

## الباب العاشر

### جهاز التهوية The Aërating or Ventilating System

لكل النباتات نشاط قد يقل أو يزداد في تبادل الغازات بينها وبين الجو المحيط بها . ففي أثناء عملية التنفس تأخذ النباتات الأكسجين وتمطى ثاني أكسيد الكربون ، أما أثناء عملية التمثيل الضوئي التي تمتاز بها النباتات الخضراء فيكون التبادل عكسيا حيث يمتص ثاني أكسيد الكربون بينما يطرد الأكسجين الى الخارج . وهناك غازات أخرى قد تكون نتيجة لعمليات خاصة من الهدم مثل الايدروجين أو كبريتور الايدروجين ، كما يتسرب من جسم كل النباتات الأرضية كميات كبيرة من الماء نتيجة لعملية التتح ، هذا علاوة على أن كثيراً من النباتات ما يتخلص من أبخرة تتكون من الزيوت الأثرية وغيرها من المركبات العضوية الطيارة .

ويتمتع نشاط عمليات تبادل الغازات على اتساع السطح الذي يحدث الانتشار الغازي عن طريقه . ففي حالة السكاثات الميكروسكوبية الوحيدة الخلية تكون نسبة أسطحها الخارجية الى أحجامها كبيرة ، أما في النباتات الأرضية الراقية فلا يكون السطح الخارجي بمفرده كافيا لأداء هذه المهمة ، ولذا تتكون بداخلها فجوات وحجرات وقنوات هوائية ، تشابه في علاقتها بالنسبة لما يجاورها من الأنسجة ، علاقة الجو الخارجي بالنسبة للخلايا السطحية .

وتشابه عملية تبادل الغازات في الخلايا الحية سواء أكانت هذه ذات وضع داخلي مجاورة للحجرات الهوائية أم خارجية ذات اتصال مباشر بالجو الخارجي . ففي كل من هاتين الحالتين على الغازات أن تمر خلال أغشية مشبعة بماء الامتصاص ، ولذا يعتبر تبادل الغازات عملية أزموزية تخص النبات بأجمعه أكثر مما تخص الخلية الفردية .

وإذا ما زود جهاز التهوية بمخارج أو منافذ خاصة تسمى Pneumathodes أمكن التمييز بين تبادل الغازات الأزموزي من جهة وبين الامتزاج أو الاختلاط المباثر للغازات من جهة أخرى . وعادة لا تنحصر عملية تبادل الغازات خلال المسافات البينية والفتحات التنفسية في الأوراق والأعضاء الهوائية الأخرى فقط ، وإنما تحدث أيضا خلال الجدر الخلوية المكونة القابلة لنفاذ الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون ، سيما وأن انتشار الغازات خلال جدر خلايا البشرة من الأركان الأساسية في هذه العملية . وتعتبر مثل هذه العملية قريبة الشبه بالعلاقة بين التتح الثغرى والتتح الذي يحدث خلال الكيوتيكول .

ويعتمد تبادل الغازات في الأعضاء النباتية المغمورة دائما أو التي تنمو في تربة زائفة الرطوبة على اتصال مسافات الهوائية بجهاز التهوية الخاص بالأجزاء المعرضة للجو الخارجى والمزودة بالفتحات التنفسية . وقد تقوم مثل هذه الأعضاء بتبادل الغازات مباشرة مع الوسط المحيط بها ، إلا أن هذه العملية تكون بطيئة في هذه الحالة ، ولذا كان تكوين المستودعات الهوائية الداخلية الكبيرة في مثل هذه الأعضاء الأرضية أو المغمورة تحت سطح الماء من الضروريات الهامة .

ويتكون جهاز التهوية عادة من مسافات بينية خلوية هوائية متسعة ، تكون جهازاً متصلاً بالنسبة لوظيفتها ، يخترق كل أنسجة الاجهزة الأخرى التي تقوم بتبادل الغازات لأغراض عملية التتح أو لبعض الأغراض الخاصة الأخرى ، كما يمتاز هذا الجهاز بتكوين المنافذ الخارجية المسماة بالفتحات التنفسية وهذه تختلف كثيراً بالنسبة لتكوينها . وفي معظم الحالات يقوم كل نسيج مستقل عادة ، كالنسيج الخاص بعملية التمثيل الضوئى ، بتكوين المسافات الهوائية اللازمة له بانفصال خلاياه انفصالا جزئياً . وقد تتكون في بعض الحالات مستودعات هوائية كبيرة بالنسبة لحاجة النبات إليها . وتكون مثل هذه المسافات البينية الخلوية الهوائية نسيجاً خاصاً ذا وظيفة أساسية ويسمى تبعاً لذلك بنسيج التهوية Ventilating Tissue or Aërenchyma .

## المسافات والأنسجة الهوائية

### أولاً - أشكال المسافات الهوائية وطبيعة جدر خلاياها

تكون المسافات الهوائية في جسم النباتات جهازاً متصلاً تنظم خلايا أنسجته بأن تلتصق مسافة هوائية واحدة أو أكثر ، إلا أنها تختلف في توزيعها بالنسبة للحاجيات المختلفة والوظائف الخاصة بأنسجة الأجهزة الأخرى المتباينة . وقد تكون مسافات التهوية في هيئة قنوات مستطيلة أو فراغات متسعة أو ممرات وشقوق ضيقة . ففي الأنسجة البرنشيمية العادية المتكونة من خلايا متساوية الأقطار ، تكون المسافات البيئية على شكل ممرات ضيقة تمتد على حواف الخلايا المستديرة ، مكونة في مجموعها جهازاً شبكياً متفرعاً ينتشر في شتى الجهات . وفي حالة الأنسجة العادية تلتصق كل خلية عدة ممرات تجري موازية لمحورها الطويل ، وتتصل كل منها بالأخرى عند مواضع تلامس الطبقات المتتالية للخلايا العادية . وإذا انتظم عدد من الخلايا المستطيلة الشكل في هيئة مجاميع طولية ، كانت الممرات الهوائية زائدة الطول ممتدة على طول حواف هذه الخلايا ، كما هو الحال في أوراق الإلووديا وغيرها وكذا في المنطقة الداخلية من القشرة الابتدائية لكثير من الجذور . وتعتبر الممرات الهوائية المتسعة التي تخترق كل الأعضاء الخضرية في نباتات المستنقعات والنباتات المائية من هذا النوع من الممرات المستطيلة التي ازداد طولها وامتدادها . ويتكون جهاز التهوية في النسيج الاسفنجي البرنشيمي في الأوراق الخضراء من فجوات وحجرات تتصل داخلياً ، بالنسبة لتكوين مثل هذه الخلايا لعدد من الأفرع أو الأذرع التي تلتصق عند نهاياتها . وتعتبر الحجرات الهوائية العديدة الأوجه التي تزي في أوراق *Pistia* و *Pontederia* و *Lemma* مشابهة للممرات الهوائية المتسعة التابعة للمسافات الهوائية السابق ذكرها .

وقد تنشأ شقوق التهوية Ventilating Clefts بين الخلايا الفردية وتشابه الممرات والفراغات الهوائية ، وقد تفصل طبقة أو صفحة بأكملها من الخلايا عن الأخرى . ويشاهد الوضع الأول في أوراق كثيرة من MYRTACEAE وأنواع جنس *Scirpus* .

وكذا في *Cladium Mariscus* . وتفصل خلايا التمثيل الضوئي الأنبوبية في النبات السابق ذكره عن بعضها بمثل هذه الشقوق ، فيما عدا مساحات قليلة مستديرة من الجدر الخلوية تبقى ملاصقة لبعضها . وفي أوراق *Pinus* و *Abies* و *Cryptomeria* وكذا في كثير من نباتات ذات الفلقة الواحدة ، تكون شقوق التهوية الموجودة في أنسجة التمثيل الضوئي أكبر حجماً .

وعادة تتكون مسافات التهوية سواء أكانت على هيئة ممرات أم حجرات أم شقوق في هيئة فراغات منفصلة ، كما أنها تتصل في معظم الاحوال لتسهل اتصال دورة مرور الغازات في كل النسيج الموجودة به بواسطة قنوات واصلة صغيرة الحجم جداً .

أما جدر الخلايا الملاصقة المسافات البينية فتكون عادة رقيقة غير مغلظة ، وقد تغطي بالكيوتيكل اذا كانت قريبة من الفتحات التنفسية ، وخصوصاً اذا ما كانت موجودة أسفل الثغور . كما تحاط مثل هذه المسافات البينية بغشاء رقيق مكون من مادة بكتينية يرجع وجودها الى نشوء مثل هذه المسافات بانفصال الجدر المتوسطة . وقد ذكر Luerssen ان الأجسام الدرقية والمصوية التي تبرز داخل هذه المسافات شاغلة كل اتساعها ، والتي يمتاز بوجودها الأنسجة البرنشيمية لكثير من أعناق النباتات السرخسية ، تتكون بالمثل من هذه المواد البكتينية .

## ثانياً — تركيب المسافات والأنسجة الهوائية

### وعلاقتها ببعض الوظائف الفسيولوجية

#### ١ — علاقة جهاز التهوية بعملية التنفس

تكون العلاقة بين تركيب جهاز التهوية وعملية التنفس أكثر تميزاً في الأعضاء التي لا لون لها ، أو التي تحتوى على كمية ضئيلة من الكلوروفيل ، حيث يكون تبادل الغازات في هذه الحالة ذا صفة تنفسية . وتزود الأعضاء النشطة في عملية التنفس بجهاز تام التكوين ، ففي الأعضاء النباتية الحديثة التكوين السريعة النمو تظهر المسافات الهوائية البينية مبكرة قبل تكشف الانسجة ، وقد تمتد الممرات الهوائية في بعض الحالات

وخصوصاً في الجذور بعيداً نحو المرستيم الابتدائي للمنطقة القمية . وفي النبات السرخسي *Nephrodium stipellatum* ، تغلف الأوراق الحديثة ذات الوضع الملثف بطبقة غروية يبلغ سمكها عدة ملليمترات تفرزها شعيرات غدية غروية خاصة وتعتبر غطاء واقياً . ولا نزاع أن هذه الطبقة الغروية السميكة تعوق عملية التنفس لولا أنه يتخللها على مسافات متقاربة أعضاء تنفسية مخروطية الشكل تسمى Pneumatophores . وتنشأ هذه الأعضاء في النصف العلوي من الورقة ، قريباً من مواضع اتصال الوريقات بالمحور الوسطى ويبلغ طولها حوالي ٥ مم ، أما في منطقة عنق الورقة فتكون مرتبة في صفين طوليين ومزودة بامتدادات درعية الشكل .

ويدل المظهر الخارجي الأبيض اللون لها على أنها ذات طبيعة اسفنجية ، وهي تكون عموماً من نسيج تهوية يتخلله مسافات هوائية متسعة تتصل بالجو الخارجي عن طريق عدد كبير من الثغور . وتغطي خلايا هذا النسيج من الخارج بعدد كبير من تغليظات درنية مستديرة أو عصوية الشكل تمتد داخل المسافات البينية . وتعتبر مثل هذه الأعضاء المميزة تابعة لجهاز التهوية بالنسبة لاتصال مسافات الهوائية بجهاز التهوية الخاص بكل من أعناق الأوراق المركبة وأعناق الوريقات البسيطة .

وتمتاز كثير من الأوراق الحديثة التكوين في النباتات المتسلقة وبعض النباتات الاستوائية بوجود امتداد ضيق عند نهايات انصافها يحتوي على عدد كبير من الثغور ، مما يدل على قيامه بعملية تبادل الغازات وخصوصاً امتصاص الأوكسجين وطرده ثاني أكسيد الكربون ، هذا بينما تكون الأنصال في بدء تكوينها . وقد تقوم هذه الامتدادات في بعض الحالات بافراز الماء .

## ٢ — علاقة جهاز التهوية بعملية التمثيل الضوئي

يحدث تبادل الغازات في جهاز التمثيل الضوئي بامتصاص ثاني أكسيد الكربون وإعطاء الأوكسجين عن طريق جهاز التهوية . وفي الغالب تغلف أعضاء التمثيل الضوئي في النباتات الأرضية بنسيج البشرة ، إلا أن الخلايا التي تقوم بعملية التمثيل ، حتى ولو كانت ملاصقة لها

كخلايا المهادية مثلاً ، تحصل عادة على ما يلزمها من ثاني أكسيد الكربون من المسافات اليبنية المجاورة لها لا من الجو الخارجى عن طريق خلايا البشرة . ولهذا السبب ترى كل خلية تقوم بعملية التمثيل الضوئى محيطة بالمسافات اليبنية فى موضع أو أكثر . وفى حالة الخلايا المهادية تجاور مناطق من جدرها الجانبية المسافات الهوائية ، ولهذا تميل البلاستيدات الخضراء الى التجمع على طول هذه المواضع ، بينما تختفى على باقى الجدر بالنسبة لاعتماد أنسجة التمثيل الضوئى اعتماداً كلياً على جهاز التهوية .

### ٣ - علاقة جهاز التهوية بعملية التنح

لجهاز التهوية علاقة كبيرة بمظاهر التركيب الداخلى لكل من الأوراق الخضراء وغيرها من الأعضاء التى تقوم بعملية التنح . ففى الأوراق العادية يقوم النسيج الاسفنجى البرنشيمى بعملية التنح الى جانب تكوينه لجانب من جهاز التمثيل الضوئى . وعادة يؤخذ أكبر جانب من بخار الماء الذى تنتجه الورقة من النسيج الميزوفلى الاسفنجى الكامل التهوية . ولهذا تدل درجة تكوين هذا النسيج عما اذا كان النبات محباً للرطوبة أم للجفاف . ففى النباتات التى تضطر الى الاختزال من ماء تنحها لاجتناب خطر فقدان الزائد من مائها تكون خلاياها الاسفنجية البرنشيمية صغيرة الحجم قليلة فى مسافات اليبنية ، كما يصحب صغر سطح تبخرها الداخلى اختزال فى الأسطح الخارجية لاعضاءها الناتحة . أما النباتات التى توجد فى الأماكن الظليلة والرطبة فيزداد تكون الأنسجة الناتحة بها . ويقول Areschoug إن الأوراق التى يتكون نسيجها الميزوفلى جميعه من الخلايا الاسفنجية ، تعتبر فى معظم الحالات محبة للرطوبة .

من هذا يرى أن التكوين الكمى لجهاز التهوية يؤثر كثيراً فى تقليل أو زيادة عملية التنح . فن النظام الخاص بالمسافات اليبنية فى أوراق بعض النباتات الأسترالية مثل *Restio* و *Hakea* و *Kingia* وكذا *Olea europea* يرى أنها ذات طبيعة زيروفيتية . والخلايا المهادية عموماً وفى معظم الأوراق تلتصق بمرات هوائية ذات وضع طولى تفتح فى المسافات الهوائية الخاصة بالنسيج الاسفنجى ، ويؤدى هذا النظام الى نشاط عملية

تبادل الغازات بالنسبة لقصر المسافة التي تقطعها الغازات المنتشرة . أما في النباتات الزبروفيتية السابق ذكرها فيحل محل هذه الممرات الطويلة حجرات أنبوية تحيط بالحلايا في أوضاع عمودية على محاورها الطويلة ، أما الممرات القصيرة التي تصل هذه الحجرات المتجاورة فتكون كلها موازية لسطح الورقة ، ولهذا لا يكون هناك اتصال مباشر بين هذه الحجرات في الاتجاه القطري . وتحكم المسافات البينية عموماً في المسافة التي يجب أن يقطعها بخار الماء أثناء تسربه من داخل الأوراق الى الجو الخارجي ، فقد يكون طريقه مستقيماً أو منحنيّاً قليلاً ، وقد يكون طويلاً متعرجاً خلال عدة طبقات متتالية من الأنسجة المعادية .

#### ٤ — نظام التهوية في نباتات المستنقعات والنباتات المائية

يحدث تبادل الغازات في النباتات المغمورة بصفة دائمة بانتشارها خلال السطح الخارجي بأكثره بالنسبة لعدم وجود الثغور ، وبففس الطريقة التي تنفس بها الحيوانات المائية بواسطة الحياشيم التنفسية . وعادة تزداد سرعة الانتشار بإزدياد مساحة السطح الخارجي لجسم النبات ، وهذا يكبر ويتسع في النباتات المائية بطرق شتى . فقد تقسم اتصال أوراقها الى عدد من الحجرات الضيقة كما في *Myriophyllum* ، وقد تكون ذات فتحات مكونة شكلاً شبكياً كما في *Ouvirandra fenestralis* ، وقد تبقى بدون انقسام غير أنها تكون رقيقة كما في *Elodea canadensis* . ويقول Goebel إن بادران *Victoria* و *Euryale* تزود بامتدادات سطحية تزيد في سرعة تبادل الغازات وتشبه في شكلها الحياشيم الحيوانية ، وأن الجذر الحديث النمو في *Euryale* يحمل عضواً خشومياً رباعي النقص يبقى حتى تمام نمو البادرة وملاستها للماء من كل جانب كما تنفرع كل من فصوصه الأربعة وتغطي بشعيرات كثيفة ، ويختص هذا العضو بامتصاص الأكسجين أثناء الأطوار الأولى من عملية النبات .

ويرجع بطيء عملية تبادل الغازات في النباتات المائية المغمورة الى تكوين حجرات هوائية متسعة داخل أعضائها ، وبذلك يسهل لأنسجتها الحية أن تقوم بعملية التمثيل

الضوئي والتنفس تبعاً لهذا الجو الداخلي التي زودت به . وفي مثل هذه النباتات يسهل دخول ثاني أكسيد الكربون إليها من الماء المحيط بها بسرعة أكثر مما ينتشر الأوكسجين . ولذا تزداد سرعة عملية تبادل الغازات لعملية التمثيل الضوئي إذا ما زود النبات داخلياً بكميات كبيرة من الأوكسجين ، كما تساعد مثل هذه المستودعات النبات في التغلب على الصعوبات التي قد تنشأ عن نقص كمية الأوكسجين في الوسط المحيط به .

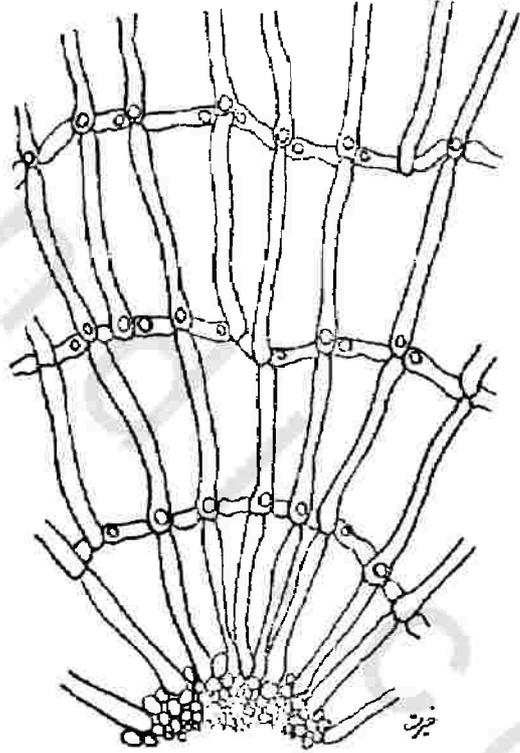
وعلاوة على وجود هذه الفراغات الهوائية المنتسعة في النباتات المغمورة ، فإنها ترى أيضاً في الأعضاء الخضرية للنباتات الطافية ، وكذلك في الأعضاء الهوائية لنباتات المستنقعات . وتزود الأعضاء الهوائية لمثل هذه النباتات الشبه مائية بالنور ، وبذلك تشبه النباتات الأرضية في طرق تبادل الغازات بها . وقد تتعرض مثل هذه النباتات لغمر المياه لها أو لفعل زبد البحر ، وبذلك تكون أغورها في خطر بالنسبة لامتلائها بالماء . أما النباتات الطافية فتساعد مثل هذه الفراغات الهوائية في جعلها طافية بصفة دائمة .

وتنشأ الفراغات الهوائية المنتسعة في النباتات المائية ونباتات المستنقعات عن نسيج برنشيمي وتسمى تبعاً لذلك Aerenchyma ، يضاف إليه أيضاً الصفائح الحلوية البرنشيمية الفردية التي تفصل الحجرات والممرات الهوائية المتجاورة عن بعضها ، كما في سوق *Papyrus* و *Scirpus lacustris* وأنواع *Potamogeton* و *Myriophyllum* و *Lamna* وأعناق أوراق *Pontederia crassipes* و *Trapa natans* و *Nymphaeaceae* . وقد يكون نسيج التهوية ذا شكل تماسي أو متفرع إسفنجي علاوة على أشكال أخرى إضافية تتوسط هذين الشكلين ، وأحسن أمثله ما يرى في الجذور التنفسية المتكونة في نباتات المنجروف وبعض أنواع نباتات المستنقعات . وعادة تخدم مثل هذه الجذور التنفسية أجزاء النبات المغمورة في الطمي الذي يقل به الأوكسجين ، في تزويدها بهذا الغاز عن طريق الجو العادي ، حيث تخالف هذه الجذور الجذور العادية في كونها سالبة الجاذبية الأرضية ، ولذا تنمو رأسياً إلى أعلى حتى تبرز بروزاً كافياً في الهواء . ويتصل جهاز التهوية لمثل هذه الجذور

التنفسية Pneumatophores بالجو الخارجي بفتحات تنفسية خاصة تزود أعضاء النبات المغمورة بالهواء اللازم لها . وترى مثل هذه الجذور في *Sonneratia* و *Avicennia Laquuncularia* و *Saccharum officinarum* وبعض أنواع النخيل في PANDANACEAE .

وتغلف الجذور التنفسية في أنواع *Jussiaea* بطبقة سميكة من نسيج التهوية البرنشيمي Aerenchyma ، يتكون في مجموعه من عدد من الطبقات المركزية تشبه في مجموعها نسيج القشرة الابتدائي ، كما تمتد معظم خلاياها فطريا في شكل أذرع يفصلها عن بعضها فراغات هوائية متسعة ( شكل ٩٢ ) .

أما طبقة البشرة وتحت البشرة في هذه الجذور فتتلاشان في طور مبكر ، وبذلك يتصل جهاز التهوية اتصالا مباشرا بالماء المحيط به . وعادة لا تحتوي الخلايا البرنشيمية نفسها والمكونة لنسيج التهوية على الهواء سيما وانها تحتوي على طبقة رقيقة بروتوبلازمية تغلف جدرها من الداخل تنغمس بها النواة وعدد من البلاستيدات الدقيقة العديمة اللون ، وهذه تغلف بدورها فجوة عصيرية مملوءة بالماء .



( شكل ٩٢ )

ق . ع . في نسيج التهوية البرنشيمي في أحد الجذور التنفسية لنبات *Jussiaea peruviana* ، ( عن SCHENCK )

وفي جنس *Jussiaea* وبعض نباتات ONAGRACEAE و LYTHRACEAE يتكون نسيج تهوية برنشيمي ، مماثل لما سبق ذكره ، فيما يسمى بالجذور الطافية وكذا على

الأجزاء المنمورة من السوق . وفي مثل هذه الحالات يتكون جزء صغير من نسيج التهوية من القشرة الابتدائية ، بينما ينتج الباقي من المرستيم الثانوي المتجالس مع الفلوجين . ويعتبر Rosanoff نسيج التهوية الموجود في سوق *Desmanthus natans* المنمورة نسيجاً ثانوياً .

وهناك شكل آخر من نسيج التهوية البرنشيمي يظهر في هيئة نسيج متفرع يملأ الممرات الهوائية في بعض نباتات CYPERACEAE ، وخصوصاً جنس *Scirpus* . ولهذا النسيج صفة أخرى ميكانيكية حيث يساعد على عدم انطباع الممرات الهوائية ، وبذلك يحتفظ العضو بشكله الخارجي .

#### ٥ - الحواجز والشعيرات الداخلية

يفصل القنوات والممرات الهوائية بعضها عن بعض حواجز تتكون من طبقة أو أكثر من الخلايا البرنشيمية ، تقوم بالتقوية إلى جانب أهمية علاقتها بعملية التهوية . وهي دائماً ذات تركيب له علاقة بالتغور ، فلا تعترض الغازات أثناء تحركها خلال الممرات الهوائية ، وتكون في سوق نباتات *L'apgyrus* مسنولة فعلياً عن الاتصال بين حجرات التهوية المتجاورة ، حيث يمتد كل منها خلال عدة ممرات هوائية ، كما أنها أيضاً إلى جانب قابليتها لنفاذ الهواء غير قابلة لنفاذ الماء . وما دامت هذه الحواجز موجودة فلا سبيل للماء إلى ملء الحجرات الهوائية إلا إذا امتدت تحت الضغط المرنع . فإذا لحق بأحد هذه النباتات ضرر ما تسبب عنه موت أحد أطرافه ، منعت هذه الحواجز اندفاع الماء نحو باقي جهاز التهوية .

وفي أعناق أوراق *Pontederia crassipes* و *Trapa natans* وأوراق *Lemna* ، تشابه جدر الحجرات الهوائية مع معظم هذه الحواجز في صفاتها الميكانيكية .

أما النباتات المائية التي لا توجد بها مثل هذه الحواجز مثل *Phizophora* و *Pilularia* و NYMPHAEACEAE و ABOIDEAE فتكون بها شعيرات ينية أو داخلية Intercellular or Internal Hairs في ممراتها الهوائية . وتحمل مثل هذه الشعيرات

محل الحواجز السابق ذكرها تبعاً لوظيفتها الميكانيكية من حيث نظام وجودها والزيادة في سمك جدرانها وأشكالها التي تشابه بها مع حرفي H أو X . فتحتوى الممرات الهوائية في أعناق أوراق نباتات *Nymphaea* على شعيرات متفرعة تبرز داخلها من إحدى الخلايا التي يتكون منها النسيج المحيط بها ، وهذه الشعيرات ذات جدران زائدة السمك عليها تتواءم لتكون من عدد كبير من بلورات أو كسالات السكسيوم . وينظم وضع هذه الشعيرات رأسياً على فترات متتالية ، وقد سبق ذكرها مع الخلايا الاسكرنشيمية (الاسكليريديز) حيث أسميت *Stellate* أو *Sclerotic Hairs* .

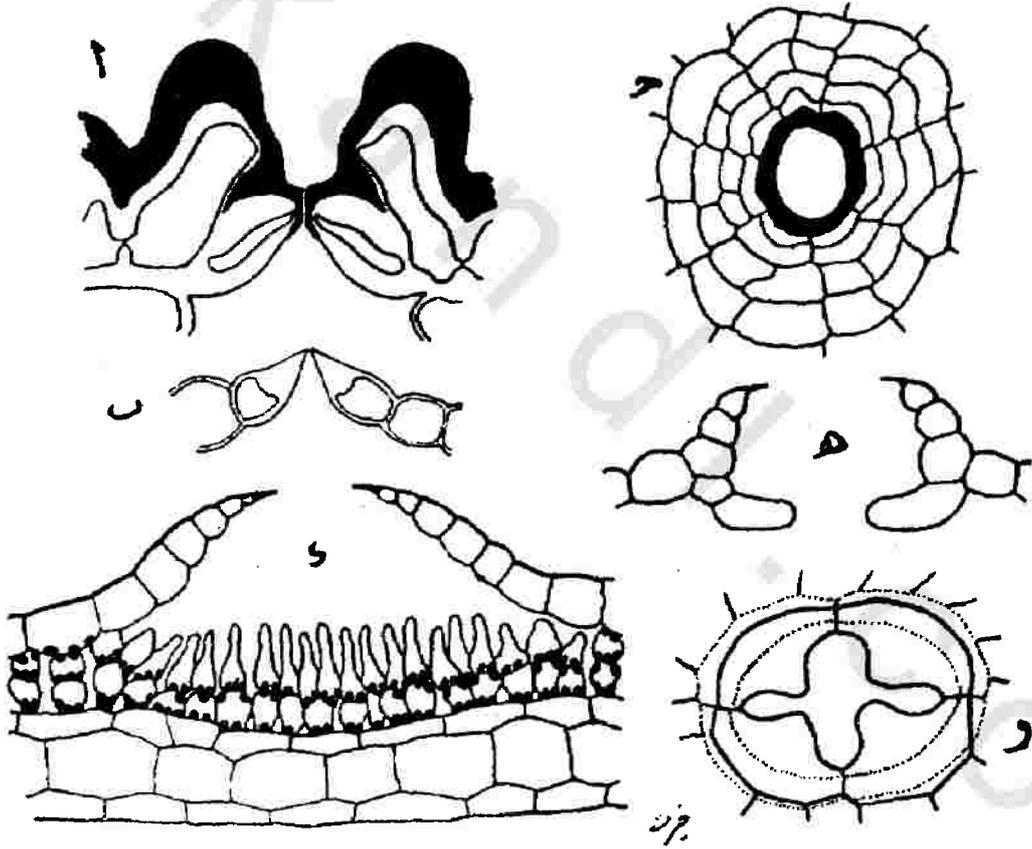
وفي بعض النباتات الآرويدية مثل *Monstera* و *Torneia* و *Heteropsis* و *Pothos* ، يتقاطع مع الخلايا البرنشيمية الخماسية شعيرات ينية تشبه الألياف في مظهرها الخارجى وتفرع بأشكال شتى وتنتهى بأطراف ملتوية ، وهذه تماثل في قيمتها الميكانيكية النسيج المنفرع المشاهد في جنس *Scirpus* .

وتزود الأجزاء السفلية الممتدة أفقياً في الطمي من جذور *Sonneratia acida* التنفسية بنسيج تهوية برنشيمي يمتاز بوجود شعيرات داخلية منحنية في شكل حرف S ، وتشبه الزنبرك حيث تساعد تبعاً لمرونتها نسيج التهوية البرنشيمي في امتداده بعد انضغاطه بسبب عملية المد ، وبذلك يتمص الأكسجين مرة أخرى لجمال المسافات البينية .

وقد لا يكون للمسافات البينية الخلوية الهوائية علاقة بعمليات التهوية ، كما هو الحال في المناطق الجوفاء أو الممرات الهوائية الفردية التي تخترق الأجزاء الموجودة أسفل البترة في بعض الحشائش أو في أفرع نبات *Leontodon* أو أوراق نبات البصل . وقد تكون الحجرات الهوائية أو المسافات الهوائية الأخرى هامة في بقاء بعض النباتات المائية طافية . كما قد تزود قصرات بعض البذور أو الأغلفة الثمرية بأنسجة طافية ذات مسافات هوائية ينية عديدة تجعلها خفيفة ليسهل انتشارها بواسطة التيارات المائية . أما البتلات البيضاء اللون فتكون وظيفة التهوية في مسافات الهوائية ضئيلة بالنسبة لأهميتها في تسبب ظهور هذا اللون الأبيض الجذاب ، بسبب انعكاس الضوء على الهواء التي تحتوى عليه مثل هذه المسافات البينية .

### المنافذ الخارجية لجهاز التهوية

يحدث الاتصال المباشر بين جهاز التهوية والجو الخارجي عن طريق مواضع خاصة تتخلل الأنسجة الضامة تعرف بفتحات التهوية أو الثياثودز Pneumathodes ، تمر الغازات خلالها بسهولة في كل من الاتجاهين الداخلي والخارجي . وهناك ثلاثة أشكال رئيسية لفتحات التهوية هذه ، وهي : ( أولاً ) ثغور البشرة Stomata ، ( ثانياً ) العديسات Lenticels التي تخترق الپريدرم ، ( وثالثاً ) نوع أخير منها يسمى بفتحات التهوية Ventilating Pores يرى في بعض الجذور الهوائية . وقد سبق ذكر كل من ثغور البشرة والعديسات مع الجهاز الضام .



( شكل ٩٣ )

- ( ١ ) مقطع رأسي في أحد ثغور نبات *Juniperus macrocarpa* ، ( عن Kleimn ) .
- ( ب ) ثغر مائي لنبات *Alsophila sp.* ، ( هـ ، و ) منظر سطحي ومقطع رأسي لنتيجة هوائية في نبات *Fagatella coniez* . ( هـ ، و ) مقطع رأسي ومنظر سفلي لنتيجة هوائية لنبات *Marchantia polymorpha* ، ( ب ، هـ ، و ، هـ ، و ) عن هابرلاندت )

وتختلف الثغور في نباتات معراة البذور والنباتات التيريدية والحززية بقسميها عن الثغور العادية السابق ذكرها . ففي نباتات معراة البذور تختزل الفجوات الأمامية للثغور الى ممرات ضيقة بالنسبة لعدم تكون الامتدادات الكيوتينية الداخلية ( شكل ٩٣ - ١ ) . وتحيط بهذه الممرات جدر الخلايا الحارسة الأمامية ، كما تتصل تدريجياً بالفرفة الهوائية الداخلية . ويقول Porsch إن الامتدادات الكيوتينية الداخلية قد ترى في بعض حالات قليلة كما في *Podocarpus neriiifolia* ، وبذلك تتكون الفجوة الخلفية ، غير أنها تكون ضعيفة التكوين . وتكون جدر الخلايا الحارسة الخلفية عادة أكثر سمكا من الأمامية ، كما تشملهما اللجنته مع تكون جزئي وبقاء مساحة محدودة من الجدار الخلفي خالية من هذا الثغور لتسمح بتحريك الماء الذي يصحب التغييرات الاتفاخية للخلايا الحارسة داخلياً وخارجياً . وتكون فجوات الخلايا الحارسة ضيقة في العادة ذات محور طولي مائل نحو الخلف . وتماز ثغور نباتات معراة البذور بكونها غائرة نوعاً ما ، ويقول Copeland إن ثغور *Ginkgo* و *Larix* تشبه في تكوينها مثيلاتها في النباتات النجيلية .

وتختلف الثغور في النباتات التيريدية من حيث تكوينها ، ففي *Equisetum* تشبه في تكوينها ثغور نباتات معراة البذور ، كما تزداد تقوية جدر خلاياها الحارسة الخلفية بامتدادات على هيئة تغليظات أفقية تبرز داخل فجوات الخلايا المساعدة . ويحتوى كثير من النباتات السرخسية المحبة للرطوبة على ثغور تماثل في تكوينها الثغور المائية ( شكل ٩٣ - ٢ ) ، ففي *Salvinia natans* تكون جدر الخلايا الحارسة رقيقة في كل جهاتها كما ينتظم اتساع الفتحة الثغرية ، وفي *Azolla caroliniana* تكون الخلايا الحارسة ثلاثية أو خماسية الأوجه ذات جدر رقيقة أيضاً ، كما تحمى الشعيرات العديدة الموجودة على الأوراق في كل من هذين الجنسين الثغور من الانسداد الشعري .

وفي النباتات الحززية القائمة توجد الثغور في الأطوار الجرثومية حيث ترى بعدد كبير في منطقة الأوبسيسس ، وهو العضو الأساسى المختص بالقيام بعملية التمثيل الضوئى ، وبعدد قليل في باقى مناطق الكيس الجرثومى لما يكون أخضر اللون . وفي *Funaria hygrometrica* و *Physcomitrium pyriforme* يحتوى الثغر السكامل التكون

على خلية فردية حلقة الشكل بدلاً من زوج من الخلايا الحارسة ، وتشتمل هذه على نواتين منتظمتي الوضع يرجع وجودها الى اختفاء الخليتين الحارستين الابتدائيتين .

وقد يحمل الكيس الجرثومي الواحد في *Polytrichum* ثلاثة أشكال من الثغور ، يسمى أولها بالثغر « ذى الخليتين » بالنسبة لوجود الزوج العادي من الخلايا الحارسة ، ويسمى ثانيها بالثغر « ذى الخلية الواحدة » بسبب اتحاد الخليتين الحارستين معاً ، ويسمى ثالثها بالثغر « ذى الأربعة خلايا » بسبب انقسام كل خلية من الخليتين الحارستين الابتدائيتين الى نصفين بجدار عرضي وسطي .

ولا ترى الثغور « ذات الخليتين » في النباتات الحززية المنبطحة إلا في الطور الجرثومي لجنس *Anthoceros* . أما الأطوار الجاميطية لنباتات *MARCHANTIALES* فتزود بفتحات تنفسية ، تختلف عن ثغور النباتات الحززية الأخرى وكذا النباتات ذات الحزم الوعائية في تسميتها بالفتحات الهوائية *Air Pores* . ويقول *Leitgeb* انها قد تكون إما بسيطة أو أنبوبية ، فالبسيط منها يشغل حيزاً مرتفعاً شبه مستدير من البشرة ، كما يحاط بعدة طبقات دائرية من خلاياها . وفي *Fegatella conica* (شكل ٩٣ — هـ ، و) تكون جدر الحلقة الداخلية من الخلايا المحيطة بالفتحة المركزية ، ضفة غشائية ذات حافة حادة ، وبذلك تظهر هذه الفتحة في مقطعها الرأسي مشابهة لمثيلاتها في الثغور المائية . أما النوع الأنبوبي من هذه الفتحات الهوائية فيرى في الجسم الثالوثي لنباتات *Preissia* و *Marchantia* وكذا في الأطوار الجاميطية عموماً ، وهي برميلية الشكل تتكون من صفوف أو طبقات من الخلايا تحيط بممر أنبوبي (شكل ٩٣ — هـ ، و) . وقد اعتبر *Mirbel* الطبقات القاعدية الكبيرة الحجم كجهاز قافل للفتحة الهوائية ، كما ذكر *Kamerling* إنها إما أن تغفل الفتحة جزئياً كما في *Fimbriaria Stahlian* ، أو كلياً كما في *Plagiochasma Aitoniana* .

## نباتات ثودز الجذور الهوائية

وهي النوع الثالث للمنافذ الخارجية لجهاز التهوية ، وتوجد في الجذور التنفسية وكذا الجذور الهوائية . وتزود الجذور التنفسية Breathing Roots عادة بنوع خاص من النباتات ثودز ، ففي *Arvicennia officinalis* و *Laguncularia racemosa* ، يتخلل البريدرم المكون من عدة طبقات متتالية أجسام تشبه العديسات في كل صفاتها . وتحاط الجذور التنفسية في نبات *Sonneratia acida* بثلاث طبقات من الفلين يتبادل معها مناطق مكونة من طبقة واحدة أو طبقتين من خلايا مستديرة تشبه الخلايا المفككة التي توجد مع العديسات ، كما تفارن طبقات الفلين الرقيقة بالطبقات القافلة لهذه الأعضاء ( عن Goebel ) . أما جذر *Sonneratia* فيعتبر مغطى بنبات ثودز متصلة في شكل عديسة كبيرة فردية تنتشر على السطح الخارجي للعضو بأكمله ( عن Karsten ) . وتزود الجذور التنفسية التي تظهر في بعض أنواع النخيل وخصوصاً في جنس *Phoenix* بنوع خاص من النباتات ثودز تظهر بالعين المجردة في هيئة مناطق بيضاء دقيقة عند قم هذه الجذور ، وأعلى اتفاخات حلقيه خلف هذه المناطق . وبفحصها ميكروسكوبياً يرى أنه يحل محل الأنسجة اللينة الموجودة تحت البشرة في هذه المواضع ، كتل مكونة من عناصر اسكرنشيميه مستديرة ، يوصلها عن بعضها نخوات بيده صيغه ، يعتمها ضيعة من نسيج اسفنجي ذي خلايا رقيقة الجدر ( عن Jost ) .

أما النباتات ثودز الخاصة بالجذور الهوائية ، فمثالها ما يشاهد على جذور نباتات الاوركيدز الهوائية ، وهذه ترى بالعين المجردة على هيئة بقع بيضاء اللون وخصوصاً عند تشعب طبقة الفيلامن بالماء . وهي في العادة مستطيلة الشكل موازية لمحور الجذر الطولي ومرتبة في مجاميع طولية ، كما توزع في الجذور الاسطوانية على كل جوانبها . أما في الجذور المنبسطة ذات الجانبين ، والتي تعتبر أعضاء ضوئية ممتلئة كجذور *Taeniophyllum Zollingeri* و *Aëranthus fasciola* ، فتوجد على جوانبها الظليلة للمواجهة للتربة .

ويتكون كل من هذه النياتودز من ثلاثة مناطق مميزة ، وهي منطقة القيلامن والاكسودرمس والقشرة البرنشيمية . ولما كانت الجدر الخارجية لخلايا الاكسودرمس المحتوية على الهواء تبقى كما هي بصفة دائمة ، فان نياتودز هذه الجذور الأوركيدية لا تمثل في الواقع منافذاً مفتوحة لجهاز التهوية . إلا أن Schimper قد أثبت أن كل جدرها قابلة لنفاذ الهواء ، وبذلك ينشط انتشار تبادل الغازات عن طريق هذه الجدر الخلوية .

### منشأ جهاز التهوية

قد ينشأ جهاز التهوية بطرق شتى كغيره من أنسجة الأجهزة الأخرى ، ولو أنه يتكون دائماً من المسافات البينية المحتوية على الهواء . وتنشأ معظم مسافات التهوية عادة بانفصال الجدر الابتدائية للخلايا عن بعضها البعض . أما الممرات والفجوات الهوائية التي تشاهد في *Nymphaeaceae* و *Papyrus antiquorum* و *Trapa* و *Lemna* و *Potamogeton* وغيرها فتتكون بواسطة تباعد الخلايا عن بعضها بطريقة شايزوجينية . وقد تنشأ المسافات الهوائية في أحوال أخرى بتشمج جدر الخلايا أى بالطريقة اللايسيجينية كما هو الحال في *Cyperaceae* و *Gramineae* و *Equisetales* .

وقد ينشأ نسيج التهوية البرنشيمي *Aerenchyma* أحياناً من المرستيم الأساسي ، غير أنه قد ينشأ في أحوال أخرى من الطبقة المرستيمية الثانوية المائلة للفلولوجين .

أما الخلايا التي تتكون منها الأجهزة الثغرية ، فقد يرجع تكوينها الى البروتودرم أو الى المرستيم الأساسي . وقد سبق وصف منشأ وتكوين الجهاز الثغري في باب الجهاز الضام .

وقد تنشأ العديسات إما على السوق الحديثة مع وجود خلايا بشرتها العادية ، أو على الافرع المسنة ببدء تكوين البريدرم . وقد سبق وصف تكوينها مع وصف العديسات بالمثل في باب الجهاز الضام .