



...going one step further



T21001

Model of *Fagus sylvatica* leaf

The model of a *Fagus sylvatica* leaf shows a cube-shaped detail of the bifacial (2-sided) deciduous leaf..

The green leaves of the plant are stem axis appendages. The green colour is due to the presence of a large number of green (chlorophyll-containing) chloroplasts (10), which are the cell organelles responsible for carrying out the process of photosynthesis in photoautotrophic plants (plants that derive their energy from sunlight by photosynthesis). The leaf is 2-sided in the sense that the upper and lower epidermis differ from each other, with stomata (tiny pore-like openings) only found in the lower epidermis.

The upper epidermis (1) is the adaxial side, i.e. the side of the leaf (blade, lamina) facing toward the axis. The surface is oriented to the sunlight. The cells of the upper epidermis are immediately adjacent to each other, have the same structure and do not contain any chloroplasts, but have a thickened outer wall, covered by a thin layer of folded amorphous cutin, the cuticula. The lower abaxial epidermis (2) generally has the same structure except for the additional stomata (11) found there. The stomatal complexes are basically made up of a pair of bean-shaped, mobile guard cells (9), covered by an unevenly thick cuticula, with the cuticula reaching all the way into the substomatal cavity (8). An opening (or gap) between the guard cells is created when the turgor (pressure inside the cell) is high, i.e. the presence of sufficient water and ions in the cytoplasm (inside the cell), making it possible for the gas exchange process necessary for photosynthesis to take place with the surrounding environment. These two guard cells are the only cells of the epidermis that contain chloroplasts, since the photosynthetic energy obtained with the help of the chloroplasts is used for opening and closing the guard cells.

Located between the upper (1) and lower (2) epidermis, is the mesophyll (3-4), composed of an upper chloroplast-rich layer of palisade parenchyma (3) and a layer of spongy parenchyma (4) beneath. The mesophyll is also called assimilation tissue, since the chloroplasts contained in the cells are capable of producing sugar and oxygen from water and CO₂ (carbon dioxide) with the help of sunlight, by the process of photosynthesis, thereby assimilating the light. The number of chloroplasts close to the walls in the palisade layer facing the light is higher than in the spongy layer. The spongy layer however contains large spaces between individual cells filled with gas and water vapour, so-called intercellular spaces (8a), which are all interconnected to the largest intercellular space, the substomatal cavity (8). The exchange of gases from the inside of the leaf (mainly oxygen) with exterior gases (mainly CO₂) for maintaining metabolic processes, mainly occurs via the guard cells of the stomatal complexes, under the outer cuticular striations of which the smaller atrium (8b) and the large substomatal cavity (8) are located.

The leaf veins are slightly indented in the upper leaf, while slightly protruding in the lower leaf, forming a network of branching out vascular bundles, with the main vein (midrib) shown in the model (5-7). The water-conducting xylem (6) is always located on top, supplying all the parts of the leaf with water and ions absorbed through the roots. This water reaches all sections of the leaf via dead cells, large vessels, the walls of which are covered with lignified (turned to wood) e.g. net-shaped deposits and smaller tracheids, the walls of which are often thickened with spiral-shaped lignified material. Under the xylem, lies the phloem (7), which is the nutrient-conducting part of the vascular bundle, supplying all nutrient-storing parts of the plant with a solution of the high-energy sugar obtained from photosynthesis in the chloroplasts. The phloem is made of large dead sieve tube elements and a small companion cell accompanying each sieve tube element, both of which originating from an unequal division of one mother cell.

The living companion cell is responsible for control of the transport processes. Xylem and phloem are generally surrounded by a unicellular layer, the sclerenchymatous vascular bundle sheath (5). Sclerenchyma is made of dead cells with thickened cell walls, which facilitates its function as a supporting tissue. Thin-walled, living conducting cells are scattered in this sclerenchyma casing. The bifacial deciduous *Helleborus niger* leaf represents the most common leaf type in the plant kingdom.

- 1 upper epidermis with cuticula
- 2 lower epidermis with stomata
- 3 - 4 mesophyll = assimilation tissue
- 3 palisade parenchyma
- 4 spongy parenchyma
- 5 - 7 vascular bundle
- 5 sclerenchymatous vascular bundle sheath
- 6 xylem
- 7 phloem
- 8 substomatal cavity
- 8a intercellular space
- 8b atrium
- 9 guard cell
- 10 chloroplast
- 11 stoma, pore



Deutsch

Blattmodell von *Helleborus niger* – Schnee- oder Christrose

Das Blattmodell von *Helleborus niger* zeigt einen würfelförmigen Ausschnitt aus dem fußförmig gefiederten bifazialen (2-seitigen) Laubblatt.

Die grünen Blätter der Pflanzen sind Anhangsorgane der Sprossachse. Ihre grüne Farbe ergibt sich aus dem Vorhandensein sehr vieler grüner (chlorophyllhaltiger) Chloroplasten (10), diejenigen Zellorganellen, die für die photoautotrophen Pflanzen (solche Pflanzen, die ihre Energie durch den Vorgang der Photosynthese aus dem Sonnenlicht erhalten) den Vorgang ebenjener Photosynthese durchführen. 2-Seitiges Blatt insofern, als sich die obere und untere Epidermis (Oberhaut) dadurch voneinander unterscheiden, dass Spaltöffnungen (Stomata) nur in der unteren Epidermis zu finden sind.

Die obere Epidermis (1) zeigt die adaxiale, also die der Achse zugewandten Seite (Spreite, Lamina) des Blattes und ist mit ihrer Fläche nach dem Sonnenlicht ausgerichtet. Die Zellen der oberen Epidermis schließen lückenlos aneinander und sind alle gleich gestaltet, chloroplastenfrei, mit verdickter Außenwand, der eine dünne Schicht aus gefältem amorphem Cutin aufgelagert ist, der Cuticula. Generell ist die untere abaxiale Epidermis (2) gleich gestaltet, mit Ausnahme der dort vorkommenden Spaltöffnungen (Stomata - 11).

Die Spaltöffnungsapparate bestehen im Wesentlichen aus 2 bohnenförmigen beweglichen Schließzellen (9), die von einer ungleichmäßig dicken Cuticula überzogen sind, wobei die Cuticula bis in die Atemhöhle (8) hineinreicht.

Eine Öffnung (der Spalt) zwischen den Schließzellen entsteht, wenn der Turgor (Zellinnendruck) hoch ist, also ausreichend Wasser und Ionen im Cytoplasma (Zellinneren) vorhanden sind und ein für die Photosynthese notwendiger Gasaustausch mit der Umgebung stattfinden kann und soll. Diese beiden Schließzellen sind die einzigen Zellen der Epidermis, die Chloroplasten enthalten, da die mit ihrer Hilfe aus der Photosynthese gewonnene Energie für das Öffnen und Schließen der Schließzellen verwendet wird.

Zwischen oberer (1) und unterer (2) Epidermis befindet sich das Mesophyll (3-4), das aus dem oberen chloroplastenreichen Palisadenparenchym (3) und dem darunter befindlichen Schwammparenchym (4) besteht. Das Mesophyll heißt auch Assimilationsparenchym, da die in den Zellen enthaltenen Chloroplasten mit Hilfe des Sonnenlichts im Vorgang der Photosynthese aus Wasser und CO_2 (Kohlendioxid) Zucker und Sauerstoff herstellen können, sie assimilieren das Licht.

Die Anzahl der wandständigen Chloroplasten ist im Palisadenparenchym, das dem Licht zugewandt ist höher als im Schwammparenchym. Dafür gibt es im Schwammparenchym große gas- und wasserdampfgefüllte Zwischenräume zwischen den einzelnen Zellen, die sog. Interzellularen (8a), die alle in Verbindung stehen und in der Atemhöhle (8) als größter Interzellularen münden. Der Austausch von Gasen aus dem Inneren des Blattes (hauptsächlich Sauerstoff) mit Gasen aus der Außenwelt (hauptsächlich CO_2) zur Aufrechterhaltung der Stoffwechselvorgänge geschieht über die Schließzellen der Spaltöffnungsapparate, unter deren äußeren Cuticularleisten sich der kleinere Vorhof (8b) und schließlich die große Atemhöhle (8) erstreckt.

Die Adern des Blattes, die auf der Blattoberseite etwas eingesenkt sind und auf der Unterseite etwas hervortreten bilden ein Netzwerk aus sich immer weiter verzweigenden Leitbündeln, wobei die Hauptader (der Mittelnerv) im Modell getroffen ist (5-7).

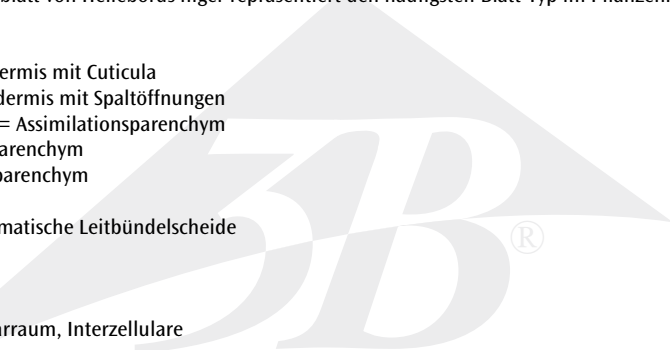
Der wasserleitende Teil, das Xylem (6) liegt dabei immer oben und führt allen Teilen des Blattes das Wasser und die Ionen zu, welches über die Wurzeln aufgenommen wird. Dieses Wasser gelangt über tote Zellen, den großen Tracheen, deren Wände mit lignifizierten (verholzten) z.B. netzförmigen Wandauflagerungen versehen sind und den kleineren Tracheiden, deren Wände meistens mit spiraligen lignifizierten

Wandverdickungen ausgestattet sind in alle Teile des Blattes. Unter dem Xylem liegt das Phloem (7), der nährstoffleitende Teil des Leitbündels, in dem die durch die Photosynthese gewonnenen energiereichen Zucker in gelöstem Zustand aus den Chloroplasten zu allen nährstoffspeichernden Orten der Pflanze geleitet werden.

Das Phloem besteht aus großen abgestorbenen Siebröhren und einer jeweils zu einer Siebröhre gehörenden kleinen lebenden Geleitzelle, die beide aus der inäqualen (ungleichmäßigen) Teilung einer Mutterzelle hervorgegangen sind. Bei den Transportvorgängen spielt die lebende Geleitzelle eine Steuerungsrolle.

Xylem und Phloem sind von einer meist einzelligen Schicht, der sklerenchymatischen Leitbündelscheide (5) umgeben. Sklerenchym besteht aus wandverstärkten, abgestorbenen Zellen, die durch diese Wandverstärkungen ein Stützgewebe bilden. Eingestreut in diesen Mantel aus Sklerenchym finden sich dünnwandige, lebende Durchlasszellen.

Das bifaziale Laubblatt von *Helleborus niger* repräsentiert den häufigsten Blatt-Typ im Pflanzenreich.

- 
- 1 Obere Epidermis mit Cuticula
 - 2 Untere Epidermis mit Spaltöffnungen
 - 3 - 4 Mesophyll = Assimilationsparenchym
 - 3 Palisadenparenchym
 - 4 Schwammparenchym
 - 5 - 7 Leitbündel
 - 5 Sklerenchymatische Leitbündelscheide
 - 6 Xylem
 - 7 Phloem
 - 8 Atemhöhle
 - 8a Interzellularraum, Interzellulare
 - 8b Vorhof
 - 9 Schließzelle
 - 10 Chloroplast
 - 11 Spaltöffnung, Stoma

Modelo de la estructura de la hoja de la *Helleborus niger* o Rosa de Navidad

El modelo de la estructura de la hoja de la *Helleborus niger* muestra un corte transversal con forma de cubo de una hoja pedada bifacial o de dos caras. Las hojas verdes de la planta son órganos vegetativos formados a partir del vástago. Deben el color verde a la presencia de numerosos cloroplastos (10), unos orgánulos que contienen clorofila y que son responsables de realizar la fotosíntesis en las plantas foto-autótrofas, es decir aquellas que obtienen la energía transformando la luz solar por medio del proceso de la fotosíntesis.

En las hojas bifaciales la epidermis superior e inferior es distinta presentando estomas únicamente en la inferior. La epidermis superior (1) muestra la cara adaxial, es decir la cara o lámina de la hoja plegada hacia el eje con la superficie expuesta a la luz solar. Las células de la epidermis superior son aplanadas y forman una capa sin espacios intercelulares, carecen de cloroplastos y presentan una pared exterior gruesa, sobre la que se deposita una fina capa de cutina segregada llamada cutícula. Por norma general, la conformación de la epidermis inferior abaxial (2) es igual, salvo por la presencia de estomas (11). Las estomas constan de dos células oclusivas móviles de forma arriñonada (9) recubiertas de una cutícula de grosor desigual, que alcanza hasta los poros (8). La separación entre las dos células oclusivas se produce al aumentar el turgor o presión intracelular, es decir cuando hay agua e iones suficientes en el citoplasma que permiten que se produzca el intercambio de gases necesario para la fotosíntesis.

Estas dos células oclusivas son las dos únicas células de la epidermis que contienen cloroplastos y la energía ganada de la fotosíntesis sirve para abrirlas y cerrarlas. Entre la epidermis superior (1) y la inferior (2) se encuentra el mesófilo (3-4), que consta del parénquima en empalizada (3), situado en bajo la epidermis superior y rico en cloroplastos, y el parénquima esponjoso (4), situado bajo la epidermis inferior. Al mesófilo también se le conoce por parénquima de asimilación debido a que los cloroplastos de las células sirven para transformar el agua y el CO₂ (dióxido de carbono) en glucosa y oxígeno mediante la captación de luz solar y el proceso de fotosíntesis; es decir, asimila la luz. El parénquima en empalizada, situado bajo la epidermis superior y encarado hacia la luz, presenta un número mayor de cloroplastos, que el parénquima esponjoso. A cambio, en el parénquima esponjoso existen grandes espacios intercelulares (8a) unidos entre sí y rellenos de gas y vapor de agua que desembocan en los poros (8). El intercambio entre los gases del interior de la hoja (básicamente oxígeno) y los gases del exterior (básicamente CO₂) necesario para los procesos metabólicos se realiza mediante las células oclusivas de las estomas, bajo cuya cutícula se extiende el vestíbulo estomático (8b) y los poros (8).

Los nervios de las hojas, que en la cara superior están algo deprimidos sobresaliendo en la inferior, conforman una red de haces vasculares. En el modelo puede verse el nervio principal o nervio medial (5-7). El xilema (6) es el tejido conductor de agua. Se encuentra siempre en la cara superior y conduce el agua, que ha obtenido de las raíces, y los iones hasta todos los organismos de la planta. El agua llega a través de traqueas de gran diámetro, unas células residuales cuyas paredes están recubiertas de una capa lignificada, y las traqueidas, cuyas paredes suelen presentar engrosamientos lignificados en forma de espiral. Debajo del xilema se encuentra el floema (7), el tejido conductor de nutrientes del haz vascular desde el que la glucosa rica en energía ganada en el proceso de fotosíntesis se conduce en estado líquido desde los cloroplastos hasta todos los órganos almacenadores de nutrientes de la planta.

El floema consta de grandes tubos cribosos y de pequeñas células anexas vivas, ambos nacidos de la partición desigual de una célula madre. La célula anexa ejerce el control durante los procesos de transporte. El xilema y el floema suelen estar revestidos de una capa unicelular de tejido esclerenquimático. El esclerenquima está compuesto por células muertas gruesas que ejercen función de sostén. Repartidas por el tejido esclerenquimático encontramos colénquimas, células vivas de paredes finas. La hoja bifacial de *Helleborus Níger* es la hoja más frecuente del mundo vegetal.

- 1 Epidermis superior con cutícula
- 2 Epidermis inferior con estomas
- 3 - 4 Mesófilo = parénquima de asimilación
- 3 Parénquima en empalizada
- 4 Parénquima esponjoso
- 5 - 7 Haz vascular
- 5 Vaina esclerenquemática del haz vascular
- 6 Xilema
- 7 Floema
- 8 Poros
- 8a Espacio intracelular, intracelular
- 8b Vestíbulo estomático
- 9 Célula oclusiva
- 10 Cloroplasto
- 11 Estoma



Modèle de feuille du Helleborus niger : Rose de Noël ou Ellébore noir

Le modèle de feuille du Helleborus niger présente une section cubique issue de la feuille biface (2 côtés) pennatiséquée et pédatiséquée.

Les feuilles vertes des plantes sont des organes auxiliaires de la tige. Leur couleur verte est due à la présence de très nombreux chloroplastes verts (10) (contenant de la chlorophylle), ces organites cellulaires qui réalisent justement cette opération de photosynthèse pour les plantes photoautotrophes (les plantes qui reçoivent leur énergie par l'opération de photosynthèse à partir de la lumière du soleil).
2-Feuille à plusieurs côtés dans la mesure où l'épiderme inférieur et l'épiderme supérieur se distinguent l'un de l'autre par le fait que seul l'épiderme inférieur présente des orifices (stomates).

L'épiderme supérieur (1) correspond au côté adaxial, c'est-à-dire le côté orienté dans le sens de l'axe (limbe) de la feuille et sa surface est dirigée vers la lumière du soleil. Les cellules de l'épiderme supérieur se touchent les unes les autres sans discontinuité et ont toutes la même forme, sans chloroplaste, avec une paroi extérieure épaissie sur laquelle repose une fine couche de cutine amorphe plissée : la cuticule. L'épiderme abaxial inférieur (2) est généralement formé de manière identique, à l'exception des orifices (stomates - 11). Les appareils des orifices sont composés essentiellement de 2 cellules de fermeture (9) mobiles en forme de haricot recouvertes d'une cuticule d'épaisseur inégale, la cuticule se prolongeant jusque dans la poche d'air (8). Une ouverture (la fente) apparaît entre les cellules de fermeture quand la turgescence (pression interne de la cellule) est élevée, une quantité suffisante d'eau et d'ions est présente dans le cytoplasme (intérieur des cellules) et un échange des gaz nécessaire à la photosynthèse peut et doit avoir lieu avec le milieu ambiant.

Ces deux cellules de fermeture sont les seules cellules de l'épiderme qui contiennent des chloroplastes car l'énergie obtenue avec son aide à partir de la photosynthèse est utilisée pour l'ouverture et la fermeture des cellules de fermeture.

Entre l'épiderme supérieur (1) et l'épiderme inférieur (2) se trouve le mésophylle (3-4) qui est composé du parenchyme palissadique supérieur (3) riche en chloroplastes et du parenchyme spongieux (4) qui se trouve en dessous. Le mésophylle s'appelle également parenchyme d'assimilation car les chloroplastes contenus dans les cellules peuvent fabriquer du sucre et de l'oxygène à l'aide de la lumière du soleil dans le processus de photosynthèse à partir d'eau et de CO₂ (dioxyde de carbone), ils assimilent la lumière.

Dans le parenchyme palissadique tourné vers la lumière, le nombre de chloroplastes pariétaux est plus élevé que dans le parenchyme spongieux. C'est pourquoi, il y a dans le parenchyme spongieux de nombreux espaces intermédiaires remplis de gaz et de vapeur d'eau entre toutes les cellules, il s'agit des intercellulaires (8a), qui sont tous reliés et qui débouchent dans la poche d'air (8) comme les intercellulaires les plus grands. L'échange de gaz de l'intérieur de la feuille (principalement de l'oxygène) avec des gaz du monde extérieur (principalement du CO₂) pour le maintien des processus métaboliques a lieu par les cellules de fermeture des appareils des orifices sous les bourrelets cuticulaires extérieurs desquels s'étend le plus petit vestibule (8b) et finalement la grande poche d'air (8).

Les veines de la feuille légèrement en creux sur la face supérieure de la feuille et légèrement en saillie sur la face inférieure forment un réseau de faisceaux libéro-ligneux se ramifiant toujours davantage, la veine principale (le nerf central) étant touchée dans le modèle (5-7).

L'élément qui transporte l'eau, le xylème (6), se situe toujours en haut et transporte l'eau absorbée par les racines ainsi que les ions vers toutes les parties de la feuille. Cette eau accède par les cellules mortes aux grandes tranchées dont les parois sont pourvues d'épaississements lignifiés (sclérifiés), en forme de filet par exemple, et aux plus petits trachéides dont les parois sont dotées la plupart du temps d'épaississements lignifiés en forme de spirales dans toutes les parties de la feuille.

Sous le xylème se trouve le phloème (7), le transporteur de nutriments du faisceau libéro-ligneux dans lequel le sucre énergétique obtenu par la photosynthèse est dirigé à l'état dissout des chloroplastes vers toutes les réserves de nutriments de la plante. Le phloème est constitué de grands tubes criblés scléreux et d'une petite cellule compagne vivante appartenant respectivement à un tube criblé, tous deux issus de la division inégale d'une cellule mère. La cellule compagne vivante joue un rôle de commande lors des processus de transport.

Xylème et phloème sont entourés d'une couche généralement unicellulaire, la gaine du faisceau libéro-ligneux (5) de sclérenchyme. Le sclérenchyme est constitué de cellules scléreuses aux parois épaissies et qui forment un tissu de soutien par l'épaississement de leurs parois. Des cellules de passage vivantes et à paroi fine sont dispersées dans ce manteau de sclérenchyme.

La feuille biface du *Helleborus niger* représente le type de feuille le plus courant dans le royaume des plantes.

- 
- 1 Epiderme supérieur avec cuticule
 - 2 Epiderme inférieur avec orifices
 - 3 - 4 Mésophylle = parenchyme d'assimilation
 - 3 Parenchyme palissadique
 - 4 Parenchyme spongieux
 - 5 - 7 Faisceau libéro-ligneux
 - 5 Gaine du faisceau libéro-ligneux de sclérenchyme
 - 6 Xylème
 - 7 Phloème
 - 8 Poche d'air
 - 8a Espace intercellulaire, les intercellulaires
 - 8b Vestibule
 - 9 Cellule de fermeture
 - 10 Chloroplaste
 - 11 Orifice, Stomate

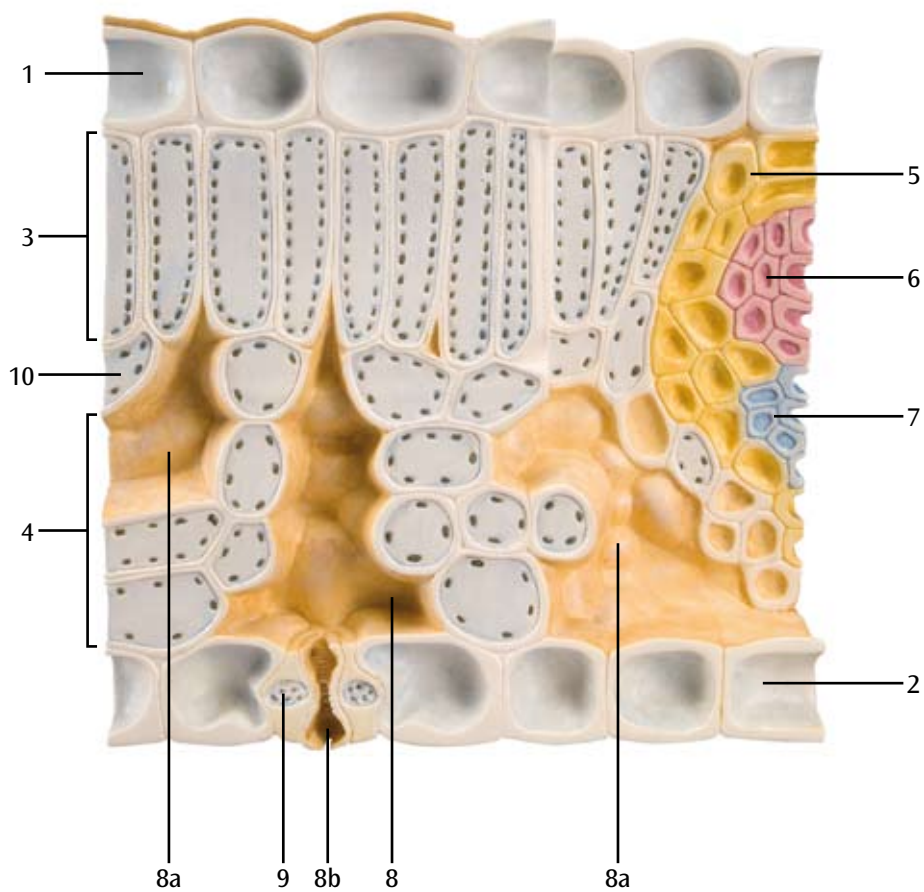
1



2



11



1

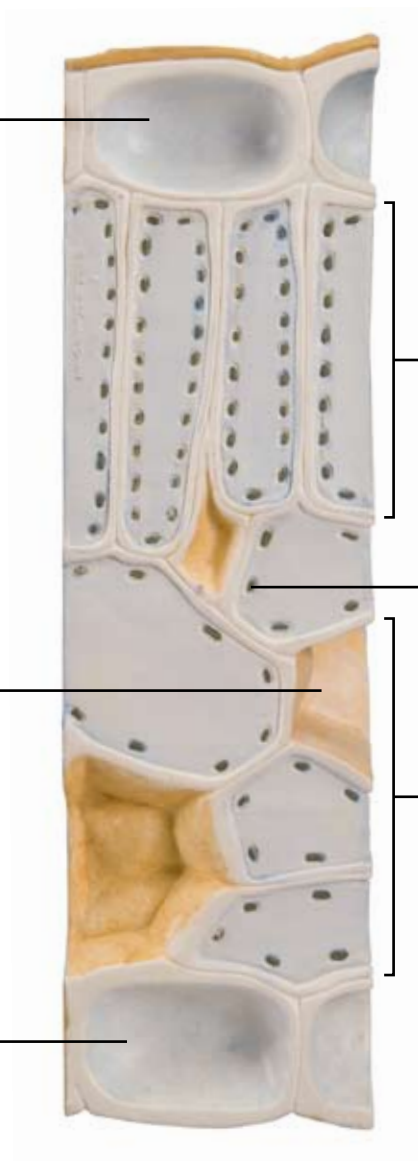
3

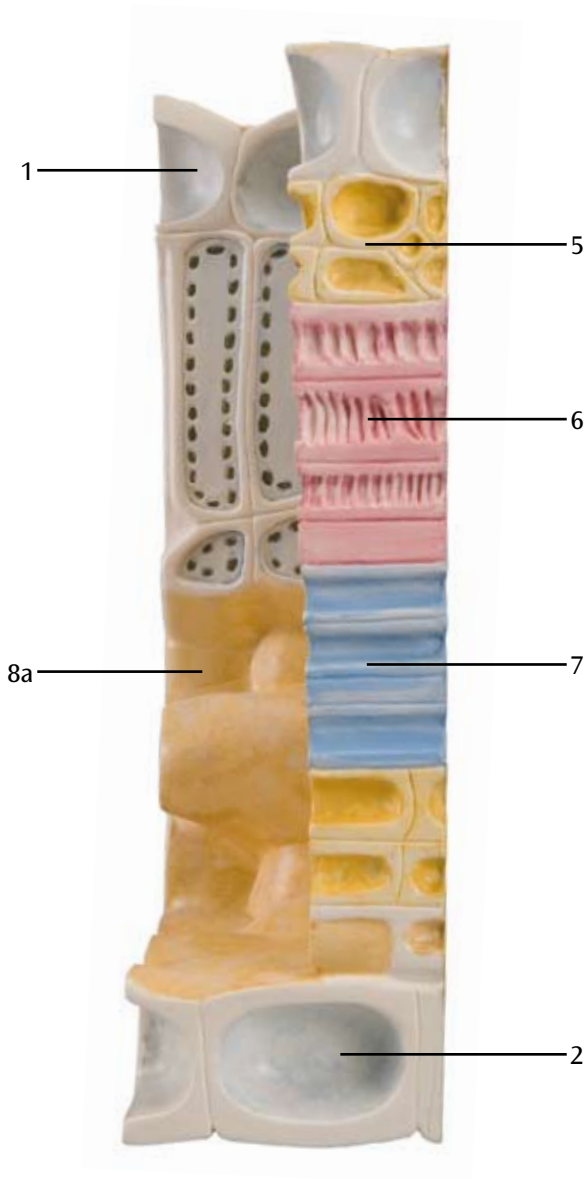
10

8a

4

2





Modelo de folha da *Helleborus niger* - Rosa de natal

O modelo da folha da *Helleborus niger* exibe um corte em formato cúbico da folhagem bifacial (2 lados) em formato de pé com penugens.

As folhas verdes das plantas são órgãos anexos do caule do broto. Sua cor verde advém da existência de diversos cloroplastos verdes (10) (que contêm clorofila), aqueles órgãos celulares que executam a processo de fotossíntese para as plantas fotoautotróficas (as plantas que obtêm sua energia através do processo da fotossíntese da luz solar).

Chama-se folha de 2 lados, porque a epiderme superior e a inferior se diferenciam pelo fato das aberturas (estômatos) serem encontradas apenas na epiderme inferior.

A epiderme superior (1) exibe a adaxial ou seja, o lado voltado para o eixo (limbo, lâmina) da folha e a sua superfície é voltada para a luz solar. As células da epiderme superior se fecham totalmente entre si e todas têm a mesma composição, livres de cloroplasto, com parede externa grossa, onde se encontra uma fina camada de cutina amorfa, a cutícula. Em geral, a epiderme abaxial inferior (2) é estruturada da mesma forma, à exceção das aberturas existentes (estômatos - 11). Os mecanismos de abertura são compostos fundamentalmente de 2 células de fechamento móveis em forma de feijão (9), cobertas por uma cutícula de espessura irregular, onde a cutícula atinge até a cavidade respiratória (8).

Uma abertura (o vão) surge entre as células de fechamento, quando a turgidez (pressão interna da célula) é alta, ou seja, água e íons suficientemente existentes no citoplasma (interior da célula) e, pode e deve existir uma troca de gases com o ambiente, essencial para a fotossíntese. Essas duas células de fechamento são as únicas células da epiderme, que contêm os cloroplastos, para que com a sua ajuda, a energia obtida da fotossíntese, possa ser utilizada para a abertura e fechamento das células de fechamento.

Entre a epiderme superior (1) e a inferior (2), encontra-se o mesófilo (3-4), que é composto pelo parênquima paliádico superior e rico em cloroplasto (3) e o parênquima esponjoso localizado abaixo deste (4). O mesófilo também é chamado de parênquima de assimilação, porque os cloroplastos contidos nas células, com a ajuda da luz solar, podem criar açúcar e oxigênio a partir de água e CO_2 (dióxido de carbono) do processo da fotossíntese; eles assimilam a luz.

A quantidade de cloroplastos nas paredes no parênquima paliádico voltado para a luz, é maior do que no parênquima esponjoso. Para isso, no parênquima esponjoso, existem grandes vãos preenchidos com gás e vapor de água entre as células individuais, as chamadas intercelulares (8a), todas ligadas e que desembocam na cavidade respiratória (8) como grandes intercelulares. A troca de gases da parte interna da folha (principalmente oxigênio) com os gases do meio externo (principalmente CO_2) para a manutenção do processo de troca de oxigênio, ocorre através das células de fechamento do mecanismo de abertura do vão, onde sob suas réguas cuticulares externas se estende a pequena entrada (8b) e finalmente a grande cavidade respiratória (8). As veias da folha, um pouco afundadas no lado superior da folha, se destacam levemente no lado inferior, compondo uma rede de feixes vasculares, onde a veia principal (o nervo central) é representada no modelo (5-7).

A parte condutora de água, o xilema (6), está sempre na parte superior e conduz água e os íons a todas as partes da folha, os quais são recebidos através das raízes. Essa água chega através das células mortas, os grandes traqueídeos, cujas paredes lignificadas (lenhosas), p.ex., resíduos parietais em forma de rede e pequenos traqueídeos, cujas paredes compostas em sua maioria de espessamentos parietais em espiral e lignificados, estão em todas as partes da folha. Abaixo do xilema, localiza-se o floema (7), a parte condutora de nutrientes do feixe vascular, o qual, através do açúcar rico em energia obtido da fotossíntese, é conduzido em forma dissolvida dos cloroplastos até todos os locais de armazenamento de nutrientes da planta.

O floema é composto de grandes redes mortas e células acompanhantes vivas que pertencem respectivamente a uma rede, ambas surgidas a partir de uma divisão da célula mãe. Nos processos de transporte, a célula acompanhante viva tem o papel de controle.

Português

O xilema e o floema são revestidos por uma camada normalmente individual, os cordões esclerenquimáticos (5). O esclerênquima é composto de células mortas com espessamento nas paredes, que formam uma teia de sustentação através desses espessamentos. Espalhados nessa camada de esclerênquimas, encontram-se as células de passagem vivas com paredes finas.

A folha bi facial do *Helleborus niger* representa o tipo mais comum no reino das plantas.

- 1 Epiderme superior com cutícula
- 2 Epiderme inferior com aberturas estomatais
- 3 - 4 Mesófilo = Parênquima de assimilação
 - 3 Parênquima paliçádico
 - 4 Parênquima esponjoso
- 5 - 7 Feixe vascular
 - 5 Cordões esclerenquimáticos
 - 6 Xilema
 - 7 Floema
- 8 Cavidade respiratória
- 8a Área intercelular, intercelulares
- 8b Entrada
- 9 Célula de fechamento
- 10 Cloroplasto
- 11 Abertura, estômatos



Modello di foglia di *Helleborus niger* - Elleboro o rosa di Natale

Il modello della foglia di *Helleborus niger* presenta una sezione di forma cubica della foglia bifacciale (che ha 2 lati) pedata e pennata. Le foglie verdi della pianta sono gli organi accessori del fusto. Il loro colore verde dipende dalla presenza di moltissimi cloroplasti verdi (cellule contenenti clorofilla, 10), ovvero gli organuli cellulari deputati al processo della fotosintesi (grazie al quale le piante riescono ad ottenere l'energia dalla luce solare) nelle piante fotoautotrofe. La foglia è definita „bifacciale“ perché l'epidermide (il rivestimento superficiale) inferiore e quella superiore differiscono tra loro; infatti gli stomi si trovano soltanto nell'epidermide inferiore. L'epidermide superiore (1) è in posizione adassiale, quindi con il lato (faccia, lamina) esposto verso l'asse della foglia, e la sua superficie è rivolta verso la luce solare. Le cellule dell'epidermide superiore sono tutte serrate tra loro, senza spazi intermedi, ed hanno tutte la stessa struttura, priva di cloroplasti, con una parete esterna ispessita, sovrapposta ad uno strato sottile di cutina amorfa pieghettata, la cuticola. Generalmente l'epidermide abassiale inferiore (2) ha una struttura simile, ad eccezione degli stomi, che qui sono presenti (11).

L'apparato stomatico è composto essenzialmente da 2 cellule di guardia a forma di fagiolo (9), rivestite da una cuticola di spessore non uniforme, che raggiunge anche le camere sottostomatiche (8). Quando il turgore (la pressione interna delle cellule) è alto, a causa di una quantità sufficiente di acqua e ioni nel citoplasma (contenuto cellulare), tra le cellule di guardia si forma un'apertura (la bocca), in modo da consentire lo scambio gassoso con l'ambiente, necessario per la fotosintesi. Queste cellule di guardia sono le uniche cellule dell'epidermide che contengono i cloroplasti, in quanto è proprio grazie all'energia ottenuta mediante la fotosintesi che tali cellule possono aprirsi e chiudersi. Tra l'epidermide superiore (1) e inferiore (2) si trova il mesofillo (3-4), composto dal parenchima a palizzata (3), ricco di cloroplasti, e il sottostante parenchima lacunoso (4). Il mesofillo è definito anche „parenchima di assimilazione“, perché i cloroplasti contenuti nelle sue cellule, assimilando la luce solare nella fotosintesi, producono zuccheri e ossigeno partendo dall'acqua e dalla CO₂ (anidride carbonica).

Il numero di cloroplasti nella parete cellulare nel parenchima a palizzata, che è esposto alla luce, è superiore rispetto al parenchima lacunoso. Perciò nel parenchima lacunoso sono presenti grandi spazi pieni di gas e acqua tra le singole cellule, i cosiddetti „spazi intercellulari“ (8a), comunicanti tra loro e sfocianti nella camera d'aria intercellulare più grande (8). Lo scambio di gas tra l'interno della foglia (principalmente ossigeno) e l'ambiente esterno (principalmente CO₂), per il mantenimento dei processi metabolici, avviene mediante le cellule di guardia dell'apparato stomatico, al di sotto della relativa membrana cuticolare, dove si estende un piccolo atrio (8b) e, infine, la grande camera d'aria (8). I vasi della foglia, che si trovano poco al di sotto del lato superiore della foglia, proseguono verso il lato inferiore, dove formano una rete sempre più ramificata di fasci vascolari.

Nel modello è illustrato il vaso principale (la nervatura centrale, 5-7). La parte che trasporta l'acqua, lo xilema (6), si trova sempre al di sopra e rifornisce tutte le parti della foglia con l'acqua e gli ioni provenienti dalle radici. Passando attraverso cellule morte, le grandi trachee, le cui pareti sono dotate di una rete di sostegno significata, e le tracheiti, le cui pareti sono dotate di ispessimenti spiraliformi significati, quest'acqua raggiunge tutte le parti della foglia. Sotto lo xilema si trova il floema (7), la parte del fascio vascolare che trasporta gli elementi nutritivi, e che consente di rifornire tutte le parti di accumulo di sostanze nutritive della pianta con lo zucchero (allo stato disciolto) prodotto dai cloroplasti durante la fotosintesi. Il floema è composto da grandi canali morti, con una piccola cellula compagna vivente, entrambi originati dalla suddivisione ineguale (non uniforme) di una cellula madre. Nel processo di trasporto, questa cellula compagna vivente ha una funzione di controllo.

Lo xilema e il floema sono circondati da un rivestimento costituito da un unico strato di cellule, il fascio vascolare sclerenchimatico (5). Lo sclerenchima è costituito da cellule morte dalle pareti ispessite che, grazie a tale ispessimento, formano un tessuto di supporto. In questo rivestimento sclerenchimatico si trovano anche cellule di passaggio viventi dalle pareti sottili. La foglia bifacciale di *Helleborus niger* rappresenta il tipo di foglia più diffuso nel regno vegetale.

Italiano

- 1 Epidermide superiore con cuticola
- 2 Epidermide inferiore con stomi
- 3 - 4 Mesofillo = Parenchima di assimilazione
- 3 Parenchima a palizzata
- 4 Parenchima lacunoso
- 5 - 7 Fascio vascolare
- 5 Rivestimento di tessuto sclerenchimatico
- 6 Xilema
- 7 Floema
- 8 Camera d'aria
- 8a Spazio intercellulare
- 8b Atrio
- 9 Cellula di guardia
- 10 Cloroplasto
- 11 Stoma



葉の構造ブロックモデル

日本語

この植物の葉の構造モデルは、落葉性の両面葉をもつヨーロッパナ (*Fagus sylvatica*) の葉の縦断面を立方体で表したものです。

この植物の葉は葉身が分岐した複葉です。緑色の葉緑素を含んだ葉緑体が多数存在するため、葉は緑色をしています(10)。葉緑体は、光によりエネルギーを得ている光独立栄養植物の光合成過程に関与している細胞小器官です。この葉の表皮層は、表裏つまり向軸側と背軸側では構造が異なり、特に気孔(小さな孔状の開口部)は背軸側にのみに認められます。

向軸側の表皮層(1)とは、葉(葉身)が莖に面した側で、太陽光指向性です。向軸側表皮層の細胞は互いに直接隣接し、同一構造で、葉緑体を持ちません。外壁は肥厚しており、折り畳まれた不定形のクチン(角皮素)である外皮の薄膜で覆われています。背軸側の表皮層(2)は、一般に気孔(11)がみられることを除いては向軸側と同じ構造をしています。気孔は基本的に一對の豆型の可動性孔辺細胞(9)から構成され、不規則に肥厚した外皮に覆われており、その外皮は呼吸腔にまで達しています(8)。孔辺細胞の間の開口部(8b)は、膨圧(細胞内の圧力)が高い場合、つまり細胞質に十分な水分およびイオンが存在する場合に開口し、光合成に必要なガス交換を可能にしています。孔辺細胞は開閉運動に光合成で得られたエネルギーが必要なため、表皮の細胞で唯一、葉緑体を有しています。孔辺細胞および孔辺細胞と隣接する副細胞により気孔装置が形成されます。

向軸側と背軸側の表皮層(1)(2)の間に位置するのは葉肉(3~4)であり、上部の葉緑素が豊富な柵状組織の層(3)と下部の海绵状組織の層(4)とから成ります。この葉肉は、細胞中に含有されている葉緑体が光を利用する光合成により、水とCO₂(二酸化炭素)から糖と酸素を生成することから同化組織とも呼ばれています。太陽光に面した外壁に近い柵状組織には下層側の海绵状組織よりも多くの葉緑体が存在します。海面状組織の各細胞間には水蒸気などの気体で満たされた広い空間、細胞間隙(8a)がみられ、この間隙はいずれも大規模な細胞間隙である呼吸腔(8)につながっています。代謝過程を維持するための葉の内側の気体(主に酸素)と外側の気体(主にCO₂)との交換は、主として呼吸腔(8)とつながった気孔装置の開口部(8b)を経由して行われます。

葉脈は上葉ではやや内側に湾入し、下葉ではやや突出しており、モデルで示している中央脈(主脈)とともに分枝を広げた維管束のネットワークを形成しています(5~7)。木部の道管(6)は常に上側(向軸側)に位置し、葉のあらゆる部分に根から吸収した水およびイオンを運んでいます。道管の外壁は木化しており、仮導管で覆われ、多くは内部にはらせん肥厚が見られます。木部の下には師部(7)が位置しています。この師部は維管束の栄養通道組織で、葉緑体が光合成により産生した糖を植物の栄養貯蔵部分に届けています。師部は無核の精細胞である師管細胞とそれに付随する伴細胞とから成り、この両者は1個の母細胞の不等分裂から発生し、伴細胞は輸送過程の管理に関与しています。

木部と師部は一般に、厚壁の維管束鞘(5)で覆われています。厚壁組織は、支持組織として、肥厚した細胞壁を有する死細胞から成ります。

日本語

- 1 クチクラを持つ向軸側表皮層
- 2 気孔がみられる背軸側表皮層
- 3～4 葉肉（同化組織）
- 3 柵状柔組織
- 4 海綿状柔組織
- 5～7 維管束
- 5 維管束鞘
- 6 道管
- 7 篩管
- 8 呼吸腔
- 8a 細胞間隙
- 8b 開口部
- 9 孔辺細胞
- 10 葉緑体
- 11 気孔



Модель листа *Helleborus niger* (рождественская роза)

Модель листа *Helleborus niger* демонстрирует кубовидную часть дольчатого бифациального (двустороннего) опадающего листа. Зеленые листья растения представляют собой придатки осевого органа, стебля. Зеленый цвет обусловлен присутствием большого количества зеленых (содержащих хлорофилл) хлоропластов (10), которые являются клеточными органеллами, отвечающими за выполнение процесса фотосинтеза в фотоавтотрофных растениях (растения, которые получают энергию из солнечного света посредством фотосинтеза). Лист двусторонний поскольку верхний и нижний эпидермис отличаются друг от друга устьицем (маленькие отверстия, похожие на поры), имеющиеся только в нижнем эпидермисе. Верхний эпидермис (1) – это адаксиальная поверхность, т.е. сторона листа (листовая пластинка), направленная к оси. Эта поверхность направлена к солнечному свету. Клетки верхнего эпидермиса тесно примыкают друг к другу, характеризуются одинаковой структурой и не содержат хлоропластов, но имеют утолщенную наружную стенку, покрытую тонким слоем складчатого бесструктурного кутина, кутикулой.

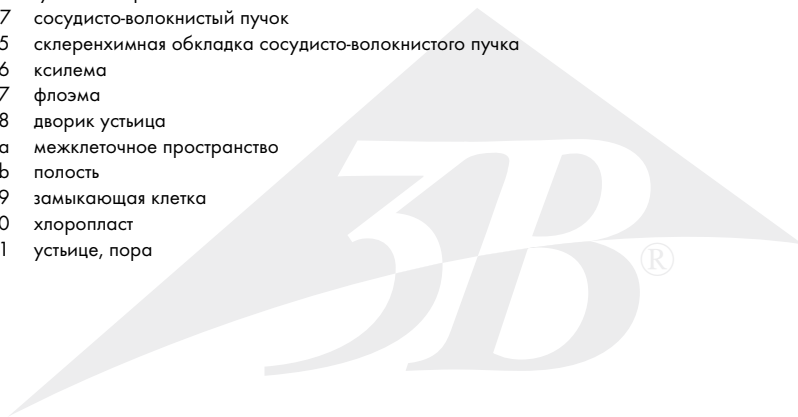
Эпидермис на нижней поверхности листа (2) в основном характеризуется такой же структурой, за исключением дополнительного устьица (11). Комплексы устьиц в основном образованы парой бобовидных, подвижных замыкающих клеток (9), покрытых неровной толстой кутикулой, которая доходит до дворика устьица (8). Отверстие (или зазор) между замыкающими клетками образуется когда тургор (давление внутри клетки) высокий, т.е. в цитоплазме (внутри клетки) присутствует достаточно воды и ионов, обеспечивая возможность протекания процесса обмена газов с окружающей средой, необходимого для фотосинтеза. Эти две замыкающие клетки являются единственными клетками эпидермиса, которые содержат хлоропласты, поскольку фотосинтетическая энергия, полученная с помощью хлоропластов, используется для открытия и закрытия замыкающих клеток. Расположенный между верхним (1) и нижним (2) эпидермисом мезофилл (3-4), образован верхним слоем столбчатой паренхимы (3), богатой хлоропластами, и слоем губчатой паренхимы (4), расположенным ниже.

Мезофилл также называют ассимилирующей тканью, поскольку хлоропласты в клетках способны вырабатывать сахар и кислород из воды и CO_2 (диоксид углерода) с помощью солнечного света посредством фотосинтеза, таким образом ассимилируя свет. Количество хлоропластов, расположенных около стенки в столбчатом слое, обращенном к свету, больше, чем в губчатом слое. Однако в губчатом слое имеются большие пространства между отдельными клетками, заполненные газом и парами воды, так называемые межклеточные пространства (8а), которые все взаимосвязаны с самым большим межклеточным пространством - двориком устьица (8). Обмен газов, содержащихся во внутренней стороне листа (преимущественно кислорода) с внешними газами (преимущественно CO_2) для поддержания метаболических процессов происходит, главным образом, через замыкающие клетки комплексов устьиц, под наружной кутикулярной бороздчатостью, где расположены небольшая полость (8б) и большой дворик устьица (8).

Жилки листа с верхней части слегка вдавлены, а с нижней части листа - выступают, они формируют систему разветвляющихся сосудисто-волокнистых пучков, на модели представлена главная жилка (центральная жилка) (5-7). Водопроводящая ксилема (6) всегда расположена на верхушке, снабжая все части листа водой и ионами, абсорбированными через корни. Эта вода достигает все отделов листа через отмершие клетки, большие сосуды, стенки которых лигнифицированы (одревеснели), например, сетчатые запасающие ткани и структуры меньшего размера, трахеиды, в стенках которых часто имеются спиральные утолщения, состоящие из лигнифицированного материала. Под ксилемой расположена флоэма (7), которая является частью системы прожилок, проводящей питание, снабжая все части, хранящие питательные вещества растения в растворе богатой энергией сахара, полученной при фотосинтезе в хлоропластах. Флоэма образована из больших отмерших элементов ситовидных трубок и маленьких клеток-спутников, сопровождающих каждый элемент ситовидных трубок, обе структуры образуются при неравномерном разделении одной материнской клетки.

Живые клетки-спутники отвечают за контроль транспортных процессов. Ксилема и флоэма в основном окружены одноклеточным слоем, склеренхимной обкладкой сосудисто-волокнистого пучка (5). Склеренхима образована погибшими клетками с утолщенными клеточными стенками, которые способствуют выполнению этой функции в качестве поддерживающей ткани. Тонкостенные живые проводящие клетки рассеяны в склеренхимной оболочке. Бифациальный опадающий лист *Helleborus niger* представляет собой наиболее распространенный тип листа в царстве растений.

- 1 верхний эпидермис с кутикулой
- 2 нижний эпидермис с устьищем
- 3 - 4 мезофилл = ассимиляционная ткань
- 3 столбчатая паренхима
- 4 губчатая паренхима
- 5 - 7 сосудисто-волокнистый пучок
- 5 склеренхимная обкладка сосудисто-волокнистого пучка
- 6 ксилема
- 7 флоэма
- 8 дворик устьища
- 8a межклеточное пространство
- 8b полость
- 9 замыкающая клетка
- 10 хлоропласт
- 11 устьище, пора



黑嚏根草 (*Helleborus niger*, 圣诞玫瑰) 叶片模型

黑嚏根草 (*Helleborus niger*) 叶片模型展示这种鸟足状的落叶树异面 (两面) 叶叶片的立方体形状。这种植物的绿色叶片为茎轴附属物。绿色是由存在的大量绿色的叶绿体 (含有叶绿素) (10) 产生的, 叶绿体是光合自养型植物承担光合作用的细胞器 (植物通过光合作用从阳光中取得自身所需的能量)。叶片上下表皮结构不同, 仅下表皮有气孔 (微小孔状开口), 因此属于异面叶。上表皮 (1) 是近轴面, 也就是叶 (叶片) 朝向茎轴的面。当叶片表面面向阳光时, 上表皮细胞立即互相邻接。上表皮细胞结构相同, 但不含叶绿体, 而是具有加厚的外壁, 覆盖有一层折叠非晶形角质薄层--角质层。一般来说, 除了具有更多的气孔 (11) 之外, 远轴下表皮 (2) 具有与上表皮细胞相同的结构。气孔一般是由两个豆状可运动的保卫细胞组成 (9), 覆盖有一层不平整的厚厚的角质层, 角质层深入至气孔下腔 (8)。高叶压 (细胞内的压力) 也就是说细胞质内 (细胞内部) 存在充足的水分和离子, 使得保卫细胞之间产生开口 (或间隙), 使其能与周围环境进行光合作用所必需的气体交换。这两个保卫细胞是表皮细胞中仅含叶绿体的细胞, 因为依靠叶绿体得到的光合能量需用于保卫细胞的开合。叶肉 (3-4) 位于上表皮 (1) 与下表皮 (2) 之间, 由一层栅栏薄壁组织 (3) 和一层海绵组织 (4) 构成。栅栏薄壁组织位于上方, 含有大量叶绿体层, 海绵组织则位于下方。由于细胞内含有的叶绿体在阳光作用下, 能通过光合作用将水和 CO_2 (二氧化碳) 转化为糖分和氧气, 同时吸收阳光, 因此叶肉也被称为同化组织。向光的栅栏层的靠近细胞壁的叶绿体数量高于海绵层。但是, 海绵层的各个细胞之间有很大的间隙, 这些间隙内充满气体和水蒸气, 因此被称为细胞间隙 (8a), 所有的细胞间隙相互联系成最大的细胞间隙--

气孔下腔 (8)。用于维持新陈代谢过程的叶片内部 (主要是氧气) 与周围环境 (主要是二氧化碳) 的气体交换, 主要通过气孔的保卫细胞发生, 保卫细胞外部角质层条纹下部为更小的腔 (8b) 和大型的气孔下腔 (8)。叶脉在叶片上部为略微锯齿状, 在叶片下部则为略微凸出状, 与模型上所示的主叶脉 (中脉) 形成维管束分支网 (5-7)。输送水分的木质部 (6) 通常位于上部, 为叶片的所有部位提供由根部吸收的水分和离子。水通过大型导管达到叶片的所有部位。导管是细胞壁木质化 (变为木质) 的死细胞, 如网状沉积物和更小的管胞的细胞壁通常为螺旋状木质化增厚。木质部下方为韧皮部 (7), 是维管束输导营养成分的部位, 为植物所有的营养储存部位提供由叶绿体光合作用产生的高能量的糖分溶液。韧皮部由大型的死亡的筛管和小型的伴细胞组成, 每个筛管周围均有伴细胞。筛管细胞和伴细胞都起源于一个母细胞的不均等分裂。伴细胞是活细胞, 起着控制输导过程的作用。一般来说, 木质部和韧皮部环绕有单细胞层—厚壁维管束鞘 (5)。厚壁组织由细胞壁增厚的死细胞组成, 具有支持组织的作用。具有输导作用的薄壁活细胞分散在厚壁组织内。这种黑嚏根草 (*Helleborus niger*) 落叶树异面叶是植物王国典型的最常见的叶片类型。

- 1 具角质层的上表皮
- 2 具气孔的下表皮
- 3-4 叶肉=同化组织
- 3 栅栏薄壁组织
- 4 海绵组织
- 5-7 维管束
- 5 厚壁组织维管束鞘
- 6 木质部
- 7 韧皮部
- 8 气孔下腔
- 8a 细胞间隙
- 8b 腔
- 9 保卫细胞
- 10 叶绿体
- 11 气孔



3B SCIENTIFIC® PRODUCTS

3B Scientific GmbH

Rudorffweg 8 • 21031 Hamburg • Germany

Tel.: + 49-40-73966-0 • Fax: + 49-40-73966-100

www.3bscientific.com • 3b@3bscientific.com

© Copyright 2008 for instruction manual and design of product:
3B Scientific GmbH, Germany