الباب العاشر

جهاز التهوية The Aërating or Ventilating System

لكل النباتات نشاط قد يقل أو يزداد فى تبادل الغازات بينها وبين الجو المحيط بها . فى أثناء عملية التنفس تأخذ النباتات الأكسيجين وتعطى ثانى أكسيد الكربون ، أما أثناء عملية التمثيل الضوئى التى تمتاز بها النباتات الخضراء فيكون التبادل عكسيا حيث يمتص ثانى أكسيد الكربون بينما يطرد الأكسيجين الى الخارج . وهناك غازات أخرى قد تتكون نتيجة لعمليات خاصة من الهدم مثل الايدروجين أو كبريتور الايدروجين ، كما يتسرب من جسم كل النباتات الأرضية كميات كبيرة من الماء نتيجة لعملية النتح ، هذا علاوة على أن كثيراً من النباتات ما يتخلص من أبخرة تتكون من الزيوت الأثيرية وغيرها من المركبات العضوية الطيارة .

ويعتمد نشاط عمليات تبادل الغازات على اتساع السطح الذى يحدث الانتشار الغازى عن طريقه . ففى حالة الكائنات الميكروسكوبية الوحيدة الخلية تكون نسبة أسطحها الخارجية الى أحجامها كبيرة ، أما فى النباتات الأرضية الراقية فلا يكون السطح الخارجى بمفرده كافيا لأداء هذه المهمة ، ولذا تتكون بداخلها فجوات وحجرات وقنوات هوائية ، تشابه فى علاقتها بالنسبة لما يجاورها من الأنسجة ، علاقة الجو الخارجى بالنسبة للخلايا السطحية .

وتتشابه عملية تبادل الغازات فى الخلايا الحية سواء أكانت هذه ذات وضع داخلى مجاورة للحجرات الهوائية أم خارجية ذات اتصال مباشر بالجو الخارجى . ففى 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 مازود جهاز التهوية بمخارج أو منافذ خاصة تسمى Pneumathodes أمكن التميز بين تبادل الغازات الأزموزى من جهة وبين الامتزاج أو الاختلاط المباشر للغازات من جهة أخرى . وعادة لاتنحصر عملية تبادل الغازات خلال المسافات البينية والفتحات التنفسية فى الأوراق والأعضاء الهوائية الأخرى فقط ، وإنما تحدث أيضا خلال الجدر الخلوية المكونة القابلة لنفاذ الأكسيجين وثانى أكسيد الكربون ، سيما وأن انتشار الغازات خلال جدر خلايا البشرة من الأركان الأساسية فى هذه العملية . وتعتبر مثل هذه العملية قريبة الشبه بالعلاقة بين التنح الثغرى والتنح الذي يحدث خلال الكيوتيكل .

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

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

المسافات والأنسجة الهوائية

أولا — أشكال المسافات الهوائية وطبيعة جدر خلاياها

تكون المسافات الهوائية فى جسم النباتات جهازاً متصلا تنتظم خلايا أنسجته بأن تلاصق مسافة هوائية واحدة أو أكثر ، إلا أنها تختلف فى توزيعها بالنسبة للحاجيات المختلفة والوظائف الخاصة بأنسجة الأجهزة الأخرى المتباينة . وقد تكون مسافات التهوية فى هيئة قنوات مستطيلة أو فراغات متسعة أو ممرات وشقوق ضيقة . ففى الأنسجة البرنشيمية العادية المتكونة من خلايا متساوية الأقطار ، تتكون المسافات البينية على شكل ممرات ضيقة تمتد على حواف الخلايا المستديرة ، مكونة فى مجموعها جهازاً شبكياً متفرعا ينتشر فى شتى الجهات . وفى حالة الأنسجة العمادية تلاصق كل خلية عدة ممرات تجرى موازية لمحورها الطويل ، وتتصل كل منها بالأخرى عند مواضع تلامس الطبقات المتتالية للخلايا العمادية . وإذا انتظم عدد من الخلايا المستطيلة الشكل فى هيئة مجاميع طولية ، كانت الممرات الهوائية زائدة الطول ممتدة على طول حواف هذه الخلايا ، كما هو الحال فى أوراق الإلوديا وغيرها وكذا فى المنطقة الداخلية من القشرة الابتدائية لكثير من الجذور . وتعتبر الممرات الهوائية المتسعة التى تخترق كل الأعضاء الخضرية فى نباتات المستنقعات والنباتات المائية من هذا النوع من الممرات المستطيلة التى ازداد طولها وامتدادها .

ويتكون جهاز التهوية فى النسيج الاسفنجى البرنشيمى فى الأوراق الخضراء من فجوات وحجرات تتصل داخلياً ، بالنسبة لتكوين مثل هذه الخلايا لعدد من الأفرع أو الأذرع التى تتلاصق عند نهاياتها . وتعتبر الحجرات الهوائية العديدة الأوجه التى ترى فى أوراق *Pistia* و *Pontederia* و *Lemna* 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 فى أوراق كثيرة من MYRTACEAE وأنواع جنس *Scirpus*

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

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

أما جدر الخلايا الملاصقة المسافات البينية فتكون عادة رقيقة غير مغلظة ، وقد تغطى 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 الدرنية والعصوية التى تبرز داخل هذه المسافات شاغلة كل اتساعها ، والتى يمتاز بوجودها الأنسجة البرنشيمية لكثير من أعناق النباتات السرخسية ، تتكون بالمثل من هذه المواد البكتينية .

ثانيا — تركيب المسافات والأنسجة الهوائية وعلاقتها ببعض الوظائف الفسيولوجية

١ — علاقة جهاز التهوية بعملية التنفس

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

وخصوصا فى الجذور بعيداً نحو المرستيم الابتدائى للمنطقة القمية . وفى النبات السرخسى *Nephrodium stipellatum* ، تغلف الأوراق الحديثة ذات الوضع الملتف 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 فى النصف العلوى من الورقة ، قريباً من مواضع اتصال الوريقات بالمحور الوسطى ويبلغ طولها حوالى ٥ مم ، أما فى منطقة عنق الورقة فتكون مرتبة فى صفين طوليين ومزودة بامتدادات درعية الشكل .

ويدل المظهر الخارجى الأبيض اللون لها على أنها ذات طبيعة اسفنجية ، وهى تتكون عموماً من نسيج تهوية يتخلله مسافات هوائية متسعة تتصل بالجو الخارجى عن طريق عدد كبير من الثغور . وتغطى 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 مسافاتها الهوائية بجهاز التهوية الخاص بكل من أعناق الأوراق المركبة وأعناق الوريقات البسيطة .

وتمتاز كثير من الأوراق الحديثة التكوين فى النباتات المتسلقة وبعض النباتات الاستوائية بوجود امتداد ضيق عند نهايات انصالها يحتوى على عدد كبير من الثغور ، مما يدل على قيامه بعملية تبادل الغازات وخصوصاً امتصاص الأكسيجين وطرد ثانى أكسيد الكربون ، هذا بينما تكون الأنصال فى بدء تكوينها . وقد تقوم هذه الامتدادات فى بعض الحالات بافراز الماء .

٢ — علاقة جهاز التهوية بعملية التمثيل الضوئى

يحدث تبادل الغازات فى جهاز التمثيل الضوئى بامتصاص ثانى أكسيد الكربون وإعطاء الأكسيجين عن طريق جهاز التهوية . وفى الغالب تغلف أعضاء التمثيل الضوئى فى النباتات الأرضية بنسيج البشرة ، إلا أن الخلايا التى تقوم بعملية التمثيل ، حتى ولو كانت ملاصقة لها

كالخلايا العادية مثلا ، تحصل عادة على مايلزمها من ثانى أكسيد الكربون من المسافات البينية المجاورة لها لا من الجو الخارجى عن طريق خلايا البشرة . ولهذا السبب ترى كل خلية تقوم بعملية التمثيل الضوئى محيطة بالمسافات البينية فى موضع أو أكثر . وفى حالة الخلايا العادية 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 النتح

لجهاز التهوية علاقة كبيرة بمظاهر التركيب الداخلى لكل من الأوراق الخضراء وغيرها من الأعضاء التى تقوم بعملية النتح . فى الأوراق العادية يقوم النسيج الاسفنجى البرنشيمى بعملية النتح الى جانب تكوينه لجانب من جهاز التمثيل الضوئى . وعادة يؤخذ أكبر جانب من بخار الماء الذى تنتحه الورقة من النسيج الميزوفللى الاسفنجى الكامل التهوية . ولهذا تدل درجة تكوين هذا النسيج عما اذا كان النبات محبا للرطوبة أم للجفاف . فى النباتات التى تضطر الى الاختزال من ماء نتحها لاجتناب خطر الفقدان الزائد من مائها تكون خلاياها الاسفنجية البرنشيمية صغيرة الحجم قليلة فى مسافاتها البينية ، كما يصحب صغر سطح تبخرها الداخلى اختزال فى الأسطح الخارجية لاعضائها الناتحة . أما النباتات التى توجد فى الأماكن الظليلة والرطبة فيزداد تكون الأنسجة الناتحة بها . ويقول Areschoug إن الأوراق التى يتكون نسيجها الميزوفللى 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 النتح . فمن النظام الخاص بالمسافات البينية فى أوراق بعض النباتات الاسترالية مثل *Restio* و *Hakea* و *Kingia* وكذا *Olea europea* يرى أنها ذات طبيعة زيروفيتية . والخلايا العادية عموما وفى معظم الأوراق تلاصق ممرات هوائية ذات وضع طولى تتفتح فى المسافات الهوائية الخاصة بالنسيج الاسفنجى ، ويؤدى هذا النظام الى نشاط عملية

تبادل الغازات بالنسبة لقصر المسافة التى تقطعها الغازات المنتشرة . أما فى النباتات الزيروفيتية السابق ذكرها فيحل محل هذه الممرات الطولية حجرات أنبوبية تحيط بالخلايا فى أوضاع عمودية على محاورها الطويلة ، أما الممرات القصيرة التى تصل هذه الحجرات المتجاورة فتكون كلها موازية لسطح الورقة ، ولهذا لا يكون هناك اتصال مباشر بين هذه الحجرات فى الاتجاه القطرى . وتتحكم المسافات البينية عموماً فى المسافة التى يجب أن يقطعها بخار الماء أثناء تسربه من داخل الأوراق الى الجو الخارجى ، فقد يكون طريقه مستقيما أو منحنياً قليلا ، وقد يكون طويلا متعرجا خلال عدة طبقات متتالية من الأنسجة العمادية .

٤ — نظام التهوية فى نباتات المستنقعات والنباتات المائية

يحدث تبادل الغازات فى النباتات المغمورة بصفة دائمة بانتشارها خلال السطح الخارجى بأكمله بالنسبة لعدم وجود الثغور ، وبنفس الطريقة التى تتنفس بها الحيوانات المائية بواسطة الخياشيم التنفسية . وعادة تزداد سرعة الانتشار بازدياد مساحة السطح الخارجى لجسم النبات ، وهذا يكبر ويتسع فى النباتات المائية بطرق شتى . فقد تقسم انصال أوراقها الى عدد من الحجرات الضيقة كما فى *Myriophyllum* ، وقد تكون ذات فتحات مكونة شكلا شبكياً كما فى *Ouvirandra fenestralis* ، وقد تبقى بدون انقسام غير انها تكون رقيقة كما فى *Elodea canadensis* . ويقول Goebel إن بادرات *Euryale* و *Victoria* تزود بامتدادات سطحية تزيد فى سرعة تبادل الغازات وتشبه فى شكلها الخياشيم الحيوانية ، وأن الجذر الحديث النمو فى *Euryale* يحمل عضواً خيشومياً رباعى التفصيص يبقى حتى تمام نمو البادرة وملامستها للماء من كل جانب كما تتفرع كل من فصوصه الأربعة وتغطى بشعيرات كثيفة ، ويختص هذا العضو بامتصاص الأكسيجين أثناء الأطوار الأولى من عملية الانبات .

ويرجع بطىء عملية تبادل الغازات فى النباتات المائية المغمورة الى تكوين حجرات هوائية متسعة داخل أعضائها ، وبذلك يسهل لأنسجتها الحية أن تقوم بعمليتى التمثيل

الضوئى والتنفس تبعاً لهذا الجو الداخلى التى زودت به . وفى مثل هذه النباتات يسهل دخول ثانى اكسيد الكربون اليها من الماء المحيط بها بسرعة أكثر مما ينتشر الأكسيجين . ولذا تزداد سرعة عملية تبادل الغازات لعملية التمثيل الضوئى اذا ما زود النبات داخلياً بكميات كبيرة من الاكسيجين ، كما تساعد مثل هذه المستودعات النبات فى التغلب على الصعوبات التى قد تنشأ عن نقص كمية الأكسيجين فى الوسط المحيط به .

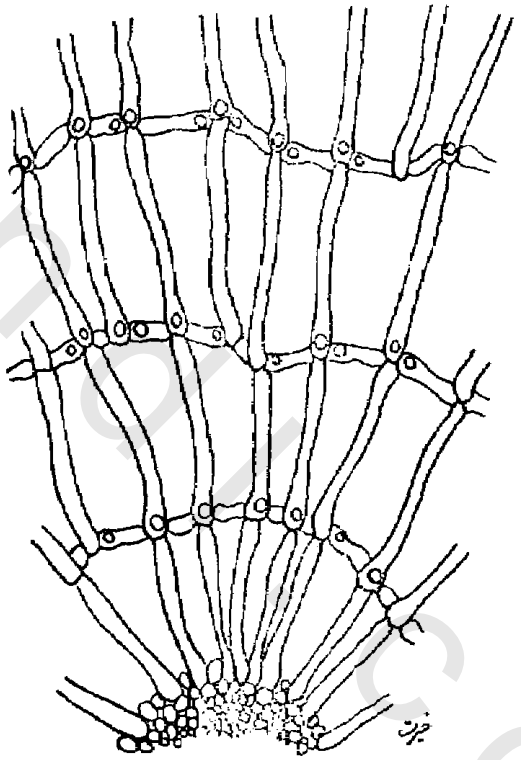
وعلاوة على وجود هذه الفراغات الهوائية المتسعة فى النباتات المغمورة ، فانها ترى أيضاً فى الأعضاء الخضرية للنباتات الطافية ، وكذلك فى الأعضاء الهوائية لنباتات المستنقعات . وتزود الأعضاء الهوائية لمثل هذه النباتات الشبه مائية بالثغور ، وبذلك تشبه النباتات الأرضية فى طرق تبادل الغازات بها . وقد تتعرض مثل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

وتنشأ الفراغات الهوائية المتسعة فى النباتات المائية ونباتات المستنقعات عن نسيج برنشيمى وتسمى تبعاً لذلك Aërenchyma ، يضاف إليه أيضاً الصفائح الخلوية البرنشيمية الفردية التى تفصل الحجرات والممرات الهوائية المتجاورة عن بعضها ، كما فى سوق *Scirpus lacustris* وأنواع *Potamogeton* و *Myriophyllum* و *Papyrus* وأوراق *Lamna* وأعناق أوراق *Pontederia crassipes* و *Trapa natans* و NYMPHAEACEAE . وقد يكون نسيج النهوية ذا شكل تماسى أو متفرع إسفنجى علاوة على أشكال أخرى إضافية تتوسط هذين الشكلين ، وأحسن أمثلته مايرى فى الجذور التنفسية المتكونة فى نباتات المنجروف وبعض أنواع نباتات المستنقعات . وعادة تخدم مثل هذه الجذور التنفسية أجزاء النبات المغمورة فى الطمى الذى يقل به الأكسيجين ، فى تزويدها بهذا الغاز عن طريق الجو العادى ، حيث تخالف هذه الجذور الجذور العادية فى كونها سالبة الجاذبية الأرضية ، ولذا تنمو رأسياً الى أعلى حتى تبرز بروزاً كافياً فى الهواء . ويتصل جهاز النهوية لمثل هذه الجذور

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

وتغلف الجذور التنفسية فى أنواع *Jussiaea* بطبقة سميكة من نسيج التهوية البرنشيمى Aërenchyma ، يتكون فى مجموعه من عدد من الطبقات المركزية تشبه فى مجموعها نسيج القشرة الابتدائى ، كما تمتد معظم خلاياها قطريا فى شكل أذرع يفصلها عن بعضها فراغات هوائية متسعة (شكل ٩٢) .

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



(شكل ٩٢)
ق . ع . فى نسيج التهوية البرنشيمى فى أحد الجذور التنفسية لنبات *Jussiaea peruviana* ،
(عن SCHENKK)

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

الأجزاء المغمورة من السوق . وفى مثل هذه الحالات يتكون جزء صغير من نسيج النهوية من القشرة الابتدائية ، بينما ينتج الباقى من المرستيم الثانوى المتجانس مع الفلوجين . ويعتبر Rosanoff نسيج النهوية الموجود فى سوق *Desmanthus natans* المغمورة نسيجاً ثانويا .

وهناك شكل آخر من نسيج النهوية البرنشيمى يظهر فى هيئة نسيج متفرع يملأ الممرات الهوائية فى بعض نباتات CYPERACEAE ، وخصوصا جنس *Scirpus* . ولهذا النسيج صفة أخرى ميكانيكية حيث يساعد على عدم انطباق الممرات الهوائية ، وبذلك يحتفظ العضو بشكله الخارجى .

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 النهوية . وهى دائماً ذات تركيب له علاقة بالثغور ، فلا تعترض الغازات أثناء تحركها خلال الممرات الهوائية ، وتكون فى سوق نباتات *Papyrus* مسئولة فعلياً عن الاتصال بين حجرات النهوية 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 اذ امتدت تحت الضغط المرتفع . فاذا لحق بأحد هذه النباتات ضرر ما تسبب عنه موت أحد أطرافه ، منعت هذه الحواجز اندفاع الماء نحو باقى جهاز النهوية .

وفى أعناق أوراق *Pontederia crassipes* و *Trapa natans* وأوراق *Lemna* ، تتشابه جدر الحجرات الهوائية مع معظم هذه الحواجز فى صفاتها الميكانيكية .

أما النباتات المائية التى لا توجد بها مثل هذه الحواجز مثل *Phizophora* و *Pilularia* و NYMPHAEACEAE و AROIDEAE فتكون بها شعيرات بينية أو داخلية Intercellular or Internal Hairs فى ممراتها الهوائية . وتحل مثل هذه الشعيرات

محل الحواجز السابق ذكرها تبعاً لوظيفتها الميكانيكية من حيث نظام وجودها والزيادة فى سمك جدرها وأشكالها التى تتشابه بها مع حرفى H أو X . فتحتوى الممرات الهوائية فى أعناق أوراق نباتات *Nymphaea* على شعيرات متفرعة تبرز داخلها من إحدى الخلايا التى يتكون منها النسيج المحيط بها ، وهذه الشعيرات ذات جدر زائدة السمك عليها تنوءات تتكون من عدد كبير من بللورات أوكسالات الكلسيوم . وينتظم وضع هذه الشعيرات رأسياً على فترات متتالية ، وقد سبق ذكرها مع الخلايا الاسكلرنشيمية (الاسكليريدز) حيث أسميت Stellate أو Sclerotic Hairs .

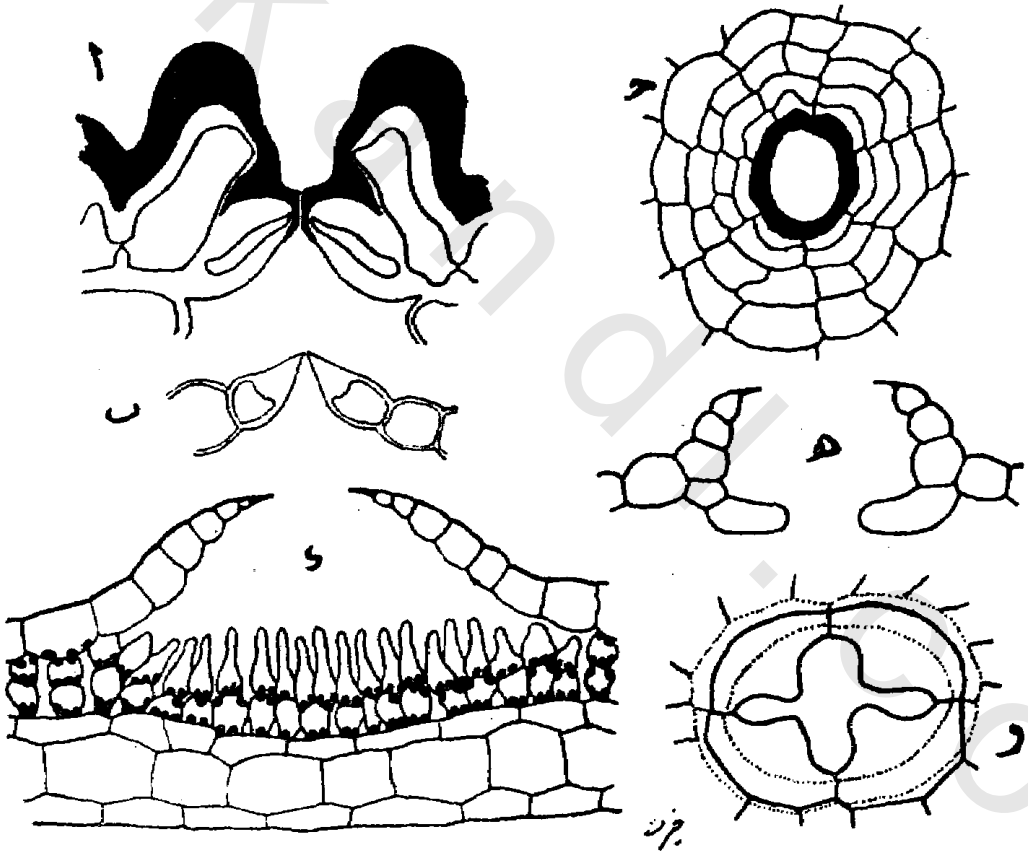
وفى بعض النباتات الآرويدية مثل *Monstera* و *Tornelia* و *Heteropsis* و *Pothos* ، يتقاطع مع الخلايا البرنشيمية النماسية شعيرات بينية تشبه الألياف فى مظهرها الخارجى وتتفرع بأشكال شتى وتنتهى بأطراف ملتوية ، وهذه تماثل فى قيمتها الميكانيكية النسيج المتفرع المشاهد فى جنس *Scirpus* .

وتزود الأجزاء السفلية الممتدة أفقياً فى الطمى من جذور *Sonneratia acida* التنفسية بنسيج تهوية برنشيمى يمتاز بوجود شعيرات داخلية منحنية فى شكل حرف S ، وتشبه الزنبرك حيث تساعد تبعاً لمرونتها نسيج التهوية البرنشيمى فى امتداده بعد انضغاطه بسبب عملية المد ، وبذلك يمتص الأكسيجين مرة أخرى ليملأ المسافات البينية .

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

المنافذ الخارجية لجهاز التهوية

يحدث الاتصال المباشر بين جهاز التهوية والجو الخارجى عن طريق مواضع خاصة تتخلل الأنسجة الضامة تعرف بفتحات التهوية أو النيماثودز Pneumathodes ، تمر الغازات خلالها بسهولة فى كل من الاتجاهين الداخلى والخارجى . وهناك ثلاثة أشكال رئيسية لفتحات التهوية هذه ، وهى : (أولا) ثغور البشرة Stomata ، (ثانياً) العديسات Lenticels التى تخترق البريدرم ، (وثالثاً) نوع أخير منها يسمى بفتحات التهوية Ventilating Pores يرى فى بعض الجذور الهوائية . وقد سبق ذكر كل من ثغور البشرة والعديسات مع الجهاز الضام .



(شكل ٩٣)

(ا) مقطع رأسى فى أحد ثغور نبات *Juniperus macrocarpa* ، (عن Klemm) . (ب) ثغر مائى لنبات *Alsophila sp.* . (هـ ، و) منظر سطحى ومقطع رأسى لفتحة هوائية فى نبات *Fagatella conica* . (ج ، د) مقطع رأسى ومنظر سفلى لفتحة هوائية لنبات *Marchantia polymorpha* ، (ب ، هـ ، و ، ج ، د عن هابرلاندت)

وتختلف الثغور فى نباتات معراة البذور والنباتات التيريدية والحززية بقسميها عن الثغور العادية السابق ذكرها . فى نباتات معراة البذور تختزل الفجوات الأمامية للثغور الى ممرات ضيقة بالنسبة لعدم تكون الامتدادات الكيوتينية الداخلية (شكل ٩٣ — ا) . وتحيط بهذه الممرات جدر الخلايا الحارسة الأمامية ، كما تتصل تدريجياً بالغرفة الهوائية الداخلية . ويقول Porsch إن الامتدادات الكيوتينية الداخلية قد ترى فى بعض حالات قليلة كما فى *Podocarpus neriifolia* ، وبذلك تكون الفجوة الخلفية ، غير أنها تكون ضعيفة التكوين . وتكون جدر الخلايا الحارسة الخلفية عادة أكثر سمكا من الأمامية ، كما تشملهما اللجنة مع تكوين جزئى وبقاء مساحة محدودة من الجدار الخلفى خالية من هذا التحور لتسمح بتحرك الماء الذى يصحب التغيرات الانتفاخية للخلايا الحارسة داخلياً وخارجياً . وتكون فجوات الخلايا الحارسة ضيقة فى العادة ذات محور طولى مائل نحو الخلف . وتمتاز ثغور نباتات معراة البذور بكونها غائرة نوعا ما ، ويقول Copeland إن ثغور *Ginkgo* و *Larix* تشبه فى تكوينها مثيلاتها فى النباتات النجيلية .

وتختلف الثغور فى النباتات التيريدية من حيث تكوينها ، فى *Equisetum* تشبه فى تكوينها ثغور نباتات معراة البذور ، كما تزداد تقوية جدر خلاياها الحارسة الخلفية بامتدادات على هيئة تغليظات أفقية تبرز داخل فجوات الخلايا المساعدة . وتحتوى كثير من النباتات السرخسية المحبة للرطوبة على ثغور تماثل فى تكوينها الثغور المائية (شكل ٩٣ — ب) ، فى *Salavinia natans* تكون جدر الخلايا الحارسة رقيقة فى كل جهاتها كما ينتظم اتساع الفتحة الثغرية ، وفى *Azolla coroliniana* تكون الخلايا الحارسة ثلاثية أو خماسية الأوجه ذات جدر رقيقة أيضاً ، كما تحمى الشعيرات العديدة الموجودة على الأوراق فى كل من هذين الجنسين الثغور من الانسداد الشعرى .

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

على خلية فردية حلقية الشكل بدلا من زوج من الخلايا الحارسة ، وتشتمل هذه على نواتين منتظمتى الوضع يرجع وجودهما الى اختفاء الخليتين الحارستين الابتدائيتين .

وقد يحمل الكيس الجرثومى الواحد فى *Polytrichum* ثلاثة أشكال من الثغور ، يسمى أولها بالثغر «ذى الخليتين» بالنسبة لوجود الزوج العادى 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 عرضى وسطى .

ولا ترى الثغور « ذات الخليتين » فى النباتات الحززية المنبطحة إلا فى الطور الجرثومى لجنس *Anthoceros* . أما الأطوار الجاميطية لنباتات MARCHANTIALES فتزود بفتحات تنفسية ، تختلف عن ثغور النباتات الحززية الأخرى وكذا النباتات ذات الحزم الوعائية فى 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 . وفى *Fegatella conica* (شكل ٩٣ — هـ ، و) تكون جدر الحلقة الداخلية من الخلايا المحيطة بالفتحة المركزية ، ضفة غشائية ذات حافة حادة ، وبذلك تظهر هذه الفتحة فى مقطعها الرأسى مشابهة لمثيلاتها فى الثغور المائية . أما النوع الأنبوبى من هذه الفتحات الهوائية فيرى فى الجسم الثالوثى لنباتات *Preissia* و *Marchantia* وكذا فى الأطوار الجاميطية عموماً ، وهى برميلية الشكل تتكون من صفوف أو طبقات من الخلايا تحيط بممر أنبوبى (شكل ٩٣ — هـ ، و) . وقد اعتبر Mirbel الطبقات القاعدية الكبيرة الحجم كجهاز قافل للفتحة الهوائية ، كما ذكر Kamerling إنها إما أن تقفل الفتحة جزئياً كما فى *Fimbriaria Stahliana* ، أو كلياً كما فى *Plagiochasma Aitoniana* .

نيما ثودز الجذور الهوائية

وهى النوع الثالث للمنافذ الخارجية لجهاز التهوية ، وتوجد فى الجذور التنفسية وكذا الجذور الهوائية . وتزود الجذور التنفسيه Breathing Roots عادة بنوع خاص من النيما ثودز ، ففى *Avicennia officinalis* و *Laguncularia racemosa* ، يتخلل البريدرم المكون من عدة طبقات متتالية أجسام تشبه العديسات فى كل صفاتها . وتحاط الجذور التنفسية فى نبات *Sonneratia acida* بثلاث طبقات من الفلين يتبادل معها مناطق مكونة من طبقة واحدة أو طبقتين من خلايا مستديرة تشبه الخلايا المفككة التى توجد مع العديسات ، كما تقارن طبقات الفلين الرقيقة بالطبقات القافلة لهذه الأعضاء (عن Goebel) . أما جذر *Sonneratia* فيعتبر مغطى بنيما ثودز متصلة فى شكل عديسة كبيرة فردية تنتشر على السطح الخارجى للعضو بأكمله (عن Karsten) . وتزود الجذور التنفسية التى تظهر فى بعض أنواع النخيل وخصوصاً فى جنس *Phoenix* بنوع خاص من النيماثودز تظهر بالعين المجردة فى هيئة مناطق بيضاء دقيقة عند قمم هذه الجذور ، أوعلى انتفاخات حلقية خلف هذه المناطق . وبفحصها ميكروسكوبياً يرى أنه يحل محل الأنسجة الليفية الموجودة تحت البشرة فى هذه المواضع ، كتل مكونة من عناصر اسكلرنشيميه مستديرة ، يفصلها عن بعضها نجوات بينيه صيقه ، يغطيها طبقة من نسيج اسفنجى ذى خلايا رقيقة الجدر (عن Jost) .

أما النيماثودز الخاصة بالجذور الهوائية ، فمثالها ما يشاهد على جذور نباتات الاوركدز الهوائية ، وهذه ترى بالعين المجردة على هيئة بقع بيضاء اللون وخصوصاً عند تشبع طبقة الفيلامن بالماء . وهى فى العادة مستطيلة الشكل موازية لمحور الجذر الطولى ومرتبة فى مجاميع طولية ، كما توزع فى الجذور الاسطوانية على كل جوانبها . أما فى الجذور المنبسطة ذات الجانبين ، والتى تعتبر أعضاء ضوئية ممثلة كجذور *Taeniophyllum Zollingeri* و *Aëranthus fasciola* ، فتوجد على جوانبها الظليلة المواجهة للتربة .

ويتكون كل من هذه النيماتودز من ثلاثة مناطق مميزة ، وهى منطقة القيلامن والاكسودرمس والقشرة البرنشيمية . ولما كانت الجدر الخارجية لخلايا الاكسودرمس المحتوية على الهواء تبقى كما هى بصفة دائمة ، فان نيماتودز هذه الجذور الأوركيدية لاتمثل فى 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 التى تشاهد فى NYMPHAEACEAE و *Papyrus antiquorum* و *Trapa* و *Lemna* و *Potamogeton* وغيرها فتتكون بواسطة تباعد الخلايا عن بعضها بطريقة شايزوجينية . وقد تنشأ المسافات الهوائية فى أحوال أخرى بتهشم جدر الخلايا أى بالطريقة اللايسيجينية كما هو الحال فى CYPERACEAE و GRAMINEAE و EQUISETALES .

وقد ينشأ نسيج التهوية البرنشيمى Aërenchyma أحياناً من المرستيم الأساسى ، غير أنه قد ينشأ فى أحوال أخرى من الطبقة المرستيمية الثانوية المماثلة للفلوجين .

أما الخلايا التى تتكون منها الأجهزة الثغرية ، فقد يرجع تكوينها الى البروتودرم أو الى المرستيم الأساسى . وقد سبق وصف منشأ وتكوين الجهاز الثغرى فى باب الجهاز الضام .

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