Adaptation مثلما يحدث في الطحالب التي تنمو على أعماق كبيرة في البحار حيث تقوم الفيكوبيلينات بامتصاص الضوء الأزرق الذي يسود في مياه هذه الأعماق.



(شكل 66): ما يحدث للإشعاع الشمسي الساقط على سطح ورقي



(شكل 66): طيف الامتصاص لبعض صبغات البناء الضوئي

يتكون الضوء عند انبعاثه أو تداخله مع المادة من فوتونات Photons وتعرف الطاقة التي تحملها الفوتون بالكوانتم أو الكمة وهى تساوي hv.

وتنقل الصبغات المساعدة الطاقة الضوئية بكفاءة قد تصل إلى 100% كما في حالة انتقال الطاقة بين كل ب وكل أ حتى تصل إلى مركز التفاعل Reaction Center والذي يقوم بتجميع الضوء ويحدث به الفعل ضوء كيميائي عندما يتحرر الكترون وتنفصل الشحنة بالتقاطه بمستقبل الكترون.

والإشعاع الممتص إما أن يدخل في التفاعلات الضوء كيميائية كما سبق أو يفقد جزء منه كحرارة نتيجة تحوله إلى طاقة حركية في الجزيئات الممتصة أو قد ينبعث جزءاً منه كإشعاع مرئي بطول موجي أكبر عادة بظاهرة التوهج الوقتى Fluorescence أو بظاهر التوهج الفسفوري Phosphorescence ويمكن مشاهدة ذلك في الحالة الأولى عند تسليط شعاع ضيق من الضوء الأبيض على محلول مركز من الكلوروفيل فنجده يظهر باللون الأحمر.

وتؤثر على تخليق صبغات البناء الضوئي بعض العوامل تشمل الجانب الوراثي الذي قد يحجب هذا البناء فتنتج بادرات خالية من الكلوروفيل Albino تموت بعد استنفاذ غذاء الجنين أو البذرة أو تنتج نباتات خالية من الكاروتينويدات

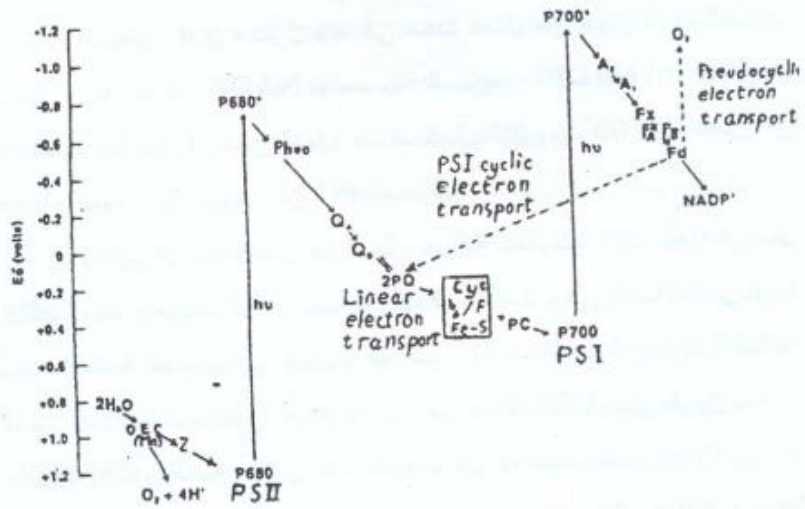
وهي الصبغات المسئولة عن الحماية من الأكسدة الضوئية بالإضافة إلى دورها في امتصاص الضوء فلا تستمر طويلاً وتموت.

ويعتبر الضوء ضرورياً في تخليق الصورة النهائية لجزئ الكلوروفيل في النباتات باستثناء حالات معينة وبدونه تظهر النباتات صفراء تعرف بالنباتات الشاحبة etiolated كما يحدث عند إنماء البادرات في الظلام، وعند التعرض للضوء تكتسب هذه النباتات اللون الأخضر بسرعة ومن العوامل الأساسية الأخرى في بناء الكلوروفيل الأكسجين والمواد الكربوايدراتية والنيتروجين والمغنسيوم والأخيران يدخلان في تركيب الجزئ أيضاً ويلعب الحديد وبعض العناصر الصغري دوراً رئيسياً في تخليق الكلوروفيل إما لعملها كمرافق إنزيمي كما في حالة الحديد وارتباطها ببعض التفاعلات المشتركة في هذا التخليق. وكأى عملية حيوية يتأثر تخليق الكلوروفيل بدرجة الحرارة فيتوقف خارج المدى الحراري لهذه العملية ويسير بأعلى معدل له في مدى 26–30°م ولا يجب إغفال العوامل المختلفة التي تؤثر على الأنشطة الفسيولوجية للنبات في هذا المجال مثل الإجهادات بنوعيها الذي يشمل الأمراض والحشرات والتطفل والمنافسة وغير الحيوي الذي يتضمن الإجهاد المائي والملحي والحراري هذا بالإضافة إلى الآثار الضارة للملوثات في الهواء والماء والتربة.

تفاعل الضوء The Light Reaction

يعتبر تفاعل الضوء الميزة الخاصة بخلايا البناء الضوئي حيث أن أغلب التفاعلات التي تشترك في تثبيت ك أ2 (تفاعل الظلام) لا تكون قاصرة على نفس الخلايا والوظيفة الأساسية لتفاعل الضوء هو إنتاج قوة تمثيلية بشكل حوامل أيضية شبه ثابتة للطاقة (ATP, NADPH) لازمة لتمثيل ك أ2 في تفاعلات تالية ويتفق حالياً على أن جهاز تفاعل الضوء في النباتات الراقية والطحالب الخضراء يتكون من نظامين ضوئيين هما النظام الضوئي الأول Photosystem I (PSI) والنظام الضوئي الثاني PSII ويميز كل نظام معقد حصاد ضوئي لالتقاط الضوء ومركز تفاعل وسلسلة نقل الكتروني تابعة للنظام ويتعاون النظامان من خلال ارتباطهما بمعقد سيتوكروم Cytochrome b_6/f والذي يتضمن أيضاً بروتينات– حديد– كبريت ريزكة Rieske بأن يستخلص PSII الكترونات فقيرة في الطاقة من الماء بميكانيكية تتصل بمركز تفاعله تطلق الأكسجين ويرفع مستوى الطاقة لهذه الالكترونات ليمدها إلى PSI الذي يتعاقب معه في زيادة

طاقة الإلكترونات ليتمكن من إنتاج المختزل القوى NAD pH عند نهايته (شكل 67).



(شكل 67): صيغة حديثة لتخطيط Z الذي افترضه Hill & Bendall (1960) بعد إقتراحهما عمل النظامين الضوئيين في تسلسل

فعند امتصاص طاقة الضوء بواسطة صبغات PSII وانتقالها المتعاقب خلالها تنتقل هذه الطاقة من كل أ 672 إلى P680 مركز تفاعل هذا النظام فترتفع طاقة الإلكترون المثار به لتصبح كافية لإختزال أول مركب اختزال أكسدة بسلسلة نقل الالكترون لهذا النظام وهو الفيوفتين Pheophtin (Pheo) (صورة من كل أ وذرتي يد بها بدلاً من مغ) وباستقبال هذا المركب للألكترون يتم فصل الشحنة وتكوين P680 وPheo وحدوث الفعل ضوء كيميائي وتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية. وتمرر الالكترونات بعدها على المستقبلات الالكترونية الكينونية التالية QA, QB والبلاستوكينون Plastoqunone (PQ) الذي ينتشر جانبياً ليمنح الكترون إلى معقد سيتوكروم b_6/f والذي يمرره إلى البلاستوسيانين Plastocyanin (PC) ويترك P680 بذلك موجباً ليصبح عاملاً مؤكسداً قوياً جداً (وربما الأقوى المعروف في الأنظمة الحيوية) قادراً على استخلاص الكترونات من الماء عن طريق معقد اطلاق الأكسجين Oxygen Evolving Complex (OEC) (الذي يحتوي على المنجنيز وفي وجود كل من

الكالسيوم والكلور) فمركب Z الذي يقوم بإمدادها إلى $P680^+$ ليصبح مستعداً لإثارة أخرى.

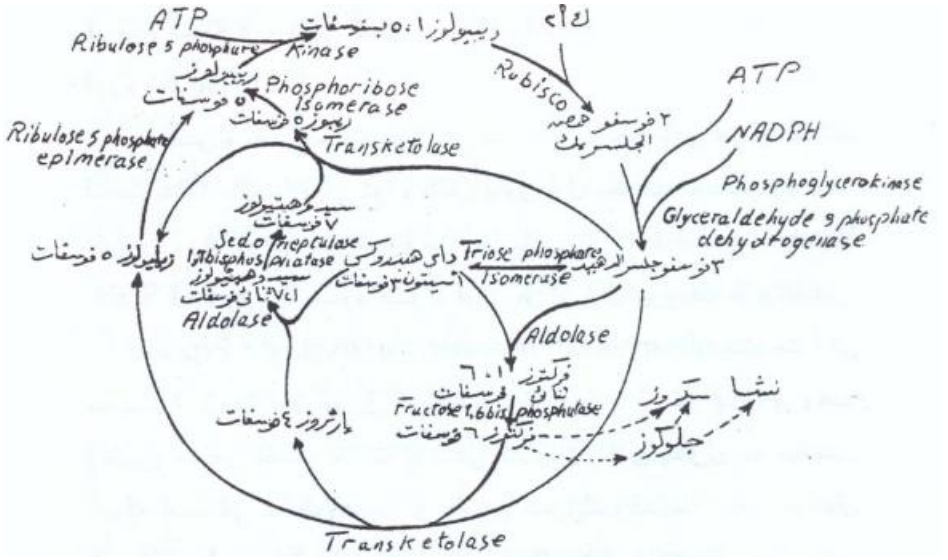
ومشابهاً لذلك يتم حدوث فصل شحنة مسير ضوئيا في PSI بعد امتصاص صبغاته لطاقة الضوء وتعاقب انتقالها لتحول في النهاية من كل أ 683 إلى مركز تفاعل هذا النظام P700 وليصبح لألكترونه المثار القدرة على اختزال AD أول مستقبل بسلسلة النقل الالكتروني لهذا النظام وهو صورة من كل أ وكينون بينما يترك P700 مؤكسداً. ويمر الالكترون بعدها عبر الحوامل الأخرى شاملة A1 (فيتامين K1) وتسلسل من مراكز حديد– كبريت يتضمن F_A, F_x و/ أو F8 والأخيران هما المستقبلان النهائيان للألكترون، فالفريدوكسين Ferredoxin (Fd) الذي يوجد في الستروما ويعتبر أقوى مختزل كيميائي محدد فصل من جهاز البناء الضوئي فيقوم بإختزال $NADP^+$ بواسطة أنزيم Feredoxin $NADP^+$ Oxidoreducase وفي النهاية يتم استكمال الكترون $P700^+$ الناقص عن طريق السحب الالكتروني من PC المختزل.

ويقوم البلاستوكينون من خلال حركته المكوكية أثناء عمله في نقل الالكترونات بتحريك البروتونات من الجانب السترومي للغشاء الذي توجد به الأنظمة الضوئية إلى الجانب الفراغي له مخلفاً مع البروتونات الناتجة من أكسدة الماء منحدراً بروتونياً يبنى من خلاله ATP عن طريق معقدي CF_1, CF_0 ويطلق على هذه الفسفرة التي تصاحب انسياب الالكترونات عبر النظامين بالفسفرة الضوئية غير الدائرية Non-Cyclic Photophosphorytation أو الخطية Linear كما تعرف الفسفرة التي تحدث عند عودة الالكترونات من $P700^+$ المثار عبر الفريدوكسين إلى PQ لتعود مرة أخرى إلى $P700^+$ بدون اختزال $NADP^+$ بالفسفرة الضوئية الدائرية Cyclic أما عند تحويل الالكترونات من Fd إلى الأكسجين الجوي في حالة اختزال جميع مخزون $NADP^+$ فتعرف الفسفرة التي تصاحب ذلك بالفسفرة الضوئية الدائرية الكاذبة Pesudocyclic ويؤدي هذا النوع من الانسياب الالكتروني إلى تكوين سوبر أكسيد O_2^- وهو أحد المصادر الحرة Free Radicals الضارة بالنبات.

تثبيت ثاني أكسيد الكربون CO_2 Fixation

تستخدم الطاقة الناتجة من تفاعل الضوء سواء للمختزل القوى NADPH أو مركب نقل الطاقة ATP في التفاعلات الخاصة بتمثيل ك أ$_2$ لإنتاج المواد الكربوايدراتية وبقية المركبات التي تستخدم في بناء النبات وفي عملياته الحيوية،

ويعرف الطريق الذي يتم من خلاله تثبيت ك أ$_2$ وتسلسل المركبات به والأنزيمات التي تعمل عليها بدوره اختزال الكربون للبناء الضوئي Photosynthetic Carbon Reduction Cycle (PCR) أو دورة كالفن Calvin شكل (68).



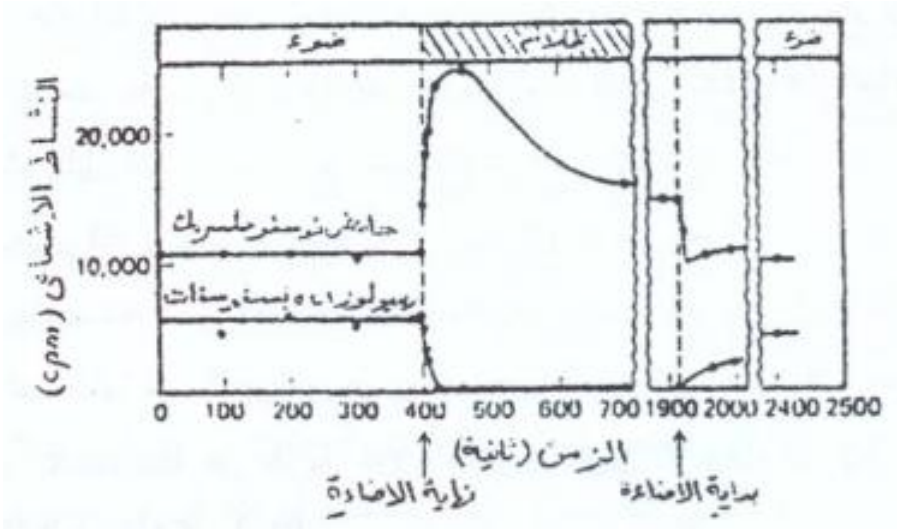
(شكل 68): دورات إختزال الكربون للبناء الضوئي (Bassham and Calvin, 1957)

وفي هذه الدورة يقوم أنزيم ريبيولوز 1، 5 بيفوسفات كربوكسيليز– أكسجينيز Ribulose 1.5 Bisphosphate Carboxylase Oxygenase (Rubsico) بتثبيت ك أ2 باستخدام السكر الخماسي المستقبل ريبيولوز 1، 5 بيفوسفات عن طريق تفاعل كربكسلة لتكوين مركب وسطي 6 كربون غير ثابت يتحلل بسرعة لتكوين أول مركبات الدورة وهو حمض فوسفوجلسريك Phosphoglyceric Acid (PGA) وتستخدم الدورة 6 جزئيات ك أ2 لتكوين 12 جزئ فوسفات التريوز وهذه تستخدم 10 منها في تجديد 6 جزئيات من المستقبل ويبقى جزيئان (يمكن اعتبارهما جزئ فركتوز 6 فوسفات) هما حصيلة الدورة التي تستهلك في ذلك 12 جزئ NADPH و18 جزئ ATP.

ويمكن إيضاح العلاقة بين تفاعل الضوء وهذه الدورة من دراسة التغيرات في عابرات الحالة الثابتة Steady State Transients شكل (69).

فعند تعريض نبات يجري عملية البناء الضوئي إلى حالة ظلام ظهر أن PGA يزداد بسرعة ثم يثبت بينما تقل نسبة المركب المستقبل ريبيولز 1، 5 بيفوسفات في نفس الوقت ثم تثبت كذلك وعند إعادة الإضاءة يسلك المركبان سلوكاً عكسياً لتعود مستوياتهما بعدها إلى حالتهما الأولى، ويمكن تعليل ذلك بأنه عند الإظلام يتوقف تفاعل الضوء ومنتجاته بما ينعكس على دورة اختزال الكربون عند نقطة اعتمادها على هذه النواتج وهو التفاعل الخاص باختزال PGA فيؤدي ذلك إلى تراكم نسبة عالية منه على حساب نقص مستقبل ك أ2 الذي يكونه. وعند الإضاءة تعود الدورة إلى العمل مرة أخرى من نقطة توقفها.

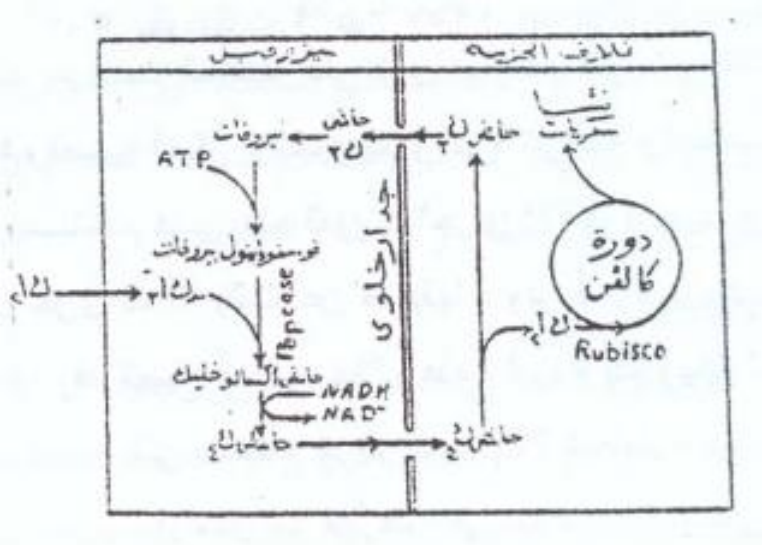
وتعرف الآن النباتات التي تثبت ك أ2 عن طريق دورة اختزال الكربون أو دورة كالفن بنباتات ك3 لكون أول مركب يتكون بها ثلاثي الكربون وتمييزاً لها عن النباتات التي تستخدم دورة أخرى لتثبيت ك أ2 بالإضافة إلى هذه الدورة ومن أمثلة نباتات ك 3 القمح وفول الصويا والبرسيم الحجازي وبنجر السكر والبسلة والسبانخ.



شكل (69): تأثير الضوء والظلام على تركيز حامض فوسفوجلسريك وريبولوز 1، 5 بفوسفات (عن Bassham and Calvin 1957)

دورة ك4 C4 Cycle

في منتصف الستينات تم تحديد دورة جديدة في بعض النباتات لتثبيت ك أ2 بالإضافة إلى دورة كالفن يكون أول ناتجاتها أحماض رباعية الكربون، وقد عرفت هذه الدورة من أجل ذلك بدورة ك4 أو دورة Hatch and Slack وفيها يقوم أنزيم فوسفو أينول بيروفات كربوكسيليز Phosphenol pyrovate carboxylase (Pepcase) بتثبيت ك أ$_2$ في خلايا الميزوفيل عن طريق كربكسله بيتا لمركب فوسفو أينول بيروفات وتكوين حامض أكسالو خلات الرباعي الكربون والذي يختزل بسرعة لعدم ثباته إما إلى حامض ماليك أو حامض اسبرتيك وكلاهما 4 ك. وبانتقال الحامض إلى خلايا غلاف الحزمة Bundle Sheath يحدث عكس الكربكسلة Decarboxalation لتحرير ك أ 2 ليكون بتثبيته أنزيم Rubisco عن طريق دورة كالفن التي توجد بهذه الخلايا شكل (70).



(شكل 70): تخطيط عام لدورة ك4 لتمثيل الكربون في البناء الضوئي

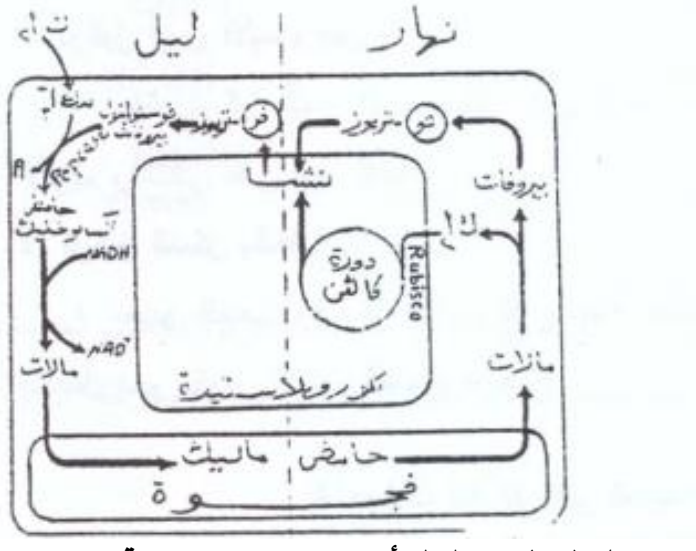
وقد عرفت النباتات التي ترى بها هذه الدورة بنباتات ك4 ومن أمثلتها الذرة وقصب السكر والسورجم والذرة الرفيعة والقطاف Atriplex وغيرها ويستخدم في هذه الدورة 2 جزئ ATP لتجديد جزئ المستقبل وبالتالي لكل جزئ ك أ 2 يثبت عن طريقها. ولو أنه لا يوجد تثبيت صافي للكربون بها وقد اتضح أنه من خلال هذه الدورة يتم زيادة تركيز ك أ2 من القيم المنخفضة التي يستطيع أنزيم Pepcase التعامل معها إلى قيم أعلى قد تصل إلى 10 أمثال ما هو عليه

في نباتات ك3 فيمكن بذلك لإنزيم Rubisco العمل من خلالها مما يدعم معدلات أعلى للبناء الضوئي بها. يترتب عن ذلك بعض الإسهامات الأيضية الأخرى والتي تميز نباتات ك 4 مثل انعدام التنفس الضوئي Photorespiration الذي يحدث كنتيجة للنشاط الأكسجيني لأنزيم Rubisco ويؤثر بالسلب على حصيلة البناء الضوئي. وقلة نسبة النتح وعدم التشبع الضوئي وارتفاع درجة الحرارة المثلى للبناء الضوئي وانخفاض نقطة تعويض ك أ2 مما يجعل نباتات ك4 تتفوق تحت بعض المتغيرات البيئية.

أيض النباتات العصارية

Crassulacean Acid Metabolism (CAM)

تتميز هذه النباتات ومن أمثلتها الودنه Kolanchoe ونباتات أخرى في عائلات متنوعة بأن ثغورها تقفل تقريباً أثناء النهار لتفادي فقد الماء بينما تفتح أثناء الليل لتثبيت ك أ2 بواسطة أنزيم Pepcase باستخدام الطاقة الناتجة من تحليل الكربويدرات المخزنة (النشا) وتكوين المالات (حمض الماليك) وتخزينه في الفجوة العصارية وفي النهار يتم نزع كربكسلة المالات بعد استعادتها من الفجوة ويجري في نفس الخلية تثبيت ك أ2 الناتج بواسطة أنزيم Rubisco عن طريق دورة كالفن وتكوين كربويدرات (نشا) باستخدام طاقة الضوء شكل (71). كما يحدث في الخلية اثناء الليل عندما تفتح الثغور لإدخال ك أ2، وأثناء النهار عندما تقفل الثغور للحفاظ على الماء.



شكل (71): تخطيط لأيض النباتات العصارية CAM

ونتيجة لذلك تكون حصيلة الطاقة المكتسبة من هذه العمليات ضئيلة لفقد جزء منها في بناء أحماض ك4 مما يجعل تمثيلها الكربوني اليومي ½ نباتات ك3، ½ نباتات ك4 وينعكس بالتالي على النمو البطئ الذي يميز هذه النباتات.

البناء الضوئي في الكائنات الدقيقة

يستخدم اصطلاح البناء الضوئي الآن للدلالة على أى أسلوب يتم الحصول به على الطاقة اللازمة لحياة كائن من الضوء. ويمكن تمثيل ذلك في حالة الكائنات الدقيقة ببكتريا الكبريت الخضراء وبكتريا اللاكبريت الخضراء والبكتريا الأرجوانية التي تثبت ك أ2 بدون انتاج أ2 المصاحب وذلك باستخدام عامل اختزال آخر بدلاً من الماء مثل يد 2 كب الذي يؤكسد إلى كبريت في وجود الضوء.

ك أ2+2يد2 كب ←ضوء— 6 كب 2+ ك6يد12 أ6 + 6يد2 أ

وعلى الجانب الآخر تستخدم أنواعاً أخرى الضوء لتثبيت بعض المغذيات العضوية وليس ك أ2 مثل الخلات والمالات بدون الحاجة للاختزال في هذه الحالة ومن أمثلتها أنواع أخرى من البكتريا الأرجوانية ويمكن أن ينظر لهذه العملية على أنها عملية عكس تخمر مسيرة ضوئياً.

البناء الكيميائي ضوئي Chemosynthesis

وفيه يقوم الكائن الحي بتفاعلات كيميائية للحصول على الطاقة من بيئته كما في أغلب البكتريا. وتقوم البكتريا في هذه الحالة بإدماج ك أ2 بنفس عملية البناء الضوئي في النباتات إلا أنها لا تحتاج إلى الضوء ولكن تحصل على الطاقة اللازمة من الأكسدة المصاحبة لمادة غير عضوية مثل أيونات الحديدوز ح2^{+} أو كبريتوز الأيدروجين أو غاز الأيدروجين أو الأمونيا أو النيتريت ن أ2– أو النترات ن أ^{3} – كما يحدث في بكتريا النتروزوموناس والنيتروباكتر وبكتريا *Thiobacillus thioxydans* والأخيرة تحصل على الطاقة من أكسدة يد2 كب (بواسطة الأكسجين) لتثبيت ك أ2 وتستخدم الأيدروجين الناتج لإدماجه إلى كربوايدرات كما يلي:

يد2كب +أ2 ←يد2 أ+ كب 6 ك أ2+ 12يد 2 كب ←ك6 يد12أ6 + 6كب2 + 6يد2 أ

العوامل التي تؤثر على البناء الضوئي والإنتاجية

يتأثر البناء الضوئي وبالتالي الإنتاجية بجموعة من العوامل الوراثية والبيئية فالأولى تتحكم فيما يختص بالورقة من ناحية الشكل والتركيب والمكونات والأيض والثانية تتعلق بتأثيرات الضوء، ك أ2 والحرارة وماء التربة والتغذية والعلاقات التنافسية والملوثات. ولوجود عدة عوامل تتحكم في البناء الضوئي وتداخل هذه العوامل فيما بينها استخدم مبدأ العامل المحدد Principle of Limiting Factor الذي وضعه Blackmann مستعيناً بقانون ليبج Liebig للنهاية الصغرى Law of minimum والذي ينص على أنه عندما يتأثر معدل بعدة عوامل مستقلة فإن أقل العوامل توافراً هو الذي يحدد هذا المعدل.

الضوء

تعرف نقطة التعويض الضوئي Light Compensation Point بأنها الإضاءة التي يتساوى فيها ك أ2 الممتص في عملية البناء الضوئي مع ك أ2 الناتج من التنفس أى يكون معدل التبادل يساوي صفرا وعند زيادة الإضاءة عن ذلك يزداد معدل العملية حتى الوصول إلى التشبع الضوئي (ليصبح ك أ2 غالباً عندها عاملاً محدداً). بالرغم من أن نقطة التعويض الضوئي لنباتات ك3، ك4 غالباً في نفس المدى إلا أن نباتات ك4 لا تصل بتاتاً إلى درجة التشبع الضوئي لمميزاتها السابقة.

تركيز ك أ2: يبلغ تركيز ك أ2 في الجو 0.03% بالحجم وهو تركيز ضئيل يقل عن مستوى التشبع بهذا الغاز (حوالي 15%) وبذلك يكون غالباً عاملاً محدداً للبناء الضوئي لنباتات ك3 بينما تظهر أغلب نباتات ك4 تشبعاً على مستويات ضئيلة أو أكثر قليلاً من تركيزات الجو المعتادة، وقد اتضح أن معدل البناء الضوئي لا يتحدد بتركيزات ك أ2 الجوي ولكن بتركيزه داخل الخلية أو بإمداده عند موقع الكربسكلة والذي تحكمه عدد من العوامل التي منها توافر نواتج تفاعل الضوء وبالتالي توافر المستقبل. وقد ثبت حدوث ارتفاع في تركيزه ك أ2 الجوي خلال الستون سنة الماضية بمقدار 70 جزء في المليون على الأقل نتيجة الأنشطة الإنسانية مما سيفيد بوضوح بناء ضوئي ك3 لزيادة مادة تفاعل الكربكسلة وتقليل التنفس الضوئي من خلال عامل المنافسة مع الأكسجين ولو أن نباتات ك4 بمميزاتها السابقة قد تستمر في الاحتفاظ ببعض الأفضلية نتيجة ارتفاع الحرارة بتأثير الدفيئة المصاحبة لذلك.

درجة الحرارة:

يتأثر البناء الضوئي كأى عملية حيوية بدرجة الحرارة لاعتماد التفاعلات الأنزيمية الكيميائية على هذا العامل والذي ينعكس على ارتفاع قيمة المعامل الحراري Q_{10} الدال على عدد المرات التي يزيدها معدل عملية بزيادة قدرها 10°م.

ويظهر أن الخواض الحرارية للبناء الضوئي لنباتات ك3، ك4 المعروفة بتحكم فيها منحنيات الاستجابة الحرارية لإنزيمي Pepcase Rubisco، على التوالي كما يعزى حساسية بناء ضوئي ك4 للحرارة المنخفضة لعدم التنشيط الذي يحدث لأنزيم بيروفوسفات داى كينيز بهذا العامل.

ماء التربة

يلعب الماء الميسور دوراً قاطعاً في عملية البناء الضوئي والإنتاجية. تحت ظروف الإجهاد المائي ينخفض معدل العملية وقد يتوقف كلية تحت النقص المائي الحاد. ويؤثر العامل المائي في هذا الشأن على نواح كثيرة منها غلق الثغور ونقص إمداد ك أ2 وبالتالي تقليل ضغط الانتفاخ في خلايا الورقة والذي يقلل بالتالي الامتداد الورقي، وعند استمرار هذا الإجهاد يؤدي ذلك إلى نقص المساحة السطحية للبناء الضوئي وتتفوق في هذا المجال نباتات ك4 على نباتات ك3 من ناحية البناء الضوئي تحت هذه الظروف بسبب كفاءة استخدام الماء التي تميزها.

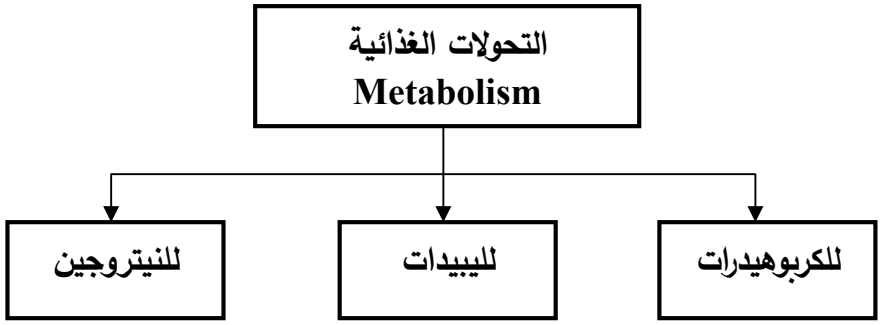
الإمداد الغذائي والحالة المرضية والملوثات

يسبب نقص العناصر الأساسية عامة نقصاً في معدل البناء الضوئي وخاصة بالنسبة لإمداد النيتروجين لكونه يدخل في تركيب الكلوروفيل والحوامل الإلكترونية وجميع الإنزيمات وخاصة Rubisco الذي يشكل أكثر من نصف النيتروجين الكلي بورقة ك3، هذا وتتأثر كفاءة البناء الضوئي بالحالة المرضية وتقل تحت تأثير ملوحة التربة والملوثات البيئية مثل يد2 كب وأكاسيد النيتروجين والأوزون الأرضي والعناصر الثقيلة.

عوامل الورقة:

يتحكم شكل الورقة ومساحتها وعدد الأوراق وطبيعة سطحها في كفاءة اعتراض الضوء وتعرف نسبة مساحة الأوراق التي تقوم بالبناء الضوئي إلى المساحة الأرضية المغطاة بدليل المساحة الورقة Leaf Area Index (LAI) والذي يتراوح في الأنظمة البيئية الزراعية المنتجة من 3–5 وتساعد ظاهرة تغير توجيه الورقة مع تغير زاوية الشمس والتي تعرف بالانتحاء الشمسي

Heliotropism في تعظيم الحصيلة الكربونية اليومية في النباتات التي تجري بها وخاصة ذات الدورات القصيرة التي تتفادى بها الظروف غير المواتية. وعلى الجانب الآخر يؤثر المحتوى الكلوروفيلي للورقة على عملية البناء الضوئي وخاصة في المراحل الأولى والأخيرة لحياة النبات مما يشير إلى أهمية بعض معاملات منظمات النمو التي تجري لإطالة عمر الأوراق الخضراء في زيادة حصيلة البناء الضوئي وإنتاجية النبات. ويوضح الرقم البنائي في هذا المجال والذي يبين كمية ك أ2 الممتص/ ساعة جم كلوروفيل كفاءة الصبغة بين الأنماط الأيضية المختلفة للبناء الضوئي وداخل النمط الواحد تحت الظروف المختلفة.



التحولات الغذائية في الكربوايدرات
Carbohydrate Metabolism

تشكل الكربوايدرات 50–80% من الوزن الجاف لمعظم النباتات وقد تكون في صورة غذاء مخزن أو تدخل مباشرة في تركيب أجزاء النبات المختلفة، وهى عبارة عن جزيئات تتركب من الكربون والأيدروجين والأكسجين والرمز العام لها (ك يد2 أ)N. وقد يدخل في تركيبها عناصر أخرى مثل الفوسفور أو النيتروجين ويمكن تقسيم الكربوايدرات إلى:

أ) سكريات بسيطة

وهذه لا ينتج عن تحليلها مائياً أى سكريات أبسط منها وتسمى أيضاً السكريات الأحادية Monosacchairdes لهذا السبب ومنها ما يحتوي على ذرتين كربون (جليكولوز) وهو أصغر جزئ سكر، ومنها ثلاثية ذرات الكربون Trioses مثل الجلسرالدهيد ومنها Tetroses وحتوي على 4 ذرات كربون مثل الأيثروز ومنها ما يحتوي على خمسة ذرات كربون Pentoses مثل الزيلوز والأرابينوز والريبوز وأهمها التي تحتوي على ستة ذرات كربون Hexoses مثل الجلوكوز والمانوز والجلاكتوز وهكذا إلى عشرة ذرات كربون.

ب– سكريات متعددة (محدودة العدد) Oilgosaccharides

وهذه السكريات تتحلل مائياً إلى سكريات بسيطة بواسطة التحليل المائي وتعتبر نواتج التكثيف الأولى للسكريات البسيطة ومن أمثلتها:

السكريات الثنائية مثل السكروز (Fractose B.D-2, glucose D-X-I)

والسكريات الثلاثية مثل سكر الرافينوز وغيرها

ج) عديدة التسكر Polysaccharides

وهى نواتج تكثيف السكريات الأحادية المرتبطة مع بعضها وعند التحليل المائي ينتج عنها وحدات من السكريات الأحادية ومنها البنتوزان Pentosans والوحدة فيها عبارة عن سكر ذو خمس ذرات كربون مثل مركب الزيلان. والهكسوزان Hexosans والوحدة فيها ذات ست ذرات كربون ومثلها الجلوكوزان ومن أفرادها النشا والجليكوجين والسليلوز والوحدة فيها عبارة عن سكر الجلوكوز.

د) المواد البكتينية

وهى مجموعة من المركبات المشتقة من الكربوايدرات وتتكون أساساً من سلسلة طويلة مستقيمة وغير متفرعة من حمض الجلاكتيورنيك (حمض البكتيك) ومجموعة الكربوكسيل لهذا الحمض قد تكون معظمها مرتبطة برابطة استر مع كحول الميثيل (بكتين) أو مرتبطة مع معادن أخرى مثل الكالسيوم والمغنسيوم (مكونة أملاح البكتات).

هـ) الصموغ والمواد المخاطية

وهى صور أكثر تعقيداً وتشبه إلى حد ما المواد البكتينية ومنها الهيميسيلولوز.

و) المشتقات النيتروجينية للكربوايدرات

ومن أمثلة هذه المركبات الشيتين Chitin الذي يوجد في بعض الفطريات والحشرات.

بناء وتحليل النشا:

تبني الأنسجة النباتية الحية جزئ النشا من وحدات من جلوكوز 1- فوسفات بفعل لإنزيم α- جلوكوزان فسفوريليز والذي يسمى أيضاً فسفوريليز النشا ويعمل على ربط جزيئين من استر الجلوكوز ونزع جزئ حمض فوسفوريك لكل رابطة واحدة جليكوسيدية.

ويستمر التفاعل عند الطرف المحتوى على مجموعة فوسفات (بين 1، 4) وهكذا كما في المعادلة:

$$\alpha[\text{glucose–1– phosphate} + \text{Acceptor} \xrightleftharpoons{\text{Starch phosphorylase}} \text{Amylose} + n(\text{pi})$$

إلى أن يتكون سلسلة طويلة من هذه الوحدات. وعند تحليل جزئ النشا تحدث عكس العملية تماماً، ويتم ذلك بواسطة أنزيمات الأميليز. كما سبق وكذلك بواسطة أنزيم الفوسفوريليز الذي يعطي جلوكوز الفوسفات.

وهناك عدة عوامل تؤثر على تحولات الكربوايدرات أهمها:

1- درجة الحرارة

من المعروف أن درجة الحرارة المنخفضة (الثلاجة) تشجع على تحليل النشا وارتفاع نسبة السكريات الذائبة. ويحدث هذا عند تخزين البطاطس في الثلاجة لمدة طويلة حيث يلاحظ ارتفاع نسبة السكر بها ويكون ذلك على حساب محتواها من النشا بينما التخزين على درجة حرارة الغرفة يؤدي إلى العكس.

2. المحتوي المائي

عند نقص الماء في الأوراق في معظم النباتات تذبل نتيجة لذلك ويتحول معظم النشا بها إلى السكر ويؤدي المحتوى المائي العالي في أوراق النبات إلى زيادة النشا بها والعكس صحيح.

3. تركيز أيون الأيدروجين

يؤثر تركيز أيون الأيدروجين على درجة الحموضة التي يعمل فيها الأنزيم وبالتالي على سير التفاعل.

4. تركيز السكر بالخلية

من المعروف أنه عند ارتفاع نسبة السكر الذائب في الخلية يتجه التفاعل نحو تكوين النشا والعكس صحيح.

التحولات الغذائية في الليبيدات
Lipid Metabolism

الليبيدات Lipids مجموعة غير متجانسة من المركبات ذات محتوى مرتفع من الكربون والأيدروجين تشترك في صفة عدم ذوبانها في الماء وفي أنها تذوب في المذيبات العضوية مثل الكحول والأسيتون والبنزين وغيرها. وبعض هذه المركبات هامة كغذاء مخزن (مثل الدهون Fats والزيوت Oils) كما تشترك في مكونات الأغشية الخلوية (الفوسفوليبيدات Phospholipids- والجليكوليبيدات

Glycolipids) بينما نجد مجموعة أخرى منها توفر الغطاء الواقي للنبات وهو ما يعرف بالكيوتكل.

1. الدهون والزيوت Fats and Oils

وتعرف أيضاً بثلاثي الجلسريدات Triglycerides وهى تتشابه كيميائياً وتختلف في أن الدهون تكون صلبة على درجة حرارة الغرفة بينما الزيوت في حالة سائلة. وتتركب كل من الدهون والزيوت من سلاسل طويلة من الأحماض الدهنية ترتبط بواسطة مجموعة الكربوكسيل الوحيدة بها مع مجاميع الأيدروكسيل في كحول ذو ثلاث ذرات كربون وهو الجليسرول Glycerol بروابط أستر.

$$\begin{array}{lcl} CH_2OH & & CH_2O-COR_1 \\ | & & | \\ HCOH & + \quad 3R-COOH \longrightarrow & HCO-COR_2 \\ | & & | \\ CH_2OH & & CH_2O-COR_3 \\ \text{Glycerol} & \text{Fatty acid} & \text{Triglyceride} \end{array}$$

حيث R_1, R_2, R_3 عبارة عن سلاسل الكربون لثلاث أحماض دهنية وهى التي تحدد عادة الخواص الطبيعية والسيولة ودرجة الذوبان لهذه المركبات.

الشموع Waxes

وهى عبارة عن أسترات لأحماض دهنية طويلة السلسلة مع كحولات ذات سلاسل طويلة وحيدة الأيدروكسيل.

الفسفوليبيدات Phospholipids

وتشبه في تركيبها الدهون فيما عدا استبدال أحد الأحماض الدهنية بحمض فسفوريك الذي يرتبط بمركبات تحتوي على النيتروجين تعرف بالقواعد النيتروجينية مثل الكولين والإيثانول أمين والسيرين والرمز العام لها هو:

$$\begin{array}{l} CH_2O-CO-R_1 \\ | \end{array}$$

$$H - CO - CO - R_2$$
$$\begin{array}{l} | \qquad\quad O \\ CH_2O - P - N \\ \quad\quad | \\ \quad\quad OH \end{array}$$

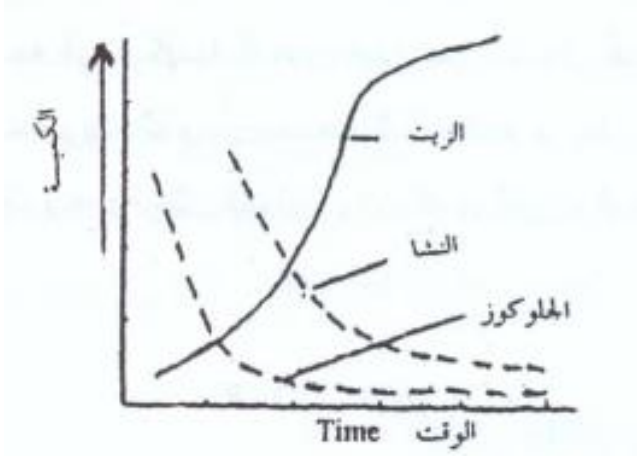
حيث N تمثل القاعدة النيتروجينية

4. الجليكوليبيدات Glycolipids

وهى عبارة عن دهن ترتبط فيه مجموعة الأيدروكسيل الطرفية للجليسرول بسكر (غالباً الجالكتوز) عن طريق رابطة جليكوسيدية.

بناء الدهون Fat Synthesis

من المعروف أنه أثناء تكوين البذور وحدوث تراكم للدهون والزيوت بها يزداد انتقال السكريات إليها كما وجد أن السكريات وصور الكربوهيدرات الأخرى المخزنة داخل البذور تختفي مع زيادة تركيز الدهون والزيوت أنظر الشكل (72) ولقد اتضح بالفعل أهمية المواد الكربوايدراتية لبناء الدهون حيث يتكون الجليسرول من أحد المركبات الوسطية الناتجة أثناء دورة الانحلال الجليكولي وهو داى هيدروكسي أسيتون فوسفات.



شكل (72): التغير في مستوى الكربوهيدرات والدهون (الزيت) أثناء نضج البذور

التحولات الغذائية للنيتروجين
Nitrogen Metabolism

أصبح من المعروف منذ القرن التاسع عشر أن غالبية النباتات تحصل على احتياجاتها من النيتروجين من التربة، ولقد أظهرت الأبحاث الحديثة أهمية ودور النيتروجين للنبات كما اتضحت صور النيتروجين الصالحة لإفادة النبات. ومع أن معظم النباتات تحتوي على 1–2% من وزنها الجاف من النيتروجين فإن كمية هذا العنصر لا يفوقها في النبات سوى كمية عناصر الكربون والأكسجين والأيدروجين، ومعظم النيتروجين يوجد في البروتينات والأحماض الأمينية كما يوجد النيتروجين في مركبات أخرى عديدة.

ويمكن دراسة تحولات هذه المركبات بواسطة النباتات كما يلي:

1. تحول النيتروجين إلى أمونيا (تثبيت النيتروجين الجوي)

وتتم هذه العملية بواسطة بكتريا العقد الجذرية داخل هذه العقد ولقد وجد أن نظام التثبيت في العقد يتشابه مع نظام التثبيت في البكتريا الحرة المثبتة للنيتروجين وهى بكتريا الأزوتوباكتر Azotobacter ويقوم بهذه العملية أنزيم معقد يسمى نيتروجينيز Nitrogenase ويقوم بعملية تحويل النيتروجين إلى أمونيا في عدة خطوات.

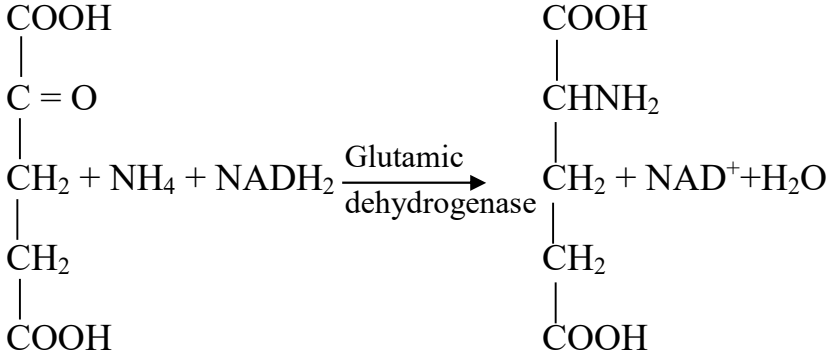
2. تحول النترات إلى أمونيا

من المعروف أن النيتروجين الموجود في المركبات العضوية بالنبات مثل الأحماض الأمينية يكون في صورة مختزلة لذلك فإنه من الأهمية بمكان حدوث اختزال لأيونات النترات ن أ3– إلى أمونيا ن يد4 + قبل دخولها في هذه المركبات وتتم هذه العملية في سلسلة من الخطوات وأولها عبارة عن اختزال النترات إلى نتريت ن أ2–.

3. تحول الأمونيا إلى نيتروجين عضوي

من المعروف أن كل حمض أميني يحتوي على مجموعة كربوكسيل (– ك أ أ يد) حامضية التأثير، ومجموعة أو أكثر أمينية (–ن يد 2) قاعدية التأثير ويعتبر أهم تفاعل لتحويل معظم الأمونيا إلى نيتروجين عضوي في الأحماض الأمينية هو التفاعل المسمى Reductive Amination ويقوم به أنزيم جلوتاميك

ديهيدروجينيز Glutamic Dehydrogenase حيث يتم تفاعل الأمونيا مع حمض الفاكيتوجلوتاريك ويلزم لهذا التفاعل وجود $NADH_2$.



α-ketoglutaric acid glutamic acid

ويتم هذا التفاعل في الميتوكوندريا حيث يتواجد الأنزيم وكل متطلبات التفاعل مثل $NADH_2$ وحمض الفاكيتوجلوتاريك الذي يتكون في دورة كربس أما الأحماض الأمينية الأخرى والمطلوبة لبناء البروتين في البادرات الحديثة فلها مصدرين.

أ- التحليل المائي للبروتينات المخزنة في الأندوسبرم.

ب-عملية النقل الأميني Transamination التي تنقل مجموعة الأمين من حمض الجلوتاميك إلى أى حمض آخر به مجموعة كيتو.

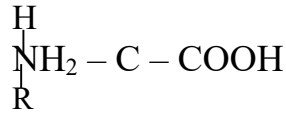
المركبات النيتروجينية الهامة في النبات

1. الأحماض الأمينية: يمكن تقسيم الأحماض الأمينية في النباتات الراقية إلى:

(أ) الأحماض الأمينية التي تدخل في تركيب البروتينات وهى حوالي 20 حمض أميني.

(ب)الأحماض الأمينية التى لا تدخل في تركيب البروتينات وتعرف بالأحماض الأمينية غير البروتينية ويوجد منها حوالي 120 حمض أميني.

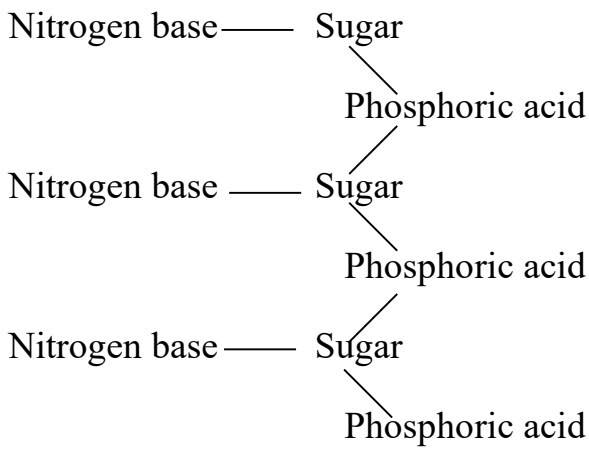
ويمكن التعبير عن الأحماض الأمينية بالرمز العام



حيث تمثل R المجموعة الجانبية التي يختص بها حمض أميني معين. وهناك عدد من الأحماض الأمينية مثل السستين يحتوي على عنصر الكبريت في تركيبه.

2. الأميدات Amides وهى مركبات تحتوي على أكثر من مجموعة أمين ومن أمثلتها الجلوتامين Glutamine وهو أميد حمض الجلوتاميك والأسبراجين Asparagine وهو أميد حمض الأسبارتيك ويعتبرا من صور تخزين الأمونيا بالنبات حيث يمنع تكوينهم التأثير الضار للأمونيا عند زيادة تركيزها بالنبات. كما تعتبر هذه الأميدات صورة لتخزين حمض الجلوتاميك والاسبارتيك. ونظراً لسرعة انتقال هذه الأميدات إلى النبات فقد تعتبر من الوسائل الهامة لانتقال النيتروجين في النباتات الراقية.

3. الأحماض النووية Nucleic Acids: وهى عبارة عن مركبات ذات وزن جزيئي عالي تتواجد خاصة في النواة مرتبطة ببروتين خاص في الكروموسومات. وتتركب من العديد من الوحدات تعرف بالنيكليوتيدات Nucleotides مرتبطة معاً في سلاسل طويلة وكل نيكليوتيدة تتركب من قاعدة نيتروجينية خاصة من النوع المسمى بيورين أو Purine أو بيريميدين Pyrimidine مع سكر خماسي وحمض فوسفوريك ويحدث الارتباط بين نكليوتيدات الحامض النووي بواسطة وحدة حمض الفوسفوريك في أحد النيكليوتيدات مع سكر النكليوتيدة التالي كما هو في الرسم

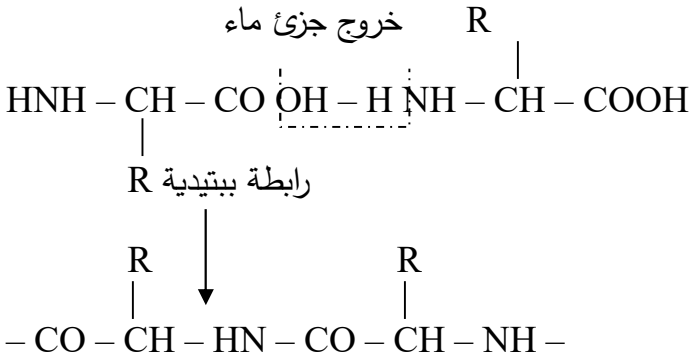


ويوجد نوعين من الأحماض النووية هما:

1) **الحامض النووي RNA (Ribonucleic Acid)** والسكر به عبارة عن سكر الريبوز Ribose الذي يرتبط برابطة جليكوسيدية مع البيورينات (الأدنين Adenine والجوانين Guanine) ومع البيريميدينات (السيتوسين Cytosine واليوراسيل Uracil) وممكن أن تتواجد أنواع خاصة من هذا الحامض في السيتوبلازم أيضاً.

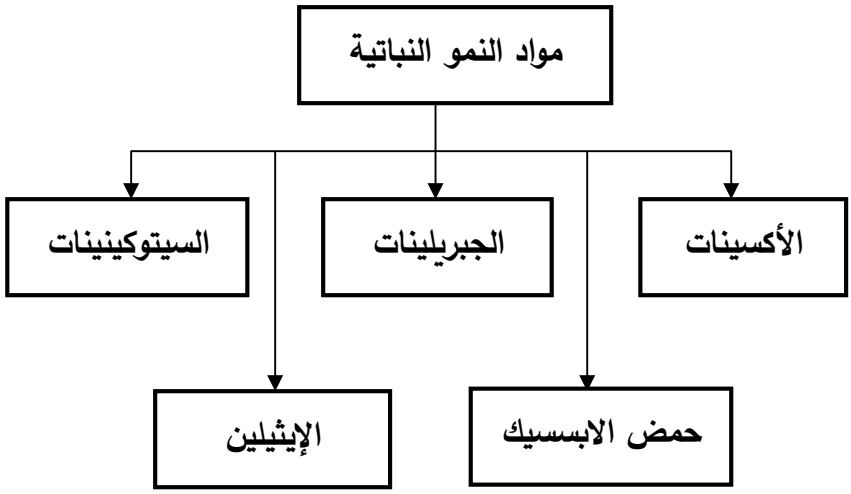
2) **الحمض النووي DNA (Deoxyribonucleic Acid)** ويختلف عن النوع الأول في أن السكر به من النوع دى أوكسي ريبوز Deoxy-ribose كما أن قاعد الثيمين Thymine تحل محل قاعدة اليوراسيل في البيريميدنات وهناك فرق ثالث وهو تكون الـ DNA من سلسلتين يلتقيان معاً في شكل حلزوني مزدوج بطريقة عكسية وترتبط كل سلسلة بالأخرى بارتباط قواعد الأدينين في أحداهما مع الثيمين في الأخرى والجوانين مع السيتوسين بروابط أيدروجينية. وللأحماض النووية أهمية بالغة في نقل المعلومات الوراثية وبناء البروتين في الخلية.

3) **البروتين Protein**: البروتين مركبات نيتروجينية معقدة ذات وزن جزيئي مرتفع وتدخل البروتينات في معظم الوظائف الخلوية وفي تركيب بعض المواد الهامة في الخلية مثل الإنزيمات وكذلك الهرمونات وغيرها. والبروتينات البسيطة عبارة عن سلاسل طويلة من الأحماض الأمينية أما البروتينات المرتبطة Conjucated Proteins فإنها تحتوي على أجزاء كيميائية عضوية بالإضافة إلى أحماض الأمينية فمثلاً البروتينات النووية تحتوي على أحماض نووية. والجليكوبروتينات تحتوي على مواد كربوايدراتية. وعند تكوين البروتين فإن مجموعة الأمين في الأحماض الأمينية تتفاعل مع مجموعة الكربوكسيل المجاورة ليكونا ما يعرف بالرابطة الببتيدية Peptide Bound ويخرج جزئ الماء.



(تكوين رابطة ببتيدية بين الأحماض الأمينية)

النمو والتطور النباتي
Growth and Development



تبدأ النباتات الراقية حياتها بخلية واحدة وهى خلية الزيجوت ومنه يتكون الجنين الذي تتكشف خلاياه بعد ذلك إلى الأعضاء النباتية المختلفة، وحديثاً تم التعرف على خمس مجموعات كيميائية تتحكم في نمو وتطور النبات وعرفت هذه المركبات بمنظمات النمو النباتية (مواد النمو النباتية) Plant Growth Substance أو الهرمونات النباتية وهذه المواد المسئولة عن نمو وتكوين الأعضاء النباتية المختلفة مثل المجموع الجذري والخضري والأزهار وتكوين ونضج الثمار وعديد من العمليات الفسيولوجية بالنبات وهذه المركبات هى:

1. الأوكسينات Auxins
2. الجبريلينات Gibberellins
3. السيتوكينينات Cytokinins
4. حمض الأبسيسيك Abscisic Acid
5. الإيثيلين Ethylene

وتعرف الهرمونات النباتية Plant Growth Hormones (Phytohormones) بأنها مركبات عضوية غير غذائية تنتج في النبات بكميات ضئيلة ويظهر تأثيرها في مكان غير المكان الذي أنتجت فيه وتشجع Promote النمو (أو تحور Modify العمليات الفسيولوجية بالنبات).

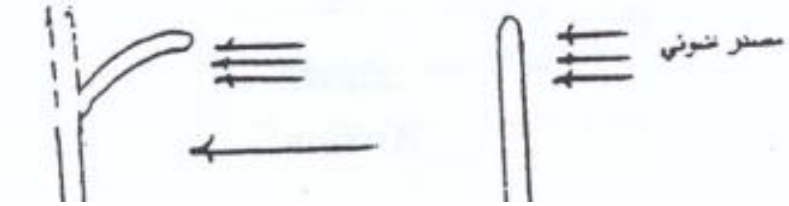
الأكسينات

Auxins

عرفت الأوكسينات في البداية كمركبات تنشط استطالة غمد الريشة في النباتات النجيلية مثل الشوفان، ومن التجارب التي ساهمت بدور كبير في مجال الهرمونات النباتية ما توصل إليه Went سنة 1928م، حيث أوضح أنه إذا وضعت القمم المقطوعة لأغماد الشوفان Oat Coleoptiles على طبقة من الآجار لفترة قصيرة فإن مادة النمو الموجود بالقمة تنتشر إلى الآجار وعند وضع قطعة الآجار على أحد جوانب غمد الريشة منزوع القمة فإن ذلك يسبب انحناءاً جانبياً للغمد وتتناسب درجة الانحناء– في حدود معينة– مع تركيز الهرمون في قطع الآجار، ويمكن استخدام هذه العلاقة كطريقة حيوية لتقدير الأوكسينات كما فى الشكل (73).

شكل (73)

ومن التجارب التي تؤكد بناء الأكسين في القمم الطرفية للنبات هو انحناء هذه القمم عند تعريضها لمصدر ضوئي من جانب واحد كما في الشكل (74).



(شكل 74) الانتحاء الضوئي

ويمكن تعريف الأكسينات على الأساس السابق لتعريف الهرمون النباتي بأنها مركبات عضوية غير غذائية تنتج في النبات بكميات ضئيلة ويظهر تأثيرها

في مكان غير المكان الذي أنتجت فيه وتنشط النمو (أى الزيادة الغير عكسية) في اتجاه المحور الطولي إذا أعطيت بتركيزات منخفضة.

بناء الأكسين Auxin Biosynthesis

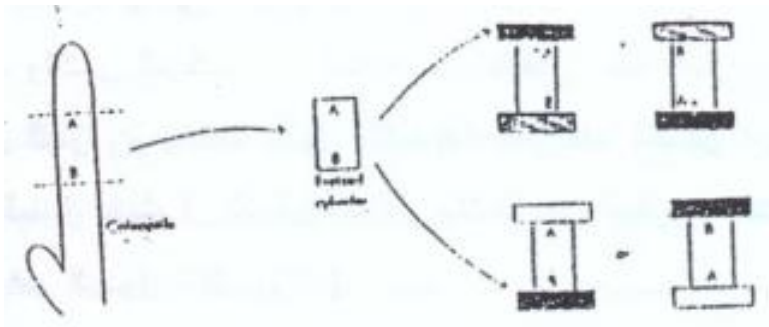
يبدأ بناء الأوكسين من الحمض الأميني التربتوفان ويشترك في هذه العملية نظام أنزيمي خاص غير معروف حتى الآن بالضبط.

وقد لوحظ أن بعض النباتات خاصة نباتات العائلة الصليبية مثل الخردل والكرنب تملك سلوكاً مخالفاً لما سبق حيث يتحول التربتوفان أولاً إلى أندول اسيتالدأوكسيم Indoleacetaldoxime (IAO) والذي بدوره يتحول إلى أندول اسيتونيتريل Indoleacetonitril والذي يتحول في النهاية إلى حمض أندول الخليك Indole Acetic Acid (IAA).

انتقال الأكسينات Translocation of Auxins

ينتقل الأكسين في الظروف العادية في الأنسجة الحية بطريقة قطبية (Polar) في اتجاه واحد من القمة المورفولوجية إلى القاعدة المورفولوجية.

فقد أوضح Went سنة 1928 أنه إذا وضع جزء من الغمد رأسياً وأى من الطرفين إلى أعلى وذلك بين كتلتين من الآجار تحتوي إحداهما على الأكسين ولا تحتوي الأخرى على شئ منه فيلاحظ انتقال الأكسين إلى القاعدة المورفولوجية من كتلة الآجار الموجودة على الطرف الآخر شكل (75).



شكل (75)

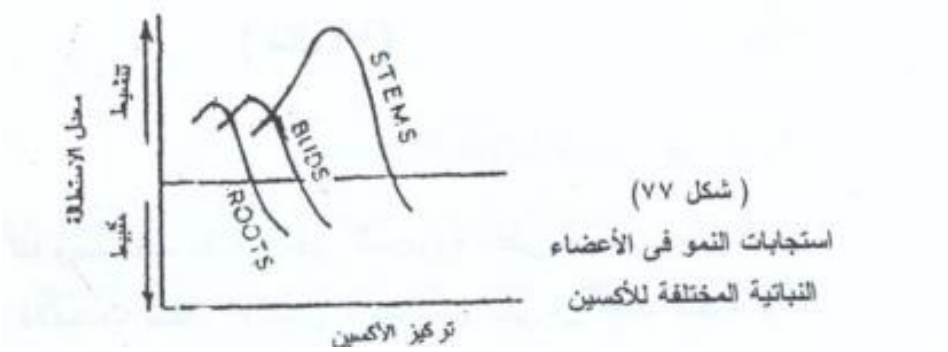
أما إذا وضعت كتلة الآجار المحتوية على الأكسين على القاعدة المورفولوجية فلا يحدث انتقال الأكسين، مما يدل على أن هناك اتجاهاً واحد

لانتقال الأكسين، ويمكن أن يكون هذه الانتقال ضد فروق التركيز Against Concentration Gradient إذا تجمع الأكسين في الكتلة الموجودة على القاعدة الموروفولوجية أما في الجذور فلا تلاحظ عادة قطبية انتقال الآكسينات.

ولتفسير حركة الأكسينات في النبات يفترض البعض أن هذه الحركة قد ترجع إلى فروق الجهد الكهربي Electrical Potential Differences في النبات، ولكن التجارب التي أجريت في هذا المجال لم تعط النتائج التي تساند هذا الرأي. ويفترض البعض أن حركة الأكسينات قد ترجع إلى الانسياب البروتوبلازمي Protoplasmic Streaming. وهناك من الأدلة ما يشير إلى أن الطاقة لازمة لانتقال الأكسينات، فالظروف التي تعرقل التنفس مثل نقص الأكسجين تعرقل انتقال الأكسينات كذلك.

الأكسينات واستطالة الخلايا

للأكسينات دور هام في مرحلة الاستطالة أثناء نمو الكثير من الأعضاء النباتية. وعلى العموم فإن استطالة الخلية لا تحدث إلا في وجود الأكسينات ولكن التركيزات العالية نسبياً تعطي عادة تأثيراً مثبطاً لهذه المرحلة من النمو. ويختلف تأثير الأكسينات على نمو الجذور عن تأثيرها عن نمو السوق حيث أن التركيزات التي تنشط نمو الساق قد تحدث تأثيراً مثبطاً على نمو الجذور شكل (76).



(شكل 76) استجابات النمو في الأعضاء النباتية المختلفة للأكسين

ولتفسير هذا يفترض أن التركيزات المنخفضة نسبياً من الأكسينات تسبب استطالة الجذور والبراعم والسوق بينما تثبط التركيزات العالية نسبياً منها نمو هذه الأعضاء النباتية وتكون التركيزات المثلى لنمو الجذور منخفضة جداً بالنسبة

للتركيزات المثلى للسوق والأغماد وعلى هذا يعتمد تأثير الأكسين من تنشيط أو تثبيط على تركيز الأكسين وعلى نوع النسيج الذي يؤثر عليه.

تأثير الأكسين في تنظيم النمو:

1. **استطالة الخلية Cell Elongation:** جدير بالذكر أن الكثير من الأدلة يشير إلى تأثير الأكسين على النمو عن طريق تأثيره على الجدار الخلوي، إلا أن طبيعة هذا التأثير على الجدار لم تتضح بعد ويبدو أن للأكسينات تأثيران رئيسان على الجدار فالأكسينات تزيد من لدونة (Plasticity) الجدار الخلوي كما أنها تشترك بطريق مباشر أو غير مباشر في التفاعلات التي تؤدي إلى ترسيب جزئيات إضافية من السيليولوز في جدار الخلية.

2. **تنشيط انقسام الخلية Cell Division:** هناك من الأدلة ما يشير إلى أن الأكسين إلى جانب التأثير الذي يحدثه في استطالة الخلية فإنه يسرع من انقسام الخلية أيضاً في الكمبيوم وغيره من الأنسجة ولكن الطريقة التي يحدث بها هذا التأثير لم تدرس دراسة كافية حتى الآن.

3. **دور الأكسين في الانتحاء الأرضي Geotropism والضوئي Phototropism:** يعتبر انحناء الساق جهة الضوء الذي يسقط عليه من جهة واحده One Sided Illumination مثالاً يوضح إحدى استجابات النبات للبيئة التي تعيش فيها وتسمى بالانتحاء الضوئي. وينشأ الانتحاء الضوئي أساساً في القمة النامية وقد أوضحت نتائج عديدة أن الضوء الأزرق له تأثير أكبر في هذه المجال بينما لا يحدث تأثير في حالة الضوء الأحمر كما اتضح أن مدى استجابة النبات يعتمد على كمية ما يستقبله من ضوء (شدة الإضاءة Light Intensity) ويكون مدى التأثير الذي تحدثه الإضاءة الضعيفة في فترة طويلة مماثلاً لمدى التأثير الذي تحدثه الإضاءة العالية في فترة قصيرة.

ومن المعروف أن استطالة الخلايا تعتمد على ما يتكون في القمة من أكسين وتحدث الاستطالة في الجانبين (المضاء والمظلل) بمعدلات مختلفة لوجود الأكسين في الجانب المظلل بتركيز أعلى منه في الجانب الآخر. وهناك عدة تفسيرات لهذا التوزيع غير المتساوي للأكسينات في الجانبين منها أنه قد يحدث تكسير للأكسين في الجانب المضاء بسبب الضوء أو قد يزاد تخليقه في الجانب

المظلل أو أن الانتقال يكون جانبياً إلى الجانب المظلل من أعلى إلى أسفل مع الابتعاد عن الجانب المضئ.

أما الانتحاء الأرضي ففيه يستجيب النبات للتوجيه جهة الجاذبية الأرضية (لأسفل) وتتأثر الجذور إيجابياً وتنمو في اتجاه الجاذبية الأرضية بينما تتجه السوق إلى أعلى عكس الجاذبية. ويعتمد الانتحاء الأرضي على النمو عن طريق التوزيع غير المتساوي للأكسينات في العضو النباتي فالحركة القطبية تزيد من تركيز الأكسين في الجهة السفلي ويعمل ذلك على تثبيط نشاط الانقسام في هذه الجهة بالنسبة للجانب الأعلى فيتم الانتحاء جهة أسفل.

4. **أهمية الأكسينات في تكوين الجذور**: لقد أوضحت الكثير من المشاهدات أن وجود البراعم النشطة على العقل Cuttings يساعد على تكوين الجذور بها إذا انغرس الجزء السفلي لهذه العقل في وسط يساعد على نمو الجذور. كذلك قد لوحظ أن الجذور لا تتكون في حالة كمون هذه البراعم أو إزالتها وأن تكوين الجذور ينشط خروج الأوراق.

وقد اتضح أن الأكسينات هى التي تسبب تكوين الجذور على هذه العقل. وجدير بالذكر أن الأكسين هو أحد العوامل العديد التي تحدد عملية تكوين الجذور على العقل النباتية والتي منها على سبيل المثال درجة الحرارة المناسبة لنموها.

5. **تكوين الثمار اللابذرية Induction of Parthenocarpy**: في بعض الأحيان يمكن أن تتكون الثمار اللابذرية من الأزهار غير الملقحة Unpollinated مثل ما يحدث في البرتقال والموز مثلاً. وفي الأحوال العادية حينما يحدث التلقيح Pollination يؤدي وصول حبة اللقاح إلى بدء انقسام نشط في الأنسجة التي تؤدي إلى تكوين الثمرة بينما تكون عملية الإخصاب Fertilization غير ضرورية لحدوث هذا الانقسام فمثلاً وجد أن حبوب اللقاح غير الحية قد أدت في بعض الأحيان إلى تكوين ثمرة. كذلك اتضح فيما بعد أن استعمال الكثير من الأكسينات الصناعية يؤدي إلى تكوين الثمار من أزهار غير ملقحة. ويرى البعض أنه في الظروف الطبيعية يكون نمو المبيض بعد الإخصاب نتيجة لما تحمله حبة اللقاح من الأكسينات إلا أنه نظراً لأن كمية الأكسين في حبة اللقاح ضئيلة جداً بحيث لا تكفي لحدوث نمو الأنسجة وتكوين الثمرة فإن

البعض يرى أن حبوب اللقاح تلعب دورها كعامل منشط لسابق الأكسين في المبيض مما يؤدي إلى تكوين كمية كبيرة من الأكسين.

6. **وقف نمو البراعم الجانبية:** من المعروف أن البراعم الجانبية تظل ساكنة طالما بقى البرعم الطرفي للساق نامياً وعندما يزال البرعم الطرفي، فإن معظم هذه البراعم الجانبية تنمو وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة السيادة القمية Apical Dominance. وينمو البرعم الجانبي إلى فرع ويؤدي برعمه الطرفي إلى وقف نمو البراعم الجانبية على هذا الفرع، ولهذا فإن التقليم المناسب للشجرة يؤدي إلى التحكم في شكلها. وهناك كثير من الأدلة التي تشير إلى أن الأكسين الذي يتكون في البراعم الطرفية هو العامل الذي يعرقل نمو البراعم الجانبية فقد اتضح في الكثير من التجارب أنه إذا أزيل البرعم الطرفي ووضع مكانه قطعة من الآجار تحتوي على الأكسين فإن البراعم الجانبية تظل ساكنة تماماً.

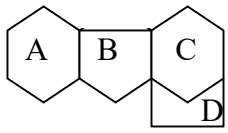
7. **منع سقوط الأوراق والثمار:** يحدث سقوط Shedding الأوراق في الخريف كنتيجة لتكوين طبقة انفصال Separation Layer عند قاعدة عنق الورقة، وهذه طبقة ذات خلايا صغيرة وتطرأ على جدرها عدة تغيرات تؤدي إلى ضعف اتصال الورق بالساق بحيث تنفصل بسهولة. وقد تتكون طبقات انفصال مماثلة في أعناق الأزهار والثمار. ويؤدي استعمال الأكسينات الصناعية في كثير من الأحيان إلى تأخير أو منع تكون طبقة الانفصال.

8. **التأثير على الأزهار:** يحدث الرش ببعض الأكسينات تأثيراً منشطاً على أزهار النبات مثل معاملة الأناناس Pineapple تحت ظروف خاصة بالتركيزات المناسبة من الأكسين الصناعي ثنائي كلوروفينوكسي حمض الخليك (2,4-D) إلا أنه قد وجد أن أكسينات معينة مثل الفانفثالين حمض خليك α-naphthaline Acetic Acid يكون لها تأثير مثبط على الأزهار في بعض الأنواع النباتية. وهناك بعض الأدلة التي تشير إلى أن تركيزات الأكسين اللازمة لنمو أعضاء التأنيث في النبات تكون أكبر من التركيزات اللازمة لنمو أعضاء التذكير إلا أن آلية التأثير لا تزال غير معروفة حتى الآن.

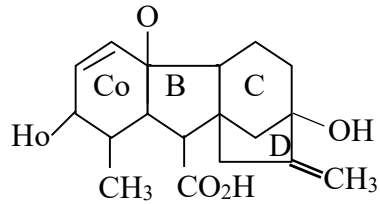
9. **مقاومـــة الحشـــائش Weed Control** : أدت التـأثيرات المثبطـة للأكسينات على النبات، حينما تستخدم بتركيزات عالية نسبياً، إلى اقتراح استخدام هذه المواد في إبادة الأعشاب ومن أهم الأكسينات الصناعية التي تستخدم كمبيدات للأعشاب هو ثنائي كلورفينوكسي حمض الخليك 2,4-D. ومن مميزات هذه المجموعة من المبيدات أنها تحدث تأثيرها الضار عند استخدامها بتركيزات منخفضة وأنها قد تنتقل بسرعة إلى أجزاء النبات المختلفة. وبعض هذه المبيدات اختيارية التأثير إذ يمكن أن تستعمل في إبادة بعض الأعشاب دون أن تضر بالمحصول.

الجبريلينات Gibberellins

تم اكتشاف هذه المجموعة من الهرمونات النباتية سنة 1920 عندما لاحظ Kurosawa 1920 أحد علماء أمراض النبات اليابانيين أن نباتات الأرز المصابة بفطر *Gibberlla fujikuuroi* Moniliform (Fusarium) المسبب لمرض Crazy Seedling تستطيل بادراتها بدرجة كبيرة عن البادرات غير المصابة وقد تم عزل هذا الفطر وإنمائه على بيئة صناعية. وبإضافة راشح النمو الفطري إلى نباتات الأرز ظهر عليها تقريباً نفس الأعراض السابقة أى أنها استطالت بدرجة كبيرة. وقد سميت هذه المادة Gibberlline A نسبة إلى الفطر التي استخلصت منه وتم فصلها وتنقيتها بعد ذلك وسميت بحامض الجبريليك. وعلى الرغم من فصل وعزل هذا الهرمون من الفطر إلا أنه وجد في العديد من النباتات الزهرية فيما بعد. والآن اكتشف العديد من هذه الجبريلينات وتم فصلها وعزلها من عديد من النباتات. وتركيب هذه المركبات متشابه إلى حد كبير من الناحية الكيمائية حيث تحتوي جميعها على حلقة الجيبان Gibban Ring والاختلاف بين أفرادها يرجع فقط إلى عدد ذرات الكربون وتوزيعاتها المختلفة ووجود أو عدم وجود مجموعة OH. أو حسب وجود روابط زوجية أو عديمة الروابط وقد تم تسميتها بأرقام GA_1, GA_2, GA_3.....



هيكل الجيبان
Giubban skeleton



GA_3
حمض الجبريليك
Gibberelic acid (GA_3)

وتعتبر الجبريلينات أحد مجاميع الهرمونات الطبيعية بداخل النبات Endogenous Phytohormones والتي ثبت وجودها في النباتات الأولية مثل السرخسيات والحزازيات والطحالب والبكتريا والنباتات الراقية.

بناء الجبريلين Gibberelline Biosynthesis: يتم بناء الجبريلين أساساً من التربينات Terpenes وهى عبارة عن مركبات عضوية غير مشبعة تتواجد بداخل النبات. ويعتبر حمض الخليك Acetic Acid نقطة بداية بناء حمض الميفالونيك Mevalonic والذي يؤدي في النهاية إلى بناء الجبريلين في النبات. وتشترك جميع الجبرلينات في الهيكل الكربوني لحلقة الجيبان Gibban Skeleton وتتميز مادة الجبرلين بالتالي:

1. احتوائها على الهيكل الكربوني العام لحلقة الجيبان والتي تعتبر الهيكل الأساسي للجبريلين.
2. يكون لها نشاط حيوي منشط للنمو Growth Promotor

ويتم بناء الجبريلين حيوياً في القمم النامية للجذور والسوق والأوراق الحديثة خاصة الغير كاملة النمو والبراعم وكذا الثمار الصغيرة.

وتختلف تركيزات الجبريلين في نسيج نباتي معين من وقت لآخر تبعاً لحالة النبات الفسيولوجية والطور النامي منه. فمثلاً تتميز البذور غير الناضجة بكثرة الجبريلين عن تلك الناضجة كما أن أقل الأعضاء احتواء لها هى الأوراق والسوق المسنه.

انتقال الجبريلين Gibberelline Translocation

ينتقل الجبريلين من مكان بناءه (المنبع Source) إلى مكان حدوث تأثيره والاستفادة منه (المصب Sink). وهو في ذلك لا يخضع لنظام خاص في حركته بل المعروف أنه حر الحركة من أسفل إلى أعلى ومن أعلى إلى أسفل بل وجانبياً في جميع الاتجاهات دون عائق. وعلى ذلك تعتبر أنسجة اللحاء هى وسيلة انتقال الجبريلين وأن كان قد ثبت وجوده في عصير الإدماء مما يشير إلى احتمال انتقاله متخذاً أيضاً نسيج الخشب كوسيلة للانتقال.

التأثيرات الفسيولوجية للجبريلين

Physiological Roles of Gibberellins

1. زيادة النمو الطولي للساق: عرف الجبريلين عقب اكتشافه بهرمون الاستطالة لتأثيره في زيادة النمو الطولي، بمنطقة الاستطالة وأن كان لا يمكن استبعاده من التأثير المنشط للانقسام الخلوي الميتوزي. وتؤدي المعاملة بالجبريلين إلى استطالة الساق عن طريق:

أ- سرعة تكوين العقد والسلاميات وزيادة طول السلاميات زيادة واضحة وسريعة دون التأثير على العدد النهائي للعقد في النبات.
ب-ترجع الزيادة في طول السلاميات إلى زيادة انقسام الخلايا وزيادة طولها.
ج- يلاحظ سرعة استجابة السلاميات الصغيرة في العمر عن الكبيرة كما أن استجابة النباتات النامية في الضوء تكون أفضل من النامية في الظلام.

2. التغلب على ظاهرة التقزم الوراثي Genetic dwarfism: يمكن للجبرلين التغلب على ظاهرة التقزم الوراثي في الذرة القزمية والبسلة القزمية والمتسببة عن جين فردي Single Gene حيث تؤدي المعاملة بالجبريلين إلى تنشيط هذه الجينات المكبوتة مما يؤدي إلى استطالة الساق.
3. استطالة سوق النباتات المتوردة Rosette Plants بعض النباتات مثل الفجل والجزر واللفت والكرنب وكذلك الخس نجد أن سوقها قصيرة والأوراق تخرج عن العقد المتقاربة، في الساق بشكل الوردة لذلك تسمى Rosette Plants ويلاحظ أن مستوى الجبريلين في هذه النباتات في الحالة المتوردة تكون منخفضة لذلك فإن معاملتها بالجبريلين خارجياً يؤدي أى استطالة السلاميات دون تأثر عددها.
4. كسر السكون:

أ- سكون البذور Seed Dormancy: تؤدي معاملة أنواع نباتية كثيرة بالجبريلين إلى كسر السكون الداخلي الفسيولوجي الناتج عن حاجة البذور للمعاملة بدرجة حرارة منخفضة مثل بذور الخوخ، وكذلك يمكن كسر السكون لبذور بعض النباتات التى تحتاج إلى احتياجات ضوئية معينة مثل الخس.
ب-سكون البراعم Bud Dormancy للجبريلين أثر منشط على البراعم الساكنة بالأشجار الخشبية وشجيرات الفاكهة المتساقطة الأوراق مثل التفاح.

5. تحديد الجنس Sex Expression تؤدي المعامل بالجبريلين إلى زيادة عدد الأزهار المذكرة أو يغلب تكوين الأعضاء الذكرية (الطلع) بالنبات ويؤدي إلى تناقص الأزهار المؤنثة.

ويلاحظ أن الجبريلين ليس وحده هو المسئول عن الجنس بالنبات بل يشاركه هرمونات أخرى مثل الأكسين والسيتوكينين فمن الغالب أن يتحدد الجنس تبعاً لمستواها معاً بالنسيج النباتي فيغلب تكوين الأعضاء الأنثوية والأزهار المؤنثة في وجود مستوى مرتفع من الأكسين.

السيتوكينينات Cytokinis

عزل Letham (1963) أول سيتوكينين طبيعي من النبات حيث تم استخلاصه على صورة بلورات من أندوسبرم حبوب الذرة وسماه Zeatin حيث اشتق أسمه من الأسم العلمي للذرة الذي تم استخلاصه منه *Zea mays*.

وبعد ذلك تم عزل مواد من ثمار البرقوق في أدوار نموها الأولى لها صفات مشتقات البنزيل أدينين، كما تم عزل مركبات لها نشاط سيتوكينيني من عشرة أصناف من التفاح من البراعم الزهرية وكذلك من ثمار وبذور الكمثرى وثمار الطماطم وثمار الطماطم ومن أنسجة الكمبيوم الخاصة بنباتات الصنوبر والدخان.

وأتفق علماء فسيولوجيا النبات على تسمية هذه المركبات بالسيتوكينينات Cytokinins وهذه المركبات تعمل أساساً على زيادة الانقسام الخلوي للنبات.

تخليق السيتوكينينات:

كان الاعتقاد في بداية الأمر أن هذه المواد تخلق في قمم الجذور ثم تنتقل من هذا المكان إلى جميع أجزاء النبات الأخرى. إلا أنه حديثاً وجد أن هذه المركبات توجد في أماكن أخرى من النبات مثل الأوراق الحديثة والبراعم الزهرية والثمار وكذلك البذور بالرغم من أن الجذور تمثل المصدر الرئيسي للسيتوكينينات.

التركيب الكيميائي:

تتركب أساساً من أحد مشتقات القاعدة النتروجينية المكونة للحامض النووي DNA وأهم المركبات التي تنتج في النبات هى 6 Amino Purine Zeatin Ribozide Isopentyl Adenine بينما تم انتاج بعض المركبات ذات النشاط المشابه للسيتوكينينات الطبيعية وأهمها الكينيتين Kinetin والبنزيل أدينين.

التأثير الحيوي للسيتوكينيات

1. تشجيع الانقسام الخلوي (الميتوزي)
2. تضخم الخلايا
3. كسر السيادة القمية وبالتالي تشجيع نمو البراعم الجانبية حيث تساعد على تحرك وانتقال الذائبات بالنبات.
4. منع تدهور الكلوروفيل ولذلك تعامل الأجزاء الخضرية لإطالة عمر المحاصيل الورقية مثل الخس والبقدونس والكرنب بمحلول يحتوي على تركيز مناسب منها.
5. منع تدهور البروتين وبالتالي تؤخر الشيخوخة.
6. زيادة العقد Fruit Setting وبالتالي زيادة المحصول لمعظم المحاصيل الثمرية مثل التفاح والخوخ والطماطم وغيرها.
7. زيادة حجم الثمار والبذور.
8. كسر سكون البذور والبراعم الزهرية.

حمض الأبسيسيك Absicic Acid

عبارة عن هرمون نباتي ينتج داخلياً في النبات ويتحكم أساساً في سكون البذور والبراعم وتساقط الأوراق والبراعم الزهرية والأزهار وكذلك الثمار. وتم اكتشاف هذا المركب عام 1964 حيث تمكن Wareing من عزل مركب من البراعم الساكنة وأوراق بعض النباتات الخشبية. وهذا المركب أسماه دورمين Dormin وقد سمى بهذا الأسم نظراً لعلاقته الوطيدة بإحداث السكون Dormancy.

وقد تمكن في نفس العام ليو وكارتز من عزل مادة على صورة بلورية من ثمار القطن الناضج (لوز القطن) هذه المادة شجعت تساقط أعناق أوراق القطن المنزوعة الانصال ولم يحدد تركيب المركب المعزول وسمى أبسيسين 11 Abscissin وقد أدى اكتشافه إلى اكتشاف مادة مشابهة عزلها أوهكيوما Ohkuma وزملاءه من ثمار القطن الحديثة العمر وسموها أبسيسين والذي ثبت أنه مطابقاً تماماً لمركب الدورمين الذي أكتشفه Waering ومجموعته ولهذا اتفق علماء فسيولوجيا النبات العام عام 1971 على تسمية هذا المركب باسم حمض الأبسيسك Abscisic Acid (ABA).

بناء حمض الأبسيسيك: يوجد طريقتين لبناء حمض الأبسيسيك

1. يتم بناء حمض الأبسيسيك في النبات أساساً من التربينات.
2. عن طريق أكسدة مركب الزانثوفيل Xanthophyll حيث يوجد تشابه كبير بين كل من ABA والزانثوفيل في كثير من الاختبارات الحيوية.

ويعتقد أن بناء ABA يتم أساساً داخل الكلوروبلاست حيث أمكن بناء ABA في البلاستيدات المفصولة من أنسجة ثمار الأفوكادو وذلك عند إمدادها بالميفالونات.

انتقال حمض الأبسيسيك ABA Trabslocation

ينتقل حمض الأبسيسيك داخل النبات جهازياً أى انه حر الحركة داخل أنسجة النبات في أى اتجاه (غير قطبي) وخلال الأنسجة المختلفة للنبات بما فيها الخشب واللحاء ولوحظ أن حركته أسرع من حركة الأكسين.

التأثير الفسيولوجي لحمض الأبسيسيك Physiological Role of ABA

من أهم التأثيرات الفسيولوجية لحمض الأبسيسيك ما يلي:

1. تثبيط إنبات البذور.
2. تثبيط النمو الخضري وبالتالي دفع النبات إلى الأزهار.
3. سكون البذور (Seed Dormancy) كما في الخوخ والمشمش والتفاح.
4. سكون البراعم Bud Dormancy كما في البطاطس والنباتات المتساقطه الأوراق مثل التفاح، والعنب، والخوخ.
5. سقوط البراعم والأزهار والثمار الصغيرة وكذلك الأوراق.
6. الإسراع من شيخوخة العضو النباتي.
7. مقاومة الإجهاد المائي أو الملحي الذي يتعرض له النبات حيث يزداد مستوى ABA عند تعرض النبات للإجهاد ويؤدي ارتفاع مستواه بداخل أوراق النَبات إلى قفل سريع للثغور وبالتالي يقل فقد النبات للماء.

الإيثيلين Ethylene

عرفت الآثار الفسيولوجية على النبات لغاز الإيثلين من حوالي 90 سنة ماضية ويعتبر Oudivins 1910 أول من اقترح أن الإيثيلين ينتج داخل النبات

وأوضح Denny 1924 أن الإيثيلين مسئول عن نضج الموز والبرتقال وأثبت Gane 1934 أن الإيثلين عبارة عن غاز ينتج طبيعياً من الثمار الناضجة عند تخزينها وفي سنة 1935 أوضح Crocker ومساعدوه أن للإيثيلين عديد من التأثيرات الفسيولوجية مثل تثبيط استطالة نمو الساق، وتكوين الجذور العرضية. ويعتبر الإيثيلين من الهرمونات النباتية نظراً لأنه ينتج في النبات بكميات ضئيلة ويسبب تغيرات كبيرة في النبات.

بناء الإيثيلين Ethylene Biosynthesis

يعتقد أن بناء الإيثيلين في النبات يتم من خلال الحمض الأميني مثيونين حيث يمكن إنتاج الإيثيلين معملياً In vitro من الميثيونين بمساعدة أنزيم البيروكسيديز.

أهم التأثيرات الفسيولوجية للإيثيلين:

1. نضج الثمار مثل الموز والبرتقال وغيرها.
2. الإسراع من الشيخوخة.
3. مقاومة الجفاف والملوحة حيث يزداد مستواه في الأنسجة المعرضة للإجهاد المائي وبالتالي يزداد مستوى حمض الأبسيسيك ويعمل على قفل الثغور وبالتالي يقلل النتح بالنبات.
4. مسئول عن ظاهرة انحناء الأوراق بعيداً عن الساق Epinasty.
5. تساقط الأوراق والأزهار والثمار عند التركيزات المرتفعة.
6. كسر السيادة القمية وزيادة التفرع حيث يثبط انتقال وبناء الأكسين وبالتالي ينخفض مستواه في النبات والذي يؤدي إلى تثبيط البراعم خاصة القاعدية.

النمو Growth

يمكن تعريف النمو بصورة عامة بأنه الزيادة الدائمة غير العكسية في الوزن أو الحجم أو المساحة أو الطول أو العدد بالنسبة للنبات ككل أو بالنسبة لنسيج أو عضو معين به. وهى زيادة كمية quantitative أى يمكن قياسها. وعموماً يطلق لفظ نمو على واحد أو أكثر من المظاهر الآتية:

1. زيادة عدد الخلايا وعادة تكون مصحوبة بزيادة الحجم الكلي للخلايا وكمية البروتوبلازم إلا أنه قد تنقسم الخلايا وتزيد في العدد دون أن تحدث زيادة في الحجم أو كمية البروتوبلازم.

2. زيادة كمية البروتوبلازم أى زيادة الجدار في المسطح مع زيادة الكتلة البروتوبلازمية.
3. زيادة حجم الخلايا أو العضو النباتي جميعه.
4. زيادة كمية بعض مكونات الخلية مثل زيادة الجدار في السطح أو السمك، زيادة عدد البلاستيدات أو زيادة حجمها، زيادة حجم الفجوة العصارية وزيادة المواد الصلبة الذائبة..الخ.

وجدير بالذكر أنه قد تحدث أحياناً بالنبات زيادة في أبعاده وفي وزنه، ومع ذلك فالزيادة في تلك الأحيان لا تعتبر نمواً. مثال ذلك عندما تنقع البذور في الماء فإنها تنتفخ ويزداد حجمها ولكنها إذا جففت ينقص حجمها. كذلك يتناقص الوزن الجاف الإجمالي للبادرة أثناء الإنبات نظراً لما يحدث بها من تنفس أثناء بناء الأنسجة الجديدة من المواد الغذائية المدخرة بعد تحويلها إلى مواد بسيطة ثم يأخذ الوزن الجاف للنبات بعد ذلك في الزيادة عندما يعتمد في غذائه على الوسط الخارجي. على أنه قد تحدث أحياناً زيادة في الوزن الجاف ولا تكون مصحوبة بنمو فالزيادة في وزن الجذر في نبات بنجر السكر في مرحلة معينة أثناء نموه تكون نتيجة تراكم المواد المدخرة في خلاياه.

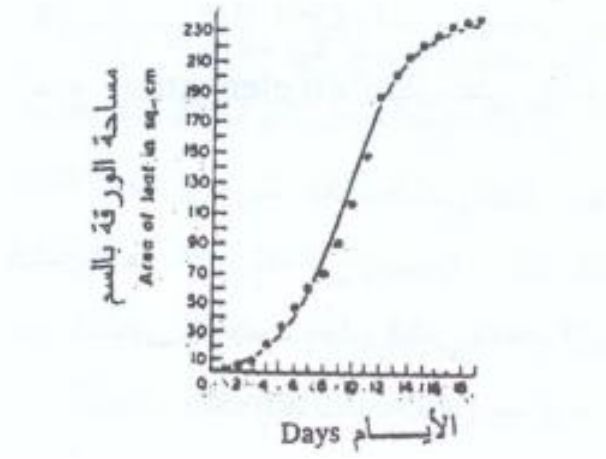
معدل النمو The Rate of Growth

يبدأ النبات نموه بطيئاً ثم يزداد معدل نموه بمرور الوقت حتى يصل إلى أقصاه ثم يأخذ في النقصان أو يتلاشى نهائياُ وعند ذلك. يقف النمو والمنحنى الذي يعبر عن النمو خلال الفترة التي يتم فيها والتي سماها ساكس Sachs فترة النمو الكبرى The Grand Period of Growth يكون على هيئة حرف S-Shaped. وينطبق هذا على النبات ككل كما ينطبق على أعضائه مهما اختلفت طريقة قياس النمو (مثل الحجم أو الطول أو الوزن).

ويقسم منحنى النمو إلى ستة فترات واضحة هى (شكل 77).

1. دور الثبات Stationary Phase وفيه قد لا يوجد نمو أو انقسام وقد لا يوجد هذا الدور نهائياً إذا كانت الظروف المحيطة مناسبة.
2. دور التحضير أو التأخير Lag Phase وفيه تحدث تغيرات داخلية تحضر لعملية النمو بمعنى أنه قد يحدث نقص في الوزن الجاف نتيجة لزيادة التنفس وعدم المقدرة على القيام بعملية البناء الضوئي وقد يكون هذا الدور بطئ أو سريع.

3. دور الزيادة اللوغاريتمية Log phase وفيه تحدث أقصى سرعة للنمو بالنسبة لوحدة الزمن. وأحياناً يعبر عن هذا الدور بأنه دور النمو في الخط المستقيم حيث توجد علاقة خطية بين لوغاريتم معدل النمو مع الزمن.
4. الدور الحسابي Arithmatic phase أو عكس اللوغاريتمي Negative log phase وهو دور التناقص في سرعة النمو بالرغم من استمرار الزيادة الكلية في النمو.
5. دور الثبات الثاني Stationary phase وفيه يتوقف النمو تقريباً ويكون النبات قد وصل إلى مرحلة النضج.
6. دور التدهور أو تناقص النمو decline phase وفيه تحدث زيادة في سرعة النقص مع دخول النبات مرحلة الشيخوخة.



(شكل 77) منحنى النمو

وقد يميل البعض إلى تقسيم المنحنى إلى 3 مراحل هى فترة الإنبات أو فترة النمو البطئ أو فترة التأخر ثم فترة الزيادة اللوغاريتمية ثم فترة التناقص عندما يدخل النبات في دور الشيخوخة.

وهذه الطريقة من النمو التي يبدأ فيها بطيئاً ثم يزداد ثم يتناقص لا تتغير بتغير الظروف الخارجية المحيطة بالنبات إذ أن هذه الظروف الخارجية تؤثر فقط على سرعات النمو وبالتالي على طول الفترة التي ينتهي فيها النمو بطريقته التي تكون دائماً على هيئة حرف (S).

وعموماً فإن معظم الأنسجة النباتية تتضمن ظواهر النمو الأربعة السابق الإشارة إليها ولكن قد يسود دور أو مظهر واحد في مناطق معينة أو أوقات معينة فمثلاً في المنطقة المرستيمية لطرف الجذر النامي يظهر بصفة أساسية انقسام الخلايا وزيادة كمية البروتوبلازم وبالبعد عن هذه المنطقة قليلاً تستطيل الخلايا ويقل أو ينعدم انقسامها وباستمرار الابتعاد عن القمة تتوقف الاستطالة بدرجة كبيرة ولكن تستمر زيادة الجدار الخلوي في السمك.

ويبدأ النمو في بعض الأنسجة، وهى التي تعرف بالمرستيمات والأطوار المختلفة لعملية النمو هى: انقسام الخلية Cell Division ثم زيادة حجم الخلية Cell Enlargement ثم تكتشف الخلية Cell differentiation وفي بعض الأحيان قد يطلق اصطلاح استطالة الخلية Cell elongation ليدل على زيادة حجم الخلية.

قياس النمو

1. **قياس الحجم:** يمكن قياس الحجم في حالة النباتات الراقية عن طريق الإحلال Displacement في سائل مثل الماء ومن عيوب هذه الطريقة أنه لا يراعى فيها الاختلافات بين الأنسجة في حجم المسافات البينية وعموماً فنادراً ما تستخدم هذه الطريقة.
2. **قياس الطول:** يستخدم قياس الطول أحياناً كتعبير عن النمو ولكن هذه الطريقة لها عيوبها إذ لا يراعى فيها مثلاً سمك العضو النباتي أو درجة التفرع.
3. **قياس الوزن:** يستخدم في كثير من الأحيان قياس الوزن الجاف Dry Weight كتعبير عن النمو ويفضل قياس الوزن الجاف عن الوزن الرطب Fresh Weight لعدة أسباب منها أن الجزء الأكبر من الوزن الرطب يكون نتيجة لوجود الماء. وقد يكون فقد النبات أو اكتسابه لكميات كبيرة من الماء أحياناً نتيجة العوامل الخارجية أساساً. مثال ذلك قد يقل الوزن الرطب للنبات أثناء يوم جاف رغم أنه مستمر في النمو لو استخدمت وسائل أخرى للتعبير عنه.

وطريقة الوزن الجاف يبدو لها عيوباً أيضاً. فمنها أنه قد يحدث نمو ومع ذلك لا نلاحظ زياد في الوزن الجاف مثال ذلك تناقص الوزن الجاف الإجمالي للبادرة في الظلام أثناء تكون الأنسجة الجديدة على حساب المواد الغذائية المخزنة بعد تحويلها إلى مواد بسيطة.

العوامل التي تتحكم في النمو

The Factors Controlling Plant Growth

تتحكم في النمو عوامل عديدة يمكن تقسيمها إلى مجموعات ثلاثة:

1. **عوامل غذائية Nutritional Factors:** وهذه العوامل تساهم بطريق غير مباشر في تخليق المواد العضوية المختلفة التي يبني منها النبات أنسجته. وتتكون هذه المركبات العضوية المعقدة نتيجة سلسلة من التفاعلات الكيميائية من مواد غير عضوية بسيطة مثل CO_2 الذي يمتصه النبات من الهواء الجوي ومثل الماء والأملاح المعدنية.
2. عوامل هرمونية Hormonal Factors: وهذه العوامل تتحكم في سرعة نمو الأعضاء المختلفة للنبات فيحدث توزيع منتظم لما يتكون في النبات من مواد عضوية بين الأعضاء.
3. عوامل وراثية Hereditary Factors تتحكم العوامل الوراثية في شكل وحجم النباتات ويحدد التركيب الوراثي للنبات طبيعة ومدى التأثير الذي تحدثه العوامل الغذائية والهرمونية.

ومما يجب ملاحظته التداخل الموجود بين هذه المجموعات الثلاثة فشدة الضوء مثلاً يمكن أن تؤثر على النمو عن الطريق الغذائي كما يمكن أن تؤثر عليه عن الطريق الهرموني.

مرحلة الإزهار في النبات

لكى يتم النبات دورة حياته يلزمه أن يمر على فترتين مختلفتين تسمى الأولى بالفترة الحرارية The Thermo Stage وتسمى الفترة الثانية بالفترة الضوئية The Photo Stage ويلزم للنبات أن يستكمل الفترة الحرارية لكي يمر في الفترة الضوئية.

1. **الفترة الحرارية:** تؤثر درجة الحرارة التي تتعرض لها البادرة أثناء الإنبات على دخول النبات في طور الإزهار فيما بعد. فبعض الأصناف الشتوية Winter varieties من النبات، تزرع في الخريف، تتعرض بادراتها في التربة لدرجات الحرارة المنخفضة في الشتاء وأول الربيع ثم تزهر في الصيف التالي ولكن لا تزهر عادة هذه النباتات إذا زرعت في الربيع. بينما تزهر الأنواع الربيعية Spring Varieties لهذه النباتات لو زرعت

في نفس الوقت. وقد أوضحت التجارب مدى أهمية درجة الحرارة لأزهار نباتات الحبوب الشتوية Winter cereals فإذا استنبتت الحبة عند درجة حرارة منخفضة (2–1م) في بعض أصناف النباتات الشتوية فإن هذه المعاملة تبكر من دخول النبات في طور الإزهار فيما بعد. وقد سميت هذه المعاملة التي من شأنها إسراع الأزهار في النباتات بالارتباع Vernalization ويلزم للارتباع وجود حد أدنى من الماء ولا يتطلب هذا حدوث الإنبات بشكل واضح على البذرة كما يلزم للارتباع أن يكون معدل التنفس مرتفعاً. فتثبيط التنفس بواسطة السموم أو بخفض تركيز الأكسجين أو باستبعاد الأندوسبرم أى استبعاد المادة الغذائية يعرقل الارتباع.

ولو تعرضت البادرات لدرجة حرارة مرتفعة بعد تعرضها للدرجة المنخفضة يزول الارتباع Devernalized وبالتالي لا يحدث إزهار. ولا يرجع هذا إلى أى أثر ضار لدرجة الحرارة المرتفعة.

وفي النباتات ذات الحولين Biennial مثل أنواع كثيرة من البنجر فإن النمو في السنة الأولى يكون خضرياً بينما يحدث الأزهار في السنة الثانية. ويمكن عن طريق المعاملة بدرجة الحرارة المنخفضة الحصول على نباتات تزهر في العام الأول. ولا يحدث الارتباع بهذه النباتات إلا بعد أن تتكون على النبات بعض الأوراق.

وتشير أبحاث عديدة إلى أن تخليق عامل الارتباع Vernalization Factor والذي يسمى فرنالين Vernalin يحدث في الأجنة والقمم النامية في وجود ظروف معينة. ويختلف السلوك الارتباعي من نوع نباتي إلى نوع آخر رغم انتمائها جميعاً لجنس واحد. وهناك من النباتات من يحتاج إلى درجات مرتفعة من الحرارة كالذرة مثلاًوجدير بالذكر أنه لم تفسر حتى الآن آلية الارتباع.

2. **الفترة الضوئية:** يتحكم في الأزهار عوامل خارجية عديدة وأهمها في الغالب درجة الحرارة والضوء وفي حين أن استجابة النباتات للمعاملة الحرارية يطلق عليها "الارتباع" فإن اصطلاح التواقت الضوئي Photoperiodism يعبر عن استجابة النباتات لطول النهار. وقد أظهرت كثير من المشاهدات أن النباتات المختلفة تحتاج إلى نهار له طول معين لتدخل في طور الأزهار، وبالتالي قسمت النباتات تبعاً لتأثير طول فترة الإضاءة Photoperiod الطبيعية في نموها التكاثري إلى:

أ- **نبات النهار القصير Shorts day plants** وهى تزهر فقط إذا تعرضت لفترات إضاءة طولها 12 ساعة أو أقل مثل الشبيط Xanthum (Coclebur) والشليكٍ Strawberry.

ب-**نبات النهار الطويل Long Day Plants** وهى تحتاج للأزهار إلى فترة إضاءة طولها 12 ساعة أو أكثر مثل السبانخ والبنجر والفجل.

ج- **نباتات النهار غير المحدود Indeterminate or Photoneutral Plants** وفيها لا يعتمد الأزهار على طول النهار مثل الطماطم والقطن.

وبالرغم من أن هناك طولاً أمثل للنهار Optimum day length للأزهار في نباتات "النهار الطويل" ونباتات "النهار القصير" فإن الإزهار يحدث على مدى كبير حول الطول الأمثل. وعلى هذا فنباتات النهار القصير لها فترة إضاءة حرجة Critical Photoperiod ولا يحدث الإزهار في هذا النوع من النباتات إذا تعرضت إلى فترات أطول من الفترات الحرجة.

ونظراً لحدوث الإزهار في مدى معين في نباتات كل من المجموعتين فمن المحتمل أن يكون هناك نوع من التداخل أى قد يكون طول معين لفترة الإضاءة مناسباً للإزهار في نباتات "النهار القصير" وكذلك في نباتات النهار الطويل". أما النباتات "غير المحدود فتشبه نباتات النهار الطويل في أنها لا تزهر إلا في مجال من طول النهار أطول من الفترة الحرجة إلا أن فترات الإضاءة الحرجة فيها تكون بصفة عامة أقصر منها في "نباتات النهار الطويل".

وبالإضافة إلى المجموعات الثلاثة السابقة فهناك مجموعة رابعة تسمى النباتات الوسطية Intermediate Plants (نباتات النهار المحدود) وهى التي تزهر فقط في مجال معين من أطوال النهار ولا تزهر في فترات الإضاءة الأطول أو الأقصر من ذلك. أى أن لها فترتين من الإضاءة الحرجة فلا تزهر في أطوال النهار الأطول من الفترة الحرجة القصوى ولا في أطوال النهار الأقصر من الفترة الحرجة الصغرى، ومن النباتات التي تنتمي لهذه المجموعة الفاصوليا البرية.

وجدير بالذكر أن الأصناف المختلفة لنفس النوع النباتي قد تختلف في تأثرها بالتواقت الضوئي وعلى هذا فإن الأمثلة النباتية التي سبق ذكرها في كل من المجموعات الأربعة قد لا تعبر بدقة تامة عن سلوك كل صنف نباتي على حده بالنسبة للتواقت الضوئي.

إحداث التواقت الضوئي Photoperiodic Induction

لكى يحدث الإزهار في النباتات لا يلزم أن تستمر المعاملة الضوئية المناسبة حتى تظهر البراعم الزهرية. فمثلاً إذا نقلت نباتات النهار القصير النامية في ظروف النهار الطويل لتتعرض وقتياً لفترات نهار قصير ثم أعيدت إلى ظروف النهار الطويل فإن الإزهار يبدأ عادة رغم تعرض النباتات لظروف النهار الطويل وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة إحداث التواقت الضوئي.

ويختلف عدد دورات التواقت الضوئي Photoperiodic Cycles اللازمة لكي يحدث الإزهار من نوع نباتي إلى آخر فبعض نباتات النهار القصير مثلاً تحتاج إلى نهار قصير متنوع بليل طويل لكي يحدث بها الإزهار إذا وجدت في ظروف نهار طويل قبل المعاملة وبعدها. كذلك فإن إحداث التواقت الضوئي يمكن إجراؤه على نباتات النهار الطويل. وتسمى أية دورة من التواقت الضوئي تؤدي إلى الأزهار في النباتات بدورة التأثير الضوئي Photoinductive Cycles مثال ذلك قد يحتاج نبات معين ينتمي إلى مجموعة النهار القصير إلى فترة إضاءة طولها 8 ساعات تتعاقب مع فترة الظلام طولها 16 ساعة وهذه تكون أفضل دورة تأثير ضوئي ممكنة لهذا النبات بينما لا تكون فترة إضاءة طولها 16 ساعة متعاقبة مع فترة ظلام طولها 8 ساعات دورة لنوع آخر.

ورغم أن المعاملة الضوئية لفترة قصيرة لإحداث التواقت الضوئي تكفي لبدء الأزهار فإن المعاملة لفترة أطول تسرع من نضج الإزهار.

وتتغير حساسية النبات في هذا المجال حسب عمر النبات فكثير من التجارب تشير إلى أن الأوراق الحديثة غير الناضجة غير فعالة في إحداث التواقت الضوئي ولكن يلزم للغالبية العظمى من النباتات أن يتكون عليها حد أدنى من الأوراق الخضرية حتى تتحول هذه النباتات إلى النمو التكاثري.

ويعتمد التواقت الضوئي على مدة duration التعرض للإضاءة أكثر مما يعتمد على شدة Intensity الإضاءة، فمثلاً يكفي لكى تزهر نباتات النهار الطويل أن تتعرض لنهار قصير طبيعي الإضاءة تليه إضاءة صناعية تتعرض فيها النباتات لشدة إضاءة منخفضة. ومن الطبيعي أن شدة الإضاءة المرتفعة في جزء من الفترة الضوئية لازمة كى يفي البناء الضوئي بمتطلبات النمو.

ولا يحدث الإزهار نتيجة للتعرض للضوء إلا إذا توافر وجود CO_2 في نفس الوقت.

ومما تجدر الإشارة إليه أن نباتات النهار الطويل "بعكس نباتات النهار القصير لا تحتاج إلى دورة متعاقبة من فترات الإضاءة والإظلام، ولكنها يمكن أن

تزهر. إذا لم تتعرض لأية فترات من الظلام، أما نباتات النهار القصير فيلزمها ظلام لكى تزهر وطول فترة الإظلام له أهميته مثل طول فترة الإضاءة وهذا يتضح من التجارب التي يتغير فيها طول فترة الإظلام بينم تثبت فترة الإضاءة. فقد وجد أن نباتات النهار القصير يلزمها لكى تزهر حد أدنى من فترة الإظلام مهما اختلف طول فترة الإضاءة وعلى هذا فإن أزهار نباتات النهار القصير بتعريضها للنهار القصير يكون نتيجة لأن فترات الإظلام طويلة وليس نتيجة لأن فترة الإضاءة قصيرة كذلك تتضح أهمية فترة الإظلام من التجارب التي تتعرض فيها النباتات أثناء فترة الإظلام للضوء فترة قصيرة إذ لا تزهر هذه النباتات وبالمثل فإن نباتات النهار الطويل لا تزهر في ظروف النهار القصير وهذا يرجع أساساً إلى فترات الإظلام تكون أطول مما ينبغي فمثل هذه الأنواع النباتية تزهر في فترات الإضاءة القصيرة لو أنها تعاقبت مع فترات من الإظلام تكون قصيرة أيضاً.

وعلى هذا فإن العامل المتحكم في التواقت الضوئي هو أساساً طول أطول فترة إظلام متصلة Longest continuous dark period في دورة التواقت الضوئي وليس الطول الكلي لفترة الإضاءة أو لفترة الإظلام في أى دورة ضوئية طولها 24 ساعة. ولهذا فقد يطلق اصطلاح نباتات الليل الطويل Long Time ليعبر بطريقة أدق عن النباتات المعروفة بأسم نباتات النهار القصير. وكذلك قد يطلق اصطلاح نباتات الليل القصير Short night ليعبر بطريقة أدق عن النباتات المعروفة باسم نباتات النهار الطويل، وطبقاً لهذا التقسيم فإن نباتات الليل الطويل لا تزهر إلا إذا زادت فيها فترة الإظلام عن حد معين أما في نباتات الليل القصير فإن أطول فترة إظلام متصلة يجب أن تقل عن حد معين. ولكن قد يفضل استعمال اصطلاحات نباتات النهار الطويل ونباتات النهار القصير لانتشار هذه التسمية.

وتؤثر درجة الحرارة على تأثر النباتات بالتواقت الضوئي. وعلى العموم قد تكون درجة الحرارة أثناء فترة الإظلام أكثر أهمية في هذا المجال عن درجة الحرارة أثناء فرة الإضاءة.

وتشير كثير من النتائج أنه في حالة نباتات النهار القصير وكذلك نباتات النهار الطويل فإن الأوراق، وليس القمم النامية حيث تتكون البراعم الزهرية، هى التي تستقبل مؤثر التواقت الضوئي Photoperiodic stimulus. ففي أحد التجارب أزهر نبات السبانخ Spinach (أحد نباتات مجموعة النهار الطويل) حينما تعرضت الأوراق لفترات إضاءة طويلة ولكن إذا تعرضت القمم النامية

لفترات طويلة بينما تعرضت الأوراق لفترات إضاءة قصيرة فإن النباتات يظل في الحالة الخضرية.

ولما كانت تفاعلات التواقت الضوئي تحدث في الأوراق فإن تأثيرها يجب أن ينتقل بطريقة ما إلى المرستيمات حتى ينتقل النبات إلى النمو التكاثري وتختلف المسافة التي ينتقل فيها التأثير باختلاف النباتات وبعوامل أخرى.

آلية التوقت الضوئي

اتضح عامة أن المستقبل للطول الموجي للضوء المؤثر في التواقت الضوئي هو مستقبل عام واحد في النباتات المختلفة وهو عبارة عن صبغة نباتية تسمى الفيتوكروم. وهى توجد في صورتين الأولى الفيتوكروم الممتص للضوء الأحمر 660 nm (PR) والثانية هى الفيتوكروم الممتص للضوء الأحمر البعيد 730 nm (Pfr) والصورتان يتحولان فيما بينهما ضوئياً (ضوء) وأيضاً الصورة Prf تتحول ببطئ في الظلام كيميائياً إلى الصورة Pr. أو تتحول إلى مركب غير نشط غير معروف وهذا التحول الإظلامي يظهر أنه محصور في ذوات الفلقتين فقط. ومن المعروف أن الضوء الأبيض تحت الظروف العادية له تأثير الضوء الأحمر الفعال في كسر فترة الإظلام المتصلة في نباتات النهار القصير عن طريق تحويل Pr إلى الصورة Pfr مما يؤدي إلى تثبيط التزهير في هذه النباتات. وعلى الجانب الآخر يؤدي إعطاء ضوء أحمر بعيد عقب المعاملة بالضوء الأحمر إلى زوال تأثير الضوء الأحمر والعكس صحيح وهذه المعاملة الأخيرة هي التي تحدد نوع الاستجابة.

وفي النهار تتراكم الصورة Pfr فوق مستوى حرج معين وهى مناسبة لتزهير نباتات النهار الطويل ولكنها تثبط تزهير نباتات النهار القصير. بينما في الظلام تحول الصبغة إلى الصورة Pr وتقل أو تنعدم الصورة Pfr مما يشجع تزهير نباتات النهار القصير ومنع تزهير نباتات النهار الطويل مع ملاحظة أن الصورة Pfr أيضاً مهمة لتزهير نباتات النهار القصير مثل نباتات النهار الطويل ولكن بمستوى أقل من حد حرج معين أى النسبة بين كل من الصورتين هى التي تحدد مدى الاستجابة.

الملخص

1. **علاقة النبات بالماء:** ترجع أهمية الماء إلى كونه أساس تركيب مادة الحياة وتفاعلات البروتوبلازم. كما يتم بواسطتها عمليات نقل المواد داخل النبات والتنظيم الحراري واستقامة الأعضاء الغضة ووظائف أخرى هامة في النبات– تتواجد عدة صور للمحاليل المائية مثل المحاليل الحقيقية والمحاليل الغروية والمعلقات– أهمها الغرويات حيث أن المادة الحية في الخلية تكون في صورة محلول غروي. للغرويات خواص هامة كالشحنات الكهربية على دقائقها– وظاهرة انعكاس الأطوار والتجمع السطحي واللزوجة وغير ذلك.

يتحرك الماء في النبات تبعاً لعدة ظواهر منها: الانتشار وهو انتقال دقائق المادة من نقطة ذات جهد كيميائي مرتفع لنقطة ذات جهد كيميائي منخفض. ثاني هذه الظواهر هى الأسموزية وهى انتشار المذيب عبر الأغشية شبه المنفذة ومنها أيضاً عملية التشرب.

يمتص معظم الماء بواسطة الجذور وأغلبه من منطقة الامتصاص. يؤثر على عملية الامتصاص قوى مباشر توجد في الجذر نفسه وقوة غير مباشرة تنشأ نتيجة فقد الماء في عملية النتح ولكل منها عدة عوامل تؤثر عليهما.

يتم فقد الماء من النبات من عدة مناطق بعدة طرق أهمها عملية النتح التي يتم معظمها عن طريق الثغور الهوائية التي تتحكم بواسطة خلاياها الحارسة في كمية النتح.

2. **التغذية المعدنية للنباتات:** هناك حوالي 16 عنصر يطلق عليها العناصر الأساسية (الضرورية) لا يستطيع النبات أن ينمو جيداً ويكمل دورة حياته عند غياب إحداها أو أكثر ولكل منهما وظيفة محددة داخل النبات. عند نقص أحد هذه العناصر تظهر على النبات أو أجزاء منه أعراض مرضية مميزة. هذه العناصر قد يحتاج النبات بعضاً منها بكمية كبيرة نسبياً فيطلق عليها العناصر الأساسية الكبرى وقد يحتاج بعضاً منها بكميات ضئيلة فيطلق عليها العناصر الأساسية الصغرى، يحدث انتقال المحاليل داخل النبات من خلية لأخرى أو من خارج الخلية للداخل عبر الأغشية الخلوية التي تتحكم في هذه العملية التي يطلق عليها عملية النفاذية. وانتقال الأيونات قد يكون انتقالاً سالباً إذا تم تبعاً لقوانين الانتشار

واختلاف الجهد على جانبي الغشاء وقد يكون انتقالاً نشطاً إذا استخدمت الخلية الطاقة لإتمام هذا الانتقال، خاصة ضد فروق التركيز وله ميكانيكية انتقال خاصة، بينما يتم انتقال الذائبات من مكان لآخر داخل النبات إما عن طريق أوعية الخشب بالنسبة للذائبات المعدنية- وإما عن طريق نسيج اللحاء خاصة في حالة المحاليل العضوية مثل السكريات وغيرها.

3. **التحولات الغذائية في النبات:**

الأنزيمات: هي منظمات حيوية تفرز في الخلايا لتقوم بإتمام التفاعلات الكيمياء الحيوية في الخلايا. ويتركب الأنزيم من جزء رئيسي بروتيني وأحياناً جزء آخر غير بروتيني ضروري لعمل الأنزيم يطلق عليه المرافق الأنزيمي. وهى عدة أنواع منها مثلاً ما هو خاص بنقل الهيدروجين- ومنها ما هو خاص بنقل الفوسفات وغيرها- يتأثر عمل الأنزيمات بعد عوامل هامة- كما تقسم الأنزيمات لعدة أقسام حسب طبيعة عملها.

التنفس: هو عملية حيوية يحصل بها النبات على الطاقة اللازمة لحياته عن طرق أكسدة المواد الغذائية وأهمها سكر الجلوكوز وتنطلق الطاقة في عدة صور مع انطلاق ك أ$_2$ والماء واستهلاك الأكسجين. وللتنفس عدة طرق حسب نوع المادة المستخدمة في التنفس عن طريق دورات أنزيمية خاصة. فمثلاً عند استخدام سكر الجلوكوز كمادة تنفس تتم أكسدة هذا السكر الأحادي وبه ست ذرات كربون في خطوتين رئيسيتين كل منهما في عدة خطوات معقدة لتخرج الطاقة في صورة متدرجة هاتان الخطوتان هما الانحلال الجليكولي، ويتم في نهايته تحويل الجلوكوز إلى 2 جزئ من مركب ثلاثي الكربون هو حمض البيروفيك مع انطلاق قدر ضئيل من الطاقة وفي الخطوة الثانية يتم أكسدة حمض البيروفيك إلى ك أ$_2$ والماء وانطلاق قدر كبير من الطاقة في دورة طويلة تسمى دورة كربس.

التحولات الغذائي في الكربوهيدرات:

وهى مجموعة كبيرة من المركبات الرمز العام لها (ك يد$_2$ أ)ن $(CH_2O)_n$ تشكل 50-80% من الوزن الجاف للنبات ولها عدة أنواع مثل السكريات البسيطة والمتعددة والمواد البكتينية والصموغ وغيرها.

التحولات الغذائية في الليبيدات

وهـى مجموعـة غيـر متجانسـة مـن المركبـات ذات محتـوى مرتفـع مـن الكربون والهيدروجين تشترك في صفة عدم ذوبانها في الماء ولكنها تذوب في مذيبات الدهون مثل الكحول والبنزين وغيرها، ومن أهم أنواع الليبيدات ما يعرف بالدهون والزيوت (ثلاثي الجلسريدات) وتتركب من سلاسل طويلة من الأحماض الدهنية ترتبط مع كحول ذو ثلاث ذرات كربون هو الجليسرول بروابط استر ومنها أيض الشموع ومنها الفسفوليبيدات وتشبه في تركيبها الدهون فيما عدا استبدال أحد الأحماض الدهنية بحمض فوسفوريك الذي يرتبط بدوره مع مركبات نيتروجينية خاصة. ومنها الجليكوليبيدات وترتبط بالسكر.

التحولات الغذائية للنيتروجين

لا يفوق كمية عنصر النيتروجين في النبات سوى عناصر الكربون والأكسجين والهيدروجين.. ويتحول النيتروجين بواسطة النبات بعدة طرق منها تحول النيتروجين إلى أمونيا (تثبيت النيتروجين الجوي) ومنها تحول النترات إلى أمونيا ثم تحول الأمونيا إلى نيتروجين عضوي ومن أهم المركبات النيتروجينية في النبات الأحماض الأمينية والأميدات والأحماض النووية والبروتينات.

4. **البناء الضوئي:** بمعرفة الدعائم التي تقوم عليها عملية البناء الضوئي التي تتوقف عليها حياة أغلب الكائنات تمكنت الدراسات العديدة اللاحقة من إلقاء الضوء على ميكانيكيات هذه العملية والجوانب المتعلقة بها.

أ- تستهلك النباتات جانباً ضئيلاً من الإشعاع الشمسي الساقط على الأرض وتستخدم في ذلك صبغات متخصصة تتضمن الكلوروفيل، يتحكم في تخليقها عوامل متنوعة، لامتصاص الضوء وانتقال طاقته إلى مركز التفاعل وهو أحد صور الكلوروفيل.

ب-يمنح مركز التفاعل الكترونه المثار إلى مستقبل الكترون وبذلك تتحول طاقة الضوء إلى طاقة كيماوية ويستعيض بدلاً منه الكترون آخر من الماء.

ج- يتم ذلك من خلال تعاون نظامين ضوئيين لرفع طاقة الالكترونات بهدف بناء مختزل قوى وكذلك مركبات نقل الطاقة من خلال ثلاثة أنواع من الفسفرة لاستخدامها في إختزال ك أ$_2$ (CO_2).

د- عرفت بعض الأنظمة الأيضية في البناء الضوئي لتخليق المركبات التي تستخدم في بناء جسم النبات وعملياته الحيوية يستخدم في أحداها أنزيم Rubisco لتثبيت ك أ$_2$ (CO_2) من خلال دورة كالفن ويميز نباتات ك3 C_3-Plant.

هـ- تحتوي نباتات ك$_4$ (C_4-Plants) على دورة إضافية لتثبيت ك أ$_2$ بواسطة أنزيم Pepcase تزيد من تركيز ك أ$_2$ كفاءة الدورة السابقة التي تعمل في خلايا مستقلة في نفس الوقت.

و- يتميز أيض النباتات العصارية باستخدام مرحلتي الليل والنهار لتبادل عمل الأنزيمين السابقين في نفس الخلية بهدف تفادي فقد الماء منها.

ز- تم عرض ميكانيكيات البناء الضوئي أو الكيماوي التي تحدث في الكائنات الدقيقة وسرد العوامل التي تؤثر على البناء الضوئي في النباتات وبالتالي الإنتاجية.

5. **النمو والتطور النباتي:** يبدأ النبات حياته بخلية الزيجوت ومنها يتكون الجنين الذي تتكشف وتنمو خلاياه لتكون أعضاء النباتات المختلفة. وهناك حوالي خمس مجموعات كيماوية تتحكم في نمو وتطور النبات. تعرف بمنظمات النمو النباتية ومنها الأكسينات وأهم تأثيراتها استطالة الخلايا وتنشط انقسامها ودورها في الانتحاء الأرضي والضوئي ولها دور في تكوين الجذور والثمار اللابذرية ووقف نمو البراعم الجانبية (السيادة القمية)- كما أن لها دور في منع تساقط الأوراق والثمار ومقاومة الحشائش- ومن هذه المجاميع الجبريلينات ولها دور هام في زيادة النمو الطولي للساق والتغلب على ظاهرة التقزم الوراثي وكسر سكون البذور والبراعم وتحديد الجنس- وثالثة المركبات هى السيتوكينينات ولها دور في تشجيع الانقسام الخلوي وتضخم الخلايا وكسر السيادة القمية ومنع الشيخوخة وزيادة عقد الثمار وكسر سكون البذور والبراعم. ومن هذه المركبات حمض الأبسيسيك ويؤدي إلى تثبيط إنبات. البذور والنمو الخضري وبالتالي يدفع النبات للإزهار- ويؤدي إلى سكون البذور والبراعم وسقوط الأوراق والبراعم والأزهار والثمار والإسراع في الشيخوخة- وآخر هذه المركبات الإيثيلين ويساعد على إسراع نضج الثمار والإسراع في الشيخوخة وانحناء الأوراق بعيداً عن الساق والتساقط وكسر السيادة القمية وزيادة التفرع. أما النمو فيمكن تعريفه بأنه الزيادة الدائمة غير العكسية في

الحجـم أو المسـاحة أو الطـول أو العـدد أو الـوزن– ويمكـن ملاحظتـه ودراسته بحساب معدل النمو أو قياس النمو بعدة طرق مثل قياس الحجم أو الطـول أو الـوزن سـواء للنبـات كلـه أو لأى عضـو منـه– ويـتحكم فـي النمو عدة عوامل غذائية وهرمونية وراثية.

أمـا عـن مرحلـة الإزهـار فلكـي يـتم النبـات دورة حياتـه يلـزم أن يمـر علـى فتـرتين مختلفتـين همـا الفتـرة الحراريـة والفتـرة الضـوئية ولكـل منهمـا آليـات مختلفة.

أسئلة متنوعة على القسم الثالث
فسيولوجيا النبات
أ. الأسئلة الموضوعية

السؤال الأول:

أكتب المفهوم العلمي لكل مما يأتي:

1- العملية التي يحصل من خلالها الكائن الحي على الطاقة اللازمة لحياته عن طريق أكسدة المواد الغذائية (.....)

2- الأنزيمات التي تغير أحد مشابهات مركب ما إلى المشابه الآخر (.....)

3- الإضاءة التي يتساوى فيها ك أ$_2$ الممتص في عملية البناء الضوئي مع ك أ$_2$ الناتج من التنفس (.....)

4- ليبيد ترتبط فيه مجموعة الأيدروكسيل الطرفية للجليسرول بسكر غالباً الجالكتوز) عن طريق رابطة جليكوسيدية (.....)

5- هرمون نباتي ينتج داخلياً في النبات ويتحكم في سكون البذور والبراعم وتساقط الأوراق وكذلك الثمار. (.....)

6- الزيادة الدائمة غير العكسية في الوزن أو الحجم أو المساحة أو الطول أو العدد (.....)

7- انتقال دقائق المادة من نقطة ذات جهد كيميائي مرتفع إلى نقطة ذات جهد كيميائي منخفض لهذه المادة (.....)

8- انتشار المواد خلال الأغشية شبه المنفذة نتيجة اختلاف الجهد الكيميائي على جانبي الغشاء (.....)

9- قطرات مائية تظهر عند قطع الساق النباتية (.....)

10- خروج قطرات مائية في الصباح الباكر من أطراف أوراق بعض النباتات (.....)

11- المحتوى المائي للتربة بعد ابتلالها جيداً وحدوث الرشح وحدوث حالة الاتزان (.....)

12- المحتوى المائي الذي تصبح فيه أوراق النبات ذابلة في غرفة ذات جو رطب (.....)

13- منظمات التفاعلات التى تفرز من خلايا النبات (.....)

14- النسبة بين حجم CO_2 المنطلق أثناء التنفس إلى حجم الأكسجين الممتص فى العملية (.....)

15- كمية الأكسجين الممتص أو كمية ثاني أكسيد الكربون المنطلق (.....) في فترة زمنية معينة.
16- مجموعة من المركبات المشتقة من الكربوهيدرات وتتكون من (.....) سلسلة طويلة مستقيمة وغير متفرعة من حمض الجلاكتورونيك
17- الأنزيم الذي يساهم في بناء جزئ النشا من وحدات من جلوكوز (.....) 1- فوسفات
18- من المشتقات النيتروجينية للكربوايدرات ويوجد في الحشرات (.....) والفطريات
19- مركبات تحتوي على أكثر من مجموعة أمين ومن أمثلتها (.....) الجلوتامين
20- مجموعة من المركبات التي تشترك في صفة عدم ذوبانها في (.....) الماء وفى أنها تذوب فى المذيبات العضوية

السؤال الثاني

تخير الإجابة الصحيحة لكل عبارة من العبارات التالية

1. أى من المسارات التالي يعبر عن مسار حركة الماء الممتص بالجذر

أ- الشعيرة ← القشرة ← البريسيكل ← الأندودرمز ← الخشب

ب- التربة ← البشرة ← القشرة ← الأندودمز ← الخشب

ج- الشعيرة ← البشرة ← القشرة ← الأندودمز ← البريسيكل ← الخشب

2. من العناصر الهامة والضرورية لبناء الكلوروفيل بالرغم من عدم دخوله في تركيبه:

أ- الماغنسيوم

ب- الحديد

ج - الكالسيوم

3. من المرافقات الأنزيمية الخاصة بنقل الأيدروجين

أ- NAD

ب- ATP

ج- CDN

4. من الأنزيمات الناقلة:

أ- Kinases

ب- Phosphatase

ج- Isomerases

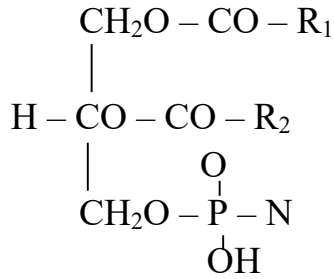
5. من الكربوهيدرات عديدة التسكر

أ- الببتوزات

ب- الرافينوز

ج- الجلسرالدهيد

6. التركيب الكيميائي الذي الرمز العام له



هو لمجموعة:

أ- الفوسفوليبيدات

ب-الجليكوليبيدات

ج- الشموع

7. تلعب بعض الهرمونات النباتية دوراً هاماً أساسياً في تحديد جنس النبات حيث:

أ- يزيد الجبريلين من الأزهار المؤنثة

ب-يقلل الأكسين من الأعضاء الأنثوية

ج- تؤدي المعاملة بالجبريلين إلى زيادة عدد الأزهار المذكرة

8. من التأثيرات الفسيولوجية لحمض الأبسيسيك كلا مما يأتي عدا:

أ- تأخير الشيخوخة

ب-سكون البذور والبراعم

ج- مقاومة الإجهاد المائي أو الملحي

9. تتعدد العوامل التي تؤثر على معدل الانتشار حيث:

أ- يزيد معدل الانتشار بزيادة تدرج الجهد الكيميائي

ب-يقل معدل الانتشار كلما زادت درجة ذوبان المادة المنتشرة

ج- يزيد معدل الانتشار بخفض درجة الحرارة

10. من الهرمونات النباتية التي تساعد في التغلب على ظاهرة التقزم الوراثي:

أ- الجبريلينات

ب-السيتوكينينات

ج- حمض الابسيسيك

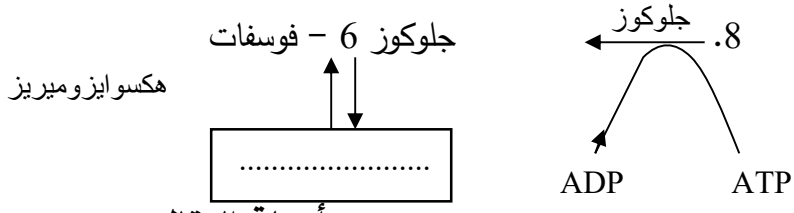
السؤال الثالث:

أكمل العبارات التالية:

1. يلعب الماء دوراً هاماً في تكاثر النبات ويتمثل ذلك في أنه .....،
.....
2. تنقسم المحاليل المائية إلى ثلاثة أنواع حسب حجم المواد المنتشرة فيها وهى .....، .....، .....
3. للغرويات خصائص هامة منها .....، .....، .....
4. للنتح transpiration عدة أنواع منها .....، .....، .....
5. من العناصر الغذائية الكبرى .....، .....، .....
بينما من العناصر الغذائية الصغري .....، .....، .....

6. أنزيم + مادة التفاعل $\overset{1}{\rightleftharpoons}$ ..... $\overset{2}{\rightleftharpoons}$ أنزيم.....

7. كحول إيثايل + NAD $\rightleftharpoons$ اسيتالدهيد + $NADH_2$

8. 

ب- أسئلة المقال

1. أذكر ما تعرفه عن أهمية الماء للنبات.
2. حدد باختصار أنواع المحاليل المائية ثم أذكر خواص الغرويات.
3. عرف الانتشار ثم بين العوامل التي تؤثر على معدل الانتشار.
4. وضح الفرق بين الأسموزية والجهد الأسموزي والجهد المائي والتشرب.
5. وضح على الرسم مسار حركة الماء الممتص خلال الجذر.
6. أشرح القوى المختلفة التي تؤدي إلى امتصاص الماء بواسطة النبات.
7. أشرح العوامل المؤثرة على امتصاص الماء.
8. ما هى الطرق المختلفة لفقد الماء من النبات؟ وما هى العوامل المؤثرة على معدل النتح؟
9. عدد العناصر المعدنية الأساسية لتغذية النبات الكبرى منها والصغرى- ثم وضح أهمية عنصر البوتاسيوم وأعراض نقصه على النبات.
10. ماذا تعرف عن النفاذية وما الفرق بين الانتقال السالب والنشط للذائبات؟
11. أذكر ما تعرفه عن ميكانيكيات الانتقال النشط مع الرسم؟
12. عرف الأنزيم والمرافق الأنزيمي ثم وضح أهم أنواع المرافقات الأنزيمية؟
13. وضح طبيعة فعل الأنزيم- ثم وضح العوامل المؤثرة في نشاط الأنزيم؟
14. ماذا تعرف عن أنزيمات الأكسدة والاختزال- الأنزيمات الناقلة- أنزيمات التحليل المائي- الأنزيمات النازعة- أنزيمات المشابهات؟
15. أذكر ما تعرفه عن: معامل التنفس- معدل التنفس؟
16. ما هى العوامل المؤثرة على سرعة عملية التنفس؟
17. وضح برسم تخطيطي عملية الانحلال الجليكولي؟
18. وضح برسم تخطيطي دورة كربس؟
19. ما هى الأقسام المختلفة للكربوهيدرات؟
20. أذكر العوامل التي تؤثر على تحولات الكربوهيدرات؟
21. ما هى الليبيدات؟ أذكر أهم أنواعها؟
22. أذكر مع الرسم ما تعرفه عن بناء الدهون؟
23. أذكر ما تعرفه عن تثبيت النيتروجين الجوي- تحول النترات إلى أمونيا- تحول الأمونيا إلى نيتروجين عضوي؟
24. أذكر مع الشرح أهم المركبات النيتروجينية في النبات؟

25. لماذا يشتمل تفاعل الضوء في النباتات الراقية والطحالب الخضراء على نظامين ضوئيين- ما هى العلاقة بين هذين النظامين وما هى النواتج النهائية لهما؟
26. وضح الفرق بين الأنسياب الالكتروني غير الدائري والدائري الكاذب المرتبط بالفسفرة؟
27. ما هى العلاقة بين تفاعل الضوء ودورة اختزال الكربون؟
28. ما هى الأهمية البيئية لنباتات دورة ك4 بالمقارنة بنباتات ك3 وكيف يمكن زيادة كفاءة الأخيرة؟
29. ما هى أوجه الخلاف بين أيض النباتات العصارية وأيض ك 4؟
30. ناقش العوامل المختلفة التي تؤثر على تخليق الكلوروفيل في النبات؟
31. تكلم عن العوامل التي تؤثر على البناء الضوئي والإنتاجية؟
32. أذكر ما تعرفه عن بناء وانتقال: الأكسينات- السيتوكينينات- الجبريلينات- حمض الأبسيسيك- الإيثيلين؟
33. أذكر أهم التأثيرات الفسيولوجية لكل من: الأكسينات- السيتوكينينات- الجبريلينات- حمض الأبسيسيك- الإيثيلين؟
34. عرف النمو ثم وضح مظاهره المختلفة؟
35. أذكر ما تعرفه عن معدل النمو ومنحنى النمو؟
36. أذكر الطرق المختلفة لقياس النمو- ثم وضح العوامل التي تتحكم في النمو؟
37. أذكر ما تعرفه عن الفترة الحرارية؟
38. أذكر ما تعرفه عن الفترة الضوئية في الأزهار؟
39. كيف يحدث التواقت الضوئي؟
40. أذكر ما تعرفه من آلية التواقت الضوئي؟

بعض التطبيقات العملية

أولاً: تشريح النبات

أ. تركيب الخلية النباتية

1. حضر سلخاً من البشرة الداخلية لورقة البصل وأفحصه مجهرياً- أرسم أحدى الخلايا موضحاً شكل النواة وموضعها- حجم الفجوة العصارية- مع كتابة البيانات على الرسم.
2. افحص ورقة نباتات الألوديا مجهرياً ولاحظ تركيب الخلايا ثم شكل البلاستيدات الخضراء داخل هذه الخلايا وعددها.
3. أقطع درنة بطاطس- حرك سطح القطع في نقطة ماء على الشريحة الزجاجية. بعد وضع غطاء الشريحة أفحص التحضير لمشاهدة حبيبات النشا- هل هى متشابهة في الشكل والحجم- كيف يبدو تريب النشا حول السرة.
4. النقر- أفحص النقر البسيطة الضحلة بجدر الخلايا البارنشيمية- والنقر البسيطة الغائرة في خلايا أندوسبرم بذرة البلح- والنقر المضفوفة في قصيبات الصنوبر.

ب- الأنسجة النباتية

1. أفحص الخلايا المرستيمية المتراصة في قمة جذر نبات البصل ولاحظ أن المادة البروتوبلازمية الحية (سيتوبلازم ونواة) تملأ حيز الخلية.
2. حضر سلخاً من بشرة وريقة الفول- أفحص الثغور وحدد شكل الخلايا الحارسة- وفتحة الثغر لاحظ الفرق بين تلك الخلايا الحارسة وخلايا البشرة العادية
3. حضر سلخاً من بشرة نبات الذرة- أفحص الثغور وخلايا البشرة وحدد الفرق بينهما وبين ما شاهدته في بشرة الفول.
4. حضر سلخاً من بشرة ورقة نبات الجارونيا أفحص الشعيرات الموجودة وحدد عدد خلاياها وأشكالها المختلفة (نموذج لزوائد البشرة).
5. أفحص نسيج البريدرم في القطاع العرضي المقدم لك ولاحظ طبقاته المختلفة ثم افحص احدي العديسات به.
6. أفحص القطاعات العرضية المجهزة لبعض سوق الأنواع النباتية المختلفة ولاحظ أنواع الخلايا الكولنشيمية وحدد نوع الترسيب في هذه الخلايا.

7. فحص شكل الألياف (خلايا اسكلرنشيمية) في القطاعات المجهزة التي تظهر الألياف في المقطع الطولي والمقطع العرضي.
8. لاحظ تركيب نسيج اللحاء في القطاعات العرضية المقدمة لك- ثم وضح الفرق بين الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة وبارنشيمية اللحاء .
9. لاحظ أشكال التغليظ على جدر أوعية الخشب في التحضير المقدم لك (حلقي- حلزوني- سلمي- شبكى- نقري).
10. لاحظ أشكال وحدات الجهاز البارنشيمي في عدة قطاعات مختلفة (الخازن في أحدى الدرنات- تمثيل ضوئي في الأوراق وحدات تهوية في نبات مائي).

ج- الأعضاء النباتية

1. أفحص قطاعاً عرضياً رقيقاً في جذر الكنا (فلقة واحدة) ثم وضح أنسجته المختلفة من الخارج إلى الداخل ونسبة كل منها للآخر ثم أعمل رسماً تخطيطياً وآخر تفصيلياً للقطاع.
2. أفحص قطاعاً عرضياً في جذر بادرة الفول (فلقتين حديث) ولاحظ أنسجته المختلفة- وضح أنسجته المختلفة- وضح الفرق بينه وبين القطاع السابق.
3. أفحص قطاعاً عرضياً في ساق دوار الشمس الحديث (فلقتين حديث) وافحصه موضحاً على الرسم (التخطيطي- والتفصيلي) الأنسجة المختلفة.
4. أفحص قطاعاً عرضياً لساق نبات السعد (فلقة واحدة) موضحاً على الرسم الأنسجة المختلفة مبيناً الفرق بينه وبين نبات دوار الشمس.
5. أفحص القطاعات العرضية في نصل ورقة نبات من ذوات الفلقتين (القطن- الفول) وورقة نبات من ذوات الفلقة الواحدة (الذرة- القمح- النجيل) موضحاً التركيب التشريحي والفروق بين كلا النوعين.
6. أفحص القطاع العرضي في جذر القرع (فلقتين مسن) ولاحظ الأنسجة المختلفة به ثم قارنه بالجذر ذو الفلقتين الحديث وتوزيع الأنسجة في كل منها.
7. أفحص القطاع العرضي في ساق فلقتين مسن موضحاً الأنسجة الثانوية السائدة في القطاع ما الفروق بينها وبين أنسجة الجذر المسن؟

ثانياً: التشكل المورفولوجي وتقسيم النبات

1. أفحص المجموع الجذري الذي أمامك ثم صف الخصائص المورفولوجية له وحدد نوعه.
2. أفحص القطاع العرضي المجهز في جذر نبات الكلاديوم ولاحظ النطاق الخلوي الخارجي موضحاً دور هذا النسيج؟
3. ماهى الخصائص المميزة لجذر ابن سيناء (الشورة) – لاحظ الفتحات المبعثرة فوق سطحها وحدد وظيفتها .
4. أفحص القطاع العرضى الذى يوضح تطفل نبات الحامول على ساق عائلة البرسيم – لاحظ الارتباط النسيجى بينهما .
5. أفحص جذر البطاطا المنقوع فى الماء ولاحظ النبات الصغير النامى منه .
6. أفحص العينات المعطاة لك من السوق المختلفة وقارن بينهما من حيث الشكل والمقطع.
7. قارن بين السوق القائمة في نبات الفول (أو البرسيم) ونبات القطن الشجيري والسوق المدادة في الفراولة.
8. أفحص النماذج المختلفة للسوق المتسلقة في نباتات العليق والعنب والجهنمية والورد صف طريقة التسلق فيها.
9. أمامك نموذج لنبات الفجل لاحظ نظام خروج الأوراق من الساق الخاصة بذلك النبات.
10. حدد أنواع السوق في نموذج الصنوبر خصوصاً الحاملة للأوراق الأبرية وقارنها بالساق الأخرى الوسطية.
11. أفحص ريزوم الغاب ولاحظ خصائصه المورفولوجية وغطاءه السطحي ما هو نظام تفرعه.
12. لماذا يقال أن الساق الهوائية للموز كاذبة– ما هى الساق الحقيقية وما موقعها وما دورها في النبات.
13. أفحص درنة البطاطس التي أمامك– ما لونها– ما هى الانخفاضات الغائرة على سطحها– أفحص بالعدسة التركيبات النباتية المتواجدة بها– هل تظهر بها تقسيمات العقد والسلاميات.
14. افحص درنة الطرطوفة وقارنها بالنموذج السابق– ما نوع الغذاء المخزن بها.

15. افحص كورمة القلقاس وقارنها بكورمة الأنثوليزا- لاحظ الغطاء السطحي لتلك السوق.
16. أفحص التركيب النباتي للأبصال- حدد موقع اتصال الجذور بها- ثم أعمل قطاعاً طولياً ينصفها- حدد موقع الساق وشكلها المميز- لاحظ أنواع الأوراق المكونة لجسم البصلة.
17. أفحص بصلة نبات الثوم ثم أعمل قطاعاً طولياً في الفص وحدد الأعضاء النباتية المكونة لها.
18. قارن بين السوق المتورقة في الأسبرجس والمهلنبكيا والكاوزورينا- لاحظ لونها وتركيبها الساقي في كل حالة.
19. أفحص المحاليق الموجودة في نبات العنب والأنتيجونن والساعة ومنشأ المحاليق في كل منها.
20. أفحص السوق المتشحمة في التين الشوكي وعمة القاضي ما نوع التخزين بها والأشواك التي تحملها.
21. أفحص القطاع الطولي في البرعم الطرفي وتعرف على المحور الوسطي ومواقع النتوءات المرستيمية للأوراق الحديثة.
22. قارن بين نماذج نباتات الدورانتا والعنب من حيث التركيب في كل حالة.
23. قارن بين التراكيب الورقية في نباتات الدورانتا والفول والبوانسيانا من حيث التركيب البسيط والمركب والمتضاعف.
24. أفحص النباتات المعطاة لك وحدد نظم حمل الأوراق على الساق المتبادل- المتقابل- السواري.
25. أفحص بادرتي الفول والترمس- وقارن بين الأوراق الفلقية والأوراق الأولية في كل منهما.
26. أفحص القطاع المجهز في ورقة الصبار ولاحظ النسيج الخازن للماء المميز باتساع الفجوة العصارية وكبر الخلايا.
27. أفحص ألواح التين الشوكي وحدد الشويكات الدقيقة في البراعم مع عدم وجود أوراق خوصية.
28. أفحص الشريحة المجهزة للتركيب المثاني في نبات حامول الماء العذب- لاحظ الأوراق الشريطية والأوراق المتحورة إلى مثانة كمثرية والباب الخاص بها والزوائد المتناثرة على سطحها الداخلي.

29. أفحص النبات الصغير النامي من البرعم العرضي الناشئ على ورقة نبات الودنة.
30. أفحص النماذج الزهرية المعطاة لك والمأخوذة من فصائل.. شرح الزهرة ثم أرسم المسقط الزهري والقطاع الطولي وأكتب القانون الزهري.

ثالثاً: التطبيقات العملية لفسيولوجية النبات

1. حضر محلولاً حقيقياً بإذابة قليل من كلوريد الصوديوم في الماء– اختبر خواص المحلول الحقيقي.
2. حضر محلولاً غروياً كارهاً لوسط الانتشار وهو محلول أيدروكسيد الحديديك وذلك يصب قليل من محلول كلوريد الحديديك في كأس به ماء يغلي– لماذا يسمى كارهاً لوسط الانتشار.
3. حضر محلولاً غروياً محباً لوسط الانتشار بإذابة قليل من الجيلاتين الجاف في قليل من الماء الدافئ– قارن بينه وبين محلول أيدروكسيد الحديديك.
4. ضع قليلاً من محلول الجيلاتين ومحلول أيدروكسيد الحديديك في أنبوبتي اختبار ثم ضعهما في مخلوط مبرد ماذا تلاحظ– أعد التسخين ودون ملاحظاتك مع تفسير النتائج.
5. أضف قليلاً من محلول كبريتات الأمونيوم إلى كل من المحلولين السابقين في أنبوبة اختبار أى المحلولين يترسب ولماذا؟ لاحظ أن محلول الجيلاتين لا يرسب إلا بعد إضافة كبريتات الأمونيوم بالصورة الصلبة وبكمية كبيرة– علل ذلك.
6. ضع حوالي 2 جم من الطمي في أنبوبة اختبار ثم أضف عليها 10 سم^3 من محلول أزرق الميثلين رج الأنبوبة ودون ملاحظاتك مع التعليل.
7. ضع قليلاً من الماء في أنبوبة اختبار ثم أسقطها فيها بلورة من برمنجانات البوتاسيوم لاحظ التغير في اللون– فسر ذلك.
8. خذ قمعاً زجاجياً وأربط على فوهته غشاء شبه منفذ بعد ملئ القمع بمحلول السكروز 20% ضع القمع في كأس به ماء مقطر مع وضع علامة على ساق القمع تبين مستوى (ارتفاع) المحلول به راقب ارتفاع المحلول في ساق القمع من حين لآخر– هل يستمر الارتفاع ما هو القوة التي تسبب الارتفاع.
9. حضر أصيصاً به نبات الجارونيا– اقطع ساق النبات فوق سطح التربة ثم ثبت الجزء المقطوع في أنبوبة زجاجية على شكل حرف T ووصل

الأنبوبة الجانبية بمانومتر مع ملء الأنبوبة والمانومتر بالماء الملون من الفتحة العلوية ثم سد الفتحة بالمطاط ضع علامة عند نهاية عمود الماء في ساق المانومتر– ما الذي تلاحظه مع التعليل.

10. خذ نباتات مزروع في أصيص وأطوى ورقة منه وادخلها في أنبوبة اختبار مناسبة الحجم وجافة سد فوهة الأنبوبة بالقطن المغطى بورق الألومنيوم– دون ملاحظاتك مع التعليل.
11. ثبت ساق نبات تحمل أوراقاً في الفتحة العليا لأنبوب زجاجي بواسطة قطعة من المطاط مع ملء الأنبوبة بالماء ثم أغمر طرف الأنبوبة السفلى في حوض به زئبق دون ملاحظاتك بعد فترة مع التفسير.
12. أفحص النماذج الجاهزة الموضحة لأعراض نقص بعض العناصر الأساسية على بعض النباتات مع الرسم.
13. ضع جزء من محلول النشا المخفف في أنبوبة اختبار ثم أخلطها بقليل من مستخلص اللعاب (بواسطة المضمضة بالماء) خذ عينات كل دقيقة واختبرها باليود– أذكر النتائج وأرسم الأنزيم.
14. أمزج سم^3 من زيت الكتان مع سم^3 من الكحول ثم أضف عليها عجينة بذور الخروع النابتة ثم رج بشدة وبعد ساعة اختبر بواسطة ورقة كشاف دوار الشمس الأزرق– دون النتيجة وأذكر أسم الأنزيم وفسر النتيجة.
15. ضع في طبق بتري قليلاً من عجينة البطاطس المصحونة جيداً ثم أضف عليها بضع نقاط من محلول الجواياكم تلاحظ تحوله إلى اللون الأزرق– لماذا تأكسد الجواياكم أذكر أسم الأنزيم وطريقة عمله.
16. جهز ورقة نبات الدورانتا المبرقشة وعرضها لضوء الشمس ثم أغمسها لمدة دقيقة في ماء يغلى ثم في كحول 95% يغلى إلى أن يختفي لون الكلوروفيل ثم أضف إليها محلول اليود– لاحظ المناطق التي ظهر بها اللون الأزرق مع التعليل.
17. نكس أنبوبة اختبار في حوض زئبق مع جعل الزئبق يرتفع إلى منتصف الأنبوبة وعلى سطحه بعض حبوب الذرة المستنبته مع وضع علامة أمام سطح الزئبق في الأنبوبة لاحظ التغير في هذا السطح– أعد التجربة السابقة مستخدماً بذور الخروع بدلاً من حبوب الذرة لاحظ الفروق مع التعليل.

18. جهز أصيصاً به بعض بادرات القمح الصغير ثم أمل الأصيص على أحد جانبيه– بعد فترة لاحظ ما يحدث على سوق القمح دون النتائج مع الرسم والتعليل.
19. ضع أصيصاً به بعض بادرات القمح في صندوق خشبي مظلم وبه فتحة تسمح للضوء دون ملاحظاتك على البادرات مع الرسم والتعليل.