الباب الثانى عشر

جهاز الحساسية Sensory System

تمتاز كل الكائنات الحية نباتا كانت أم حيواناً بخاصية قابليتها للتهيج أو التنبه بسبب المؤثرات الداخلية أو الخارجية . وترجع الحساسية فى النبات بالنسبة للتنبيه الخارجى الى المادة الحية نفسها ، مما يدل على أنها ذات تركيب خاص يتمشى مع هذه الحساسية . وقد تكون معظم خلايا النبات أو الأنسجة الحية للعضو ذاته (إن لم يكن النبات بأكمله) ذات حساسية خاصة ، غير أن المظهر التشريحى لمثل هذه الخلايا لا يدل على الوظيفة الخاصة بادراكها أو احساسها والتى تعتبر إضافية بالنسبة لوظائفها الأساسية . فخلايا البشرة مثلا أكثر أجزاء النبات تعرضاً للتنبيه الخارجى، إلا أن المظهر التشريحى لخلاياها يكون بالنسبة لنشاط إدراكها مكملا لوظيفتها الاساسية وهى الوقاية . وتكون البشرة فى المحاليق ذات حساسية دائمة للانكماش ، كما أنها تكون فى الاوراق مسؤولة عن الاحساس بالتنبيه الضوئى ، ولذلك يطلق على هذه الطبقة اصطلاح Sensory Epithelium ، وتعتبر بشرة أسدية زهرة نبات البربيرس أحسن مثال لذلك .

وقد تختص بوظيفة الحساسية خلايا فردية معينة أو قد تكون فى هيئة مجاميع أو أنسجة تقوم بهذه الوظيفة الى جوار وظيفتها الاساسية ، وتسمى هذه فى الحيوان بأعضاء الحساسية Sense Organs . وتسمى الاعضاء المتناظرة معها فى النبات بنفس التسمية نظراً للتشابه القريب بينهما ، إلا أنها لا تختص بغير التنبيه بالملامسة ، وبالقوة الجاذبة ، والضوء . لو أن النبات ذو قابلية لحدوث التنبيه الكيماوى ، إلا أنه لم يربه بعد أعضاء الحساسية التى يمكن مقارنتها بحاستى المذاق والشم فى الحيوان .

وتعتبر المادة الحية الموجودة فى خلايا أعضاء الحساسية مسئوولة فعلياً عن عملية الادراك ، ولو أن هذه العملية لا تكون موزعة على كل بروتوبلازم الخلية الحاسة بل تتركز أساسياً فى منطقة الاكتوبلاست ، هذا علاوة على بعض المظاهر التشريحية التى تسهل حدوث هذه العملية .

وغالباً ما تكون أعضاء الحساسية مرافقة للأنسجة أو الاعضاء المحركة ، ومثال ذلك وجود منطقة الحساسية فى أسدية أزهار نبات البربيرس مغلفة للنسيج المحرك فى الخيوط، كما توجد بعض الشعيرات اللامسة فى نبات *Mimsoa pudica* فوق العضو المحرك مباشرة، وبالمثل الخلايا الحاسة لأعضاء النبات الهوائية فى مناطق العقد التى توجد بها الاعضاء المحركة التى تسبب الانحناء . وقد توجد أعضاء الحساسية فى حالات أخرى بعيدة عن الانسجة المحركة كما هو الحال فى الجذور العادية حيث يوجد جهاز الحساسية بها فى نهاية قممها مع حدوث الانحناء فى المنطقة النامية . ويشمل جهاز الحساسية عموماً الاعضاء الآتى ذكرها :

أولا — أعضاء الحساسية اللامسة

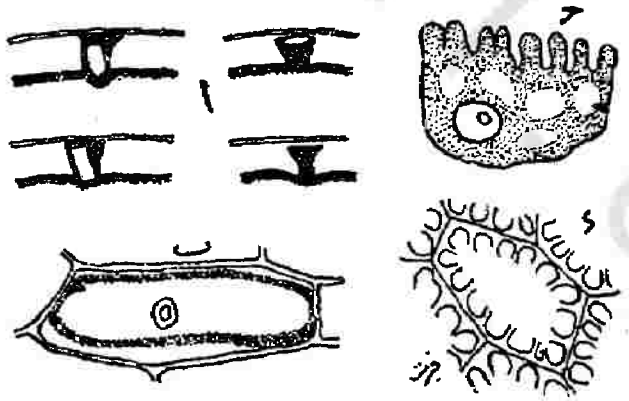
قد تتعرض غالبية النباتات الى التصادم أو الاحتكاك أو الملاصقة أو غير ذلك من عوامل التنبيه الميكانيكى ، فتقوم بحركات شتى ذات أهمية بالنسبة للبيئة الموجودة بها . ومثال ذلك نبات *Mimosa pudica* السابق ذكره ، وبعض أعضاء النباتات القانصة للحشرات مثل *Dionaea muscipula* و *Aldrovandia vesiculosa* و *Drosera* ، وكذا المحاليق الساقية والورقية أو الوريقية لمختلف نباتات مغطاة البذور ، ثم الأسدية والاقلام والمياسم والاغلفة الزهرية القابلة للتنبه فى شكل حركات ذات علاقة بعملية التلقيح . ويحدث هذا التنبيه الميكانيكى فى النبات بواسطة أعضاء حساسية خاصة تتناظر مع أعضاء الحس اللامسة فى الحيوان ، كما تتشابه معها فى تركيبها . وتسمى مثل هذه الاعضاء بالنسبة لتركيبها فى مختلف الاحوال بالنقر والحلمات والشعيرات أو الأشواك اللامسة .

١ — النقر اللامسة Tactile Pits

وهى مواضع غير مغلظة قريبة الشبه بالنقر العادية ، تظهر فى الجدر الخارجية لخلايا الحساسية السطحية ، ويشغلها امتدادات من البروتوبلازم الحساس . وأول من رآها هو Pfeffer فى محاليق نباتات العائلة القرعية (شكل ١٠٢ ، ا — ب) ، وغالباً ماتوجد على الأسطح السفلية لهذه المحاليق التى تكون محدبة بعد انحنائها ، كما قد تظهر على أسطحها العلوية فى *Bryonia dioica* و *B. alba* ، إلا أنها لا تظهر فى المنطقة القاعدية فى كل من الحالتين .

ويزود الجدار الخارجى لكل خلية من خلايا الحس عادة بنقرة واحدة فردية وسطية ذات فجوة تظهر فى مقطعها العرضى مستديرة أو إهليلجية الشكل تمتد نحو الخارج فى شكل قمعى ، وتنتهى بغشاء رقيق منبسط يكون بمثابة غطاء لهذه الفجوة ، وقد يبرز قليلا نحو الخارج . ولا تقل طبقة السكيوتيكل فوق مواضع هذه النقر بل تتساوى فى كل مواضع الجدار ، ويليها من أسفل فى مواضع النقر طبقة سليلوزية رقيقة ، قد تتكون قليلا كما فى *Cucurbita* .

وتشمل المحتويات الحية لهذه الخلايا كتلة بروتوبلازمية كثيفة تلاصق الجدر من الداخل يرافقها نواة كبيرة . وتمتلئ فجوة كل نقرة من هذه النقر اللامسة بالسيتوبلازم ، كما قد تحتوى على بللورة أو أكثر من بللورات أوكسالات الكلسيوم الدقيقة تظهر منغمسة فى بروتوبلازم النقرة (شكل ١٠٢ — ا) . وقد يكون لمثل هذه البللورات دخل



(شكل ١٠٢)

(ا) عدة أشكال للنقر اللامسة فى الجدر الخارجية لخلايا محاليق العائلة القرعية .
(ب) احدى خلايا البشرة فى منظر سطحى يبين موضع النقرة اللامسة . (هـ) الحلمات البروتوبلازمية فى احدى الخلايا الحافية للرأس الغدية لنبات الدروسيرا . (و) احدى الخلايا الحافية للرأس الغدية فى نبات الدروسيرا فى منظر سطحى ، (عن هابرلانت) .

أو اشتراك فى عملية التنبيه ، نظراً الى أن أى ضغط يحدث للامتداد البروتوبلازمى الموجود فى هذه النقر ينتج عنه تحريك الزوايا الحادة للبللورة ، مما يسبب اشتداد أو تزايد تنبه البروتوبلازم خصوصاً وأن الاكتوبلاست الحساس يكون ملاصقاً ملاصقة تامة للبللورة ذاتها . كما يجب أن يلاحظ أن الامتداد البروتوبلازمى الموجود فى فجوات هذه النقر يكون أكثر تعرضاً للضغط التماسى عن باقى الاكتوبلاست المبطن للجدار الخارجى .

وقد يرى فى الجدار الخارجى لكل من خلايا الحس أكثر من نقرة لامسة واحدة، وخصوصاً ما يوجد منها على السطح السفلى لمخلاق *Bryonia alba* . ويختلف النموذجى منها ما بين واحدة الى ثلاث يرافقها نقرتان أو ثلاث من النقر المساعدة فى شكل فتحات ضيقة ، كما توجد جميعها فى صف غير منتظم يتوسطه النموذجى منها .

وتقوم الزوائد اللامسة فى نبات الدروسيرا بكل من التنبيه الكيماوى والميكانيكى ، وتشبه هذه فى حساسيتها الميكانيكية حساسية المخاليق . ولكى يحدث التنبه يجب أن تلامس الجدر الخارجية لخلايا الرؤوس الغدية الجسم الصلب ، ثم تظهر عدة حركات سريعة متتالية ينتج عنها انحناء حامل الأعضاء اللامسة لقصد اقتناص الحشرات وخنقها ثم هضمها . ويمثل العناصر الحساسة فى نبات الدروسيرا خلايا الرأس الغدية السطحية التى تشترك فى القيام بعدة وظائف مميزة ، فهى التى تفرز كمية كبيرة من المادة الغروية وكميات محدودة من الأنزيمات الهاضمة علاوة على تنبيهها الميكانيكى ، هذا خلاف امتصاصها المنتجات الذائبة من عملية الهضم .

ويحدث التنبيه الميكانيكى (وربما الكيماوى أيضاً) ، عن طريق حملات بروتوبلازمية دقيقة توجد على حواف الجدر الخارجية ، وتعتبر من ضمن النقر الحافية (شكل ١٠٢ — ﻫ) . واذا فحصت الجدر القطرية للخلايا الحاسة يلاحظ أنها مزودة بامتدادات صغيرة تبرز كما يقل سمكها تدريجياً نحو الداخل (شكل ١٠٢ — و) ، مغلفة جيوبا بروتوبلازمية سطحية دقيقة .

ومن ذلك يمكن مقارنة هذه الجيوب الحافية بالنقر اللامسة نظراً للشبه الكبير بينهما .

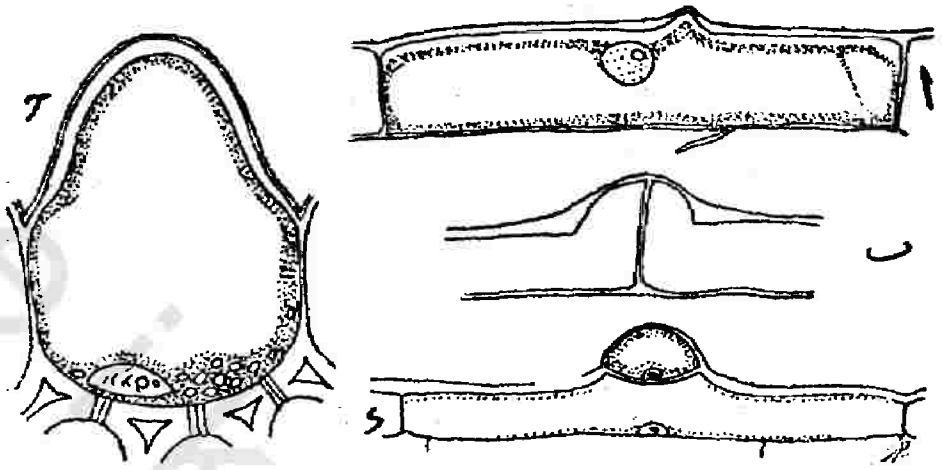
٢ — الحلمات اللامسة Tactile Papillae

تطلق هذه التسمية على كل أعضاء الحساسية التى تبرز عن المستوى العادى للبشرة فى شكل حلمات تتوسط الجدار الخارجى للخلية الحاسة الذى يكون رقيقاً فى هذه المواضع . وقد تنفصل الحلمات عن عناصر البشرة الموجودة أسفلها بجدار خلوى مكونة خلايا مستقلة بذاتها ، كما فى محاليق نبات *Eccremocarpus scaber* . وعادة ترافق هذه الحلمات اللامسة الأعضاء الزهرية وكذا المحاليق .

وترى هذه الحلمات على خيوط أسدية زهرة نبات *Portulaca grandiflora* ، وهى دقيقة ذات جدر رقيقة وتبرز متوسطة خلايا بشرتها ما عدا مناطقها القاعدية ، وهذه بملامستها تسبب انحناء الخيوط نحو الجهة التى حدث لها هذا التنبيه (شكل ١٠٣ — ا). وتزداد جدر خلايا البشرة فى السمك حول قواعد هذه الحلمات ، كما يشغل فجواتها امتداد ضئيل من البروتوبلاست ، وهى لا تختلف كثيراً عن النقر اللامسة إلا فى رقة جدرها مما يجعلها أسرع حساسية وتنبيهاً . وترى مثل هذه الحلمات أيضاً على خيوط أسدية زهرة نبات *Opuntia vulgaris* وكذا فى أزهار الأوركدز التابعة لجنس *Catasetum* . وقد تظهر هذه الحلمات مكونة من أزواج من الخلايا الحاسة ، حيث تمتد نهايتا كل خليتين لتكونا معاً إحداها كما فى *Centaurea Cyanus* (شكل ١٠٣ — ب). وقد يمتد الجدار العلوى جميعه للخلية الحاسة ليكون حلمات يتساوى طولها مع عرضها ، وهذه تكون مرتبة فى صفوف طولية على السطح الخارجى لخيوط الأسدية فى وضع متبادل وذات قمم مستديرة ، كما فى خيوط أسدية زهرة نبات *Berberis vulgaris* (شكل ١٠٣ — حـ) . وفى زهرة نبات *Abutilon striatum* تزود خلايا خيوط الأسدية بحلمات مستطيلة الشكل تمتاز جدرها الخارجية بالزيادة فى سمك طبقة الكيوتيكل ، غير انها تقل وتصبح رقيقة عند حواف الخلية .

أما المحاليق فقليل منها ما يكون مزوداً بالحلمات اللامسة . وقد تشاهد مثل هذه الحلمات على الأسطح السفلية والأكثر حساسية لأعناق أوراق نباتات *Adlumia cirrhosa* و *Corydalis claviculata* و *Clematis Viticella* ، حيث ترى مرافقة لخلايا البشرة

العادية الضيقة المستطيلة المنبسطة فى صورة عدة خلايا قصيرة عريضة ذات جدر خارجية رقيقة تمتد قليلا نحو الخارج . وتزود المحاليق الورقية لنبات *Ecremocarpus scaber*



(شكل ١٠٣)

الأشكال المختلفة للحلمات اللامسة . (أ) فى *Portulaca grandiflora* .
(ب) فى *Centaurea Cyanus* . (جـ) فى *Berberis vulgaris* .
(د) فى *Ecremocarpus scaber* ، (عن هابرلاندت)

بعدد كبير من الحلمات اللامسة ، تظهر فى هيئة خلايا مستديرة الشكل نصف كروية أو عدسية ، تلتصق بالمناطق الوسطية المنبسطة للجدر الخارجية لخلايا البشرة العادية (شكل ١٠٣ — د) .

٣ — الشعيرات والأشواك اللامسة Tactile Hairs & Bristles

تعتبر الزوائد الموجودة على البشرة سواء أكانت وحيدة الخلية أم عديدة الخلايا بالنسبة لوضعها السطحى ذات قابلية للتنبيه . وتقوم أبسط أشكالها فى توصيل ونقل التنبيه الخاص بالتصادم أو التلامس الى الأنسجة المحركة الحساسة ، ولذا كانت وظيفة مثل هذه الزوائد التى تسمى Stimulators ميكانيكية بحتة ، ومثلها ما يرى على الأعضاء المحركة للأوراق كما فى *Mimosa Spegazzini* . وتتكون مثل هذه الأشواك من عناصر ميكانيكية ذات جدر سميكة ملجننة ، تنتهى عند أطرافها بخلية فردية ، وعند قواعدها بمجموعة مخروطية الشكل ذات جدر سميكة تتغمس وتتعمق فى النسيج المحرك الحساس للعضو المحرك ، ومثالها ما يشاهد أيضاً فى *Mimosa pudica* .

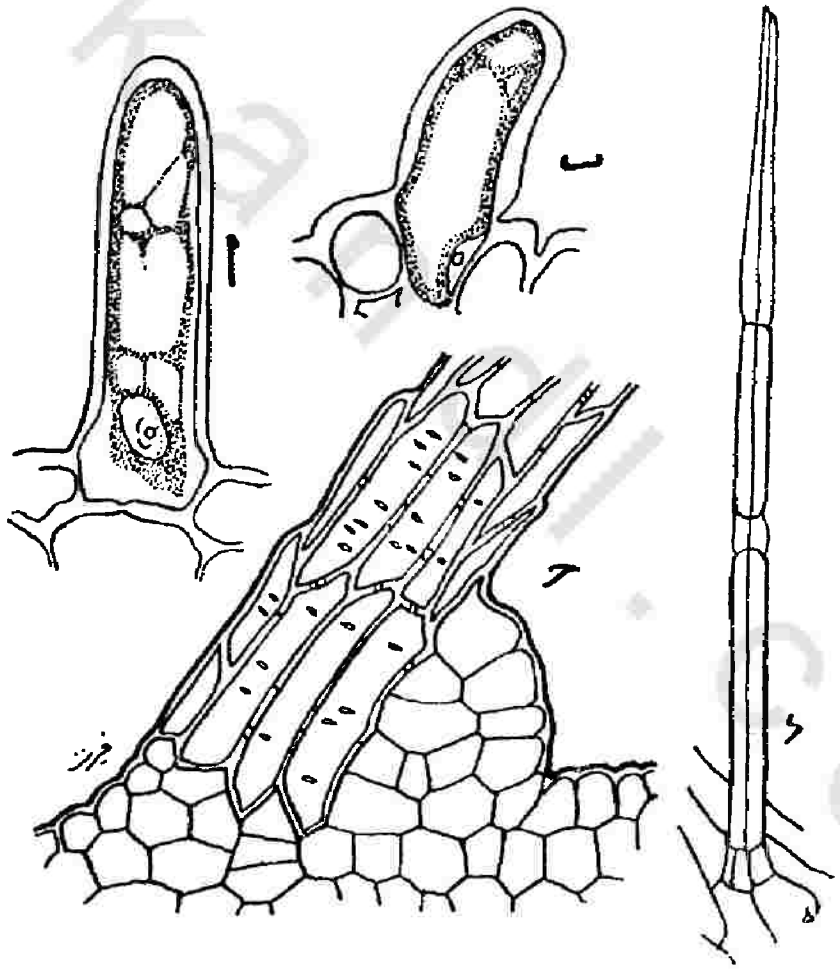
وترى الزوائد اللامسة المنبهة الوحيدة الخلية فى أحد أجناس الأوركدز المسمى *Marmodes* فى عدد كبير على المنطقة العليا من مجموعة خيوط الأسدية ، وهذه تنحنى بملامسة الحشرات لها مسببة تنبيهاً ينتج عنه انفصال القرص المكون للجهاز الرحيقى . ويبلغ طول كل زائدة من هذه الزوائد من أربعة الى ستة أمثال عرضها مع استدارة قمتها ورقة جدرها وخصوصاً فى مناطقها القاعدية (شكل ١٠٤ — ا) . وفى جنس *Centaurea* توجد هذه الشعيرات على كل جوانب خيوط الأسدية ، إلا أنها تكون أكثر طولا وعدداً فى المنطقة الوسطية ، وتختفى تماماً فى المنطقة القاعدية . وفى *Centaurea Cyanus* ترى مكونة طوقا أو حلقة حول المناطق الوسطية للخيوط وتتحد فى شكل حراشيف عند الجهة الخارجية ، وهى ذات جدر رقيقة فى العادة مما يجعلها قابلة للانثناء ، وقد تكون أكثر سمكا كما فى *C. montana* (شكل ١٠٤ — ب) . وتزود مثل هذه الشعيرات بمنطقة قاعدية لافة غير سميكة ترى فى المقطع العرضى فقط بالنسبة لعدم تمام إحاطتها بالشعيرة كما تساعدها على التحرك جانبياً . وتعتبر هذه الشعيرات أعضاء الحساسية الفعلية بالنسبة لحدوث الانقباض عند ملامستها هى دون خيط السداة ذاته .

وترى الشعيرات اللامسة أيضاً فى الورقة المركبة لنبات *Biophytum* على كل من المحور الوسطى الأساسى والعروق الوسطية للوريقات . وتنتظم على المحور الأول فى مجاميع عرضية يتكون كل صف منها من ٤ — ٧ شعيرات تمتد ما بين كل زوج من الأعضاء المحركة الثانوية ، كما توجد على السطح العلوى للعرق الوسطى لكل وريقة ويبلغ عددها من ٦ — ١٢ ، خلاف شعيرات أخرى يبلغ عددها من ٥ — ١٨ تتوزع على العروق الجانبية ، أما السطح السفلى لهذه الأوراق فخال منها .

أما الأشواك اللامسة فترى متجهة الى أعلى على النصف السفلى من العضو المتحرك الرئيسى لورقة نبات *Mimosa pudica* ، حيث يبلغ عددها ما بين ١٠ — ٢٥ ، ويبلغ طول كل منها مابين ١ — ٢,٥ مم وتنتهى بقمة مخروطية ، كما يتكون كل منها من حزمة من خلايا ملجننة سميكة الجدر . وبفحص المقطع الطولى لهذه الأشواك ، ترى أنسجتها

الميكانيكية ممتدة داخل النسيج البرنشيمى للعضو المتحرك (شكل ١٠٤ — حـ) . وتقوم هذه الأشواك بتنبيه أجهزة الحساسية ، فاذا ما لمست احداها ، تتحرك الورقة حركتها المعروفة .

وتتزود النباتات المفترسة مثل *Aldrovandia vesiculosa* و *Dionaea* بأشواك لامسة مماثلة ، ترى موزعة فى النبات الأول (وهو نبات مائى مغمور) على أنصال أوراقه ذات المصراعين الشبه مستديرين ، واللذين ينطبقان سريعاً اذا ما لمس احداها . ويبلغ عدد هذه الأشواك فى أوراق هذا النبات حوالى ١٨ — ٢٠ تتوزع على كل من جانبى



(شكل ١٠٤)

(أ) شعيرة لامسة فى *Marmodes* . (ب) شعيرة لامسة فى *Centaurea montana* .
(حـ) جزء من شوكة لامسة فى *Mimosa pudica* . (و) شوكة لامسة فى *Aldrovandia vesiculosa* ، (عن هابرلاندت)

العرق الوسطى خلاف عدد آخر منها ينتشر على السطح المقعر للنصل وخصوصاً قرب حوافه . وتتكون كل شوكة من ٥ — ٧ طبقات من الخلايا يزداد عددها عند القاعدة ويقل فى اتجاه القمة (شكل ١٠٤ — ء) ، كما تتبادل الطبقات ذات الخلايا القصيرة مع الأخرى ذات الخلايا الطويلة . وتعتبر المناطق الشبه اللافة والمكونة من الخلايا القصيرة مناطق الحساسية فى الشوكة بأجمعها ، وخلاياها رقيقة الجدر بعكس جدر الخلايا الطويلة المكونة للمناطق الأخرى . ولا تنحنى الشوكة بالنسبة للميزات الخاصة بهذه المناطق أو تتحرك بسهولة نحو أحد جانبيها اذا ما لمست ، وتقوم هذه الأشواك عموماً باستقبال التنبيه الخارجى .

أما فى نبات *Dionaea* ، فيوجد على السطح العلوى لكل من مصراعى النصل ثلاث أشواك فى وضع يشبه المثلث . وقد ينطبق مصراعى النصل عند ملامسة بشرتهما العليا دون لمس هذه الأشواك ، إلا أنه ومما لا شك فيه أن هذه الأشواك أكثر حساسية من سطح النصل نفسه بالنسبة لسرعة انطباق مصراعيه لمجرد لمسهما . وتتكون كل من هذه الأشواك من منقطة القمة المخروطية المدببة يليها منطقة مكونة من خلايا أنبوبية الشكل تحتوى على البروتوبلاست علاوة على سوبرة جدرها . أما منطقة الحساسية فتلى الخلايا الأنبوبية فى وضعها ويميز مكانها من الخارج انخفاض يحيط بموضعها إحاطة تامة ، وتتكون من نسيج من خلايا حاسة ذات بروتوبلاست وافر ونواة مركزية كبيرة ، ويلى هذه المنطقة نسيج برنشيمى يكون قاعدة الشوكة .

وتزود أزهار *Pterostylis* ، وهو أحد أجناس النباتات السحلبية التى تنمو فى استراليا وزيلندا الجديدة ، ببتلات شفوية حساسة ذات نتوء يشبه الفرشاة يمثل العضو اللامس فى الزهرة . وتتحرك هذه البتلات الشفوية عند ملامسة الحشرات لها وزحفها عليها فى حركة قافلة تمنع هذه الحشرات من الخروج . وعند ما تحاول شق طريقها الى الخارج تنتثر حبوب اللقاح العالقة بها على سطح الميسم .

ثانيا — أعضاء الحساسية ذات القوة الجاذبة

تمتاز غالبية النباتات بمقدرتها على توجيه أعضائها المختلفة بالنسبة لما تختص به من القابلية للتنبه والاتجاه نحو التربة بواسطة جاذبية الثقل . وتعتبر الساق والجذور الابتدائية ذات اتجاه إيجابى اذا ماتمت رأسيا الى أسفل ، وسلبى اذا ما نمت الى أعلى ، ولذلك كانت معظم الجذور الابتدائية ذات اتجاه إيجابى Positively Geotropic ومعظم الساق ذات اتجاه سلبى Negatively Geotropic . أما الأفرع وكذا الجذور الجانبية فتسمى Klinogeotropic اذا ما كان وضعها أفقيا فى زاوية تبلغ ٩٠° مع الوضع الرأسى .

وتؤثر جاذبية الثقل على الأعضاء ذات الحساسية ، وأكثر ما يتأثر بهذا العامل الخارجى هو البروتوبلازم الحساس بالنسبة لكونه كتلة لها ثقلها الخاص ، هذا الى جانب الثقل الناتج عن وجود الأجسام الصلبة الأكثر جاذبية للثقل عن العصير الخلوى أو البروتوبلازم النصف السائل . وترتكز هذه الأجسام الثقلية عادة على الجدر السفلية للخلايا مسببة ضغطاً ملحوظاً على منطقة الأكتوبلاست ، ومن هذه الأجسام حبيبات النشا وبللورات أوكسالات الكلسيوم وجزيئات مادة السيليكا . ويطلق على هذه الأجسام لفظ Statoliths حيث انها تقوم بالنسبة لثقلها بتنبيه منطقة الأكتوبلاست الحساسة .

ويتناظر التنبيه الناتج من جاذبية الثقل فى النبات مع مثيله فى الحيوان . ففى الحيوان يقابل الأعضاء التى تسمى Otocysts والتى تمثل حفظ التوازن أو التنبه بواسطة جاذبية الثقل ، أعضاء النبات التى تسمى Statoliths والتى تقوم بنفس الوظيفة . وبفحص الحيوان البحرى المسمى « بالجمبرى » ، ترى مناطق معينة من جسمه محتوية على حبيبات من الرمل الدقيق تمثل الجهاز الخاص بحفظ توازنه . فاذا ربى هذا الحيوان فى أحواض مياهها خالية من الرمل والحصى ، مع الاستعاضة عنهما ببرادة الحديد ، تحل هذه الأخيرة

من جسمه محل الرمل حافظة توازنه ، حتى انه اذا ماوجه قضيب ممغطس الى هذه الحيوانات فى أوضاع مختلفة اختل توازنها .

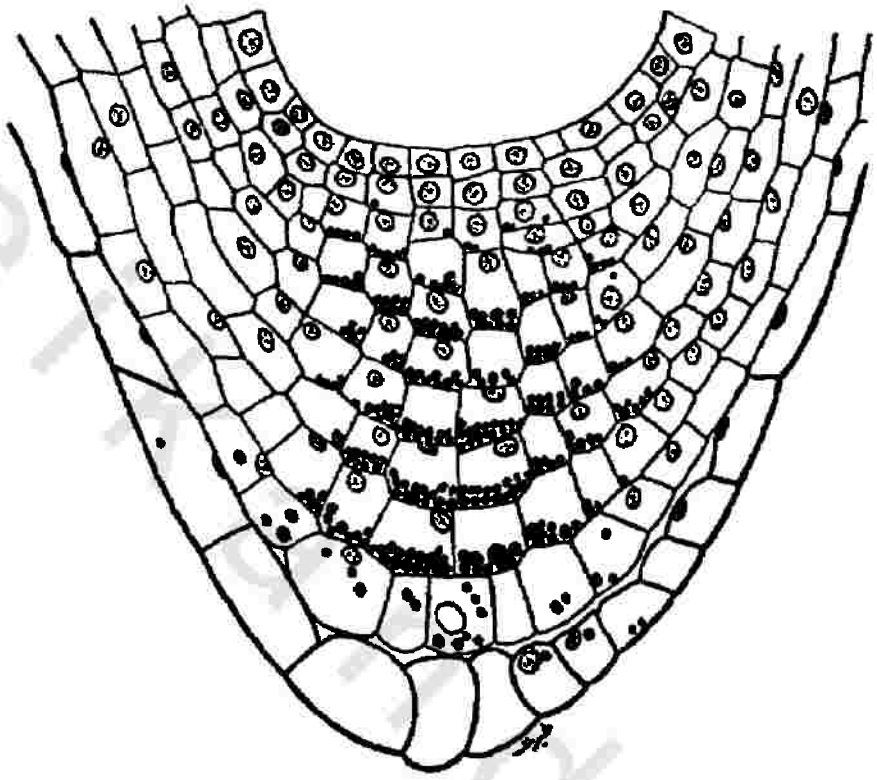
ويتكون جهاز جاذبية الثقل الحساس فى النباتات الراقية من عدد كبير من الخلايا الحساسة تسمى Statocysts ، يتكون كل منها من منطقتين مميزتين ، تسمى الأولى منهما بالجهاز الستاتوليثى Statolith Apparatus وهذا يتكون من عدد من حبيبات النشا التى تتحرك قطريا الى أسفل ، أما الثانية فهى منطقة الأكتوبلاست ذو الحساسية بالنسبة للضغط الناتج من تراسب هذه الأجسام عليه . وتتحرك حبيبات النشا عادة نحو جدر الخلايا السفلية سواء أكان العضو ذا اتجاه إيجابى أم سلبى مسببة الزيادة التدريجية فى عملية التنبيه والتى تبلغ أقصاها بعد تمام تراسبها على المنطقة السفلية للاكتوبلاست . ويختلف الوقت الذى تتم فيه عملية التراسب ما بين ٥ — ٢٠ دقيقة فى أعضاء النبات المختلفة . وتمتاز حبيبات النشا بسرعة تحركها إلا أنه قد يحدث التنبيه الناتج من جاذبية الثقل بدون تحركها ، ولو أنه يكون على أتمه فى الحالة الأولى . وقد توجد حبيبات النشا مرافقة للبلاستيدات الخضراء والعديمة اللون أو متجمعة حول النواة ، إلا أنها تكون غير ذات تأثير فى عملية التنبيه بالنسبة للزوجة السيتوبلازم وعلاقة اتصالها بالنواة .

١ — الجهاز الستاتوليثى فى الجذور

يحدث الاتجاه الايجابى نحو التربة فى الجذور العادية فى المنطقة التالية للقمة النامية ، أما الادراك أو الاحساس ذاته فيتركز وجوده فى القمة ذاتها ، وقد يكون فى المنطقة النامية أيضاً إلا أنه يكون أقل قوة مما هو فى الحالة الأولى ، كما فى *Vicia Faba* و *Lupinus albus* . ولهذه الخاصية أهمية كبيرة فى تمكين الجذور من الاسراع فى اتخاذ طريقها بين جزيئات التربة الصلبة التى قد تعترضها .

وقد وجد Nêmec أن العضو الحساس الأساسى للاتجاه نحو التربة يتمثل فى المنطقة الوسطية للقلنسوة والمسماة Columella بالنسبة لاحتوائها عادة على عدد كبير من حبيبات النشا التى ترسب فوق جدر الخلايا السفلية (شكل ١٠٥) . وهذه المنطقة

ذات شكل مخروطى وتتكون من عدة طبقات متوازية أو منحنية قليلا من الخلايا المنتظمة الوضع المستطيلة الشكل نوعا ما والتى تحتوى (فيما عدا مايزال منها فى حالة



(شكل ١٠٥)

ق. ط. فى قلنسوة أحد الجذور العرضية لنبات *Roripa amphibia* يبين ارتكاز كل حبيبات النشا (بعد صبغها بالأيودين) على جدر الخلايا السفلية ، (عن Nêmec)

مرستيمية) على عدد كبير من حبيبات النشا السابق ذكرها . وقد تكون هذه المنطقة مميزة ، كما قد يصعب أحيانا تميزها عن باقى خلايا القلنسوة بالنسبة لاحتوائها جميعها على حبيبات النشا . وينعدم وجود هذه الحبيبات فى كل من الحالتين فى الخلايا الطرفية الأكبر سناً ، أو قد تحتوى على القليل منها فى وضع غير منتظم ، مما يجعلها بعيدة عن الاشتراك فى جاذبية الثقل .

ويختلف عدد الخلايا فى الجهاز الستانوليثى بالنسبة لاختلاف أنواع الجذور وبالنسبة لكونها ابتدائية أو ثانوية ، فيبلغ عددها فى الجذر الأساسى لنبات *Roripa amphibia* ٢١٦ بينما يكون عددها فى الجذور الجانبية لنفس النبات ٩٦

وتمتاز حبيبات النشا فى هذا الجهاز باستدارتها ويبلغ قطرها ما بين ٢ — ٧ ميكرون وبأنها من النوع المركب من عدد قليل من الحبيبات الصغيرة ، وهذه تنشأ كالمعتاد داخل البلاستيدات العديمة اللون ، كما يكثر عددها ليكون منها طبقة واحدة الى ثلاث طبقات على طول الجدار السفلى لكل خلية . والسيتوبلازم مأنى فى العادة مما يسهل حركة حبيبات النشا ، أما النواة فكبيرة الحجم تأخذ وضعاً علويا ، وقليلا ما تكون ذات وضع سفلى .

أما الجهاز الستاتوليثى للجذور الجانبية فيكون أكثر اختزالا ، كما ينعدم وجود حبيبات النشا فى مناطق القلنسوة ، أو قد تكون أقل عدداً وأصغر حجما وأقل حركة . ويرى هذا الوضع فى الجذور الهوائية لبعض النباتات المتسلقة مثل *Hoya carnosa* و *Hedera helix* ، وكذا الجذور المتسلقة للنباتات الآرويدية .

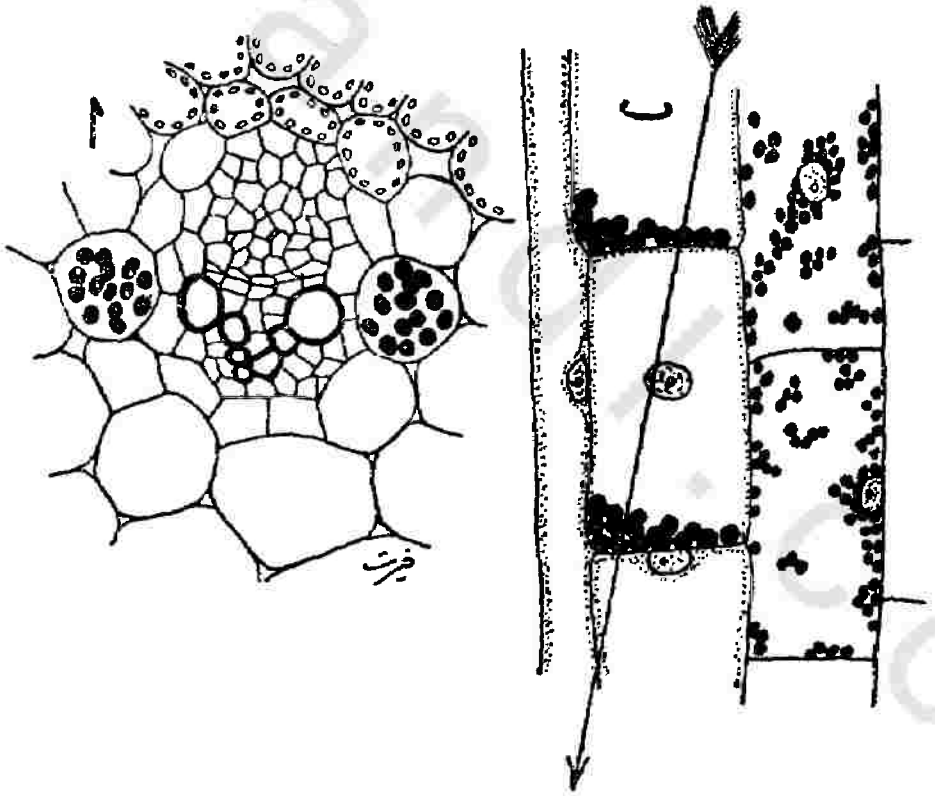
ويقول هابرلاندت ان مناطق القلنسوة فى الجذور الأرضية الدائمة الاتجاه الايجابى قد لاتحتوى على حبيبات النشا إطلاقا ، أو تبقى الحبيبات موزعة فى خلاياها ، بدون نظام معين . ويرى هذا الوضع فى جذور النباتات الطفيلية والرمية مثل *Cascuta* و *Orobanche* و *Pyrola* ، وكذا فى جذور النباتات المائية مثل *Eichhornia* و *Pistia* و *Pontedera* . وأحيانا ما تكون الجذور غير ذات اتجاه إيجابى ، ثم يصير اتجاهها إيجابيا فيما بعد ، بالنسبة لعدم تحرك حبيبات النشا أولا ثم تحركها أخيراً . أما الجذور التنفسية ذات الاتجاه السلبى مثل جذور *Jussieua* و *Phoenix canariensis* فمزودة بجهاز استاتوليثى نموذجى .

٢ — الجهاز الستاتوليثى فى الساق والأوراق

يمثل هذا الجهاز فى الأعضاء ذات الاتجاه السالب ، كالساق وحوامل النورات والأعضاء المحركة ، طبقة الغلاف النشوى (الأندودرم) . وقد كانت تعتبر هذه الطبقة فيما مضى نسيجاً ناقلا للمواد الكاربوايدراتية أو مواضعا للتخزين ، وهى عبارة عن آخر طبقات القشرة من الداخل ، كما تحيط بالاسطوانة الوعائية من الخارج ، وفى كثير من النباتات تحاط كل حزمة وعائية بغلاف نشوى مستقل بذاته . وقد تكون بعض خلاياها أو مجاميع منها خالية من الحبيبات النشوية ، كما قد يحل محلها مجاميع من خلايا تحتوى

على حبيبات النشا وترافق مجاميع الخشب أو اللحاء ، كما فى محور نورة *Arum ternatum* وعقد سوق النباتات النجيلية . وفى *Ranunculus acris* ترى مجاميع من هذه الخلايا قد يبلغ عددها خليتان أو ثلاث، وقد تكون خلية واحدة ، على جانبي كل حزمة وعائية (شكل ١٠٦ — ا) . وتزود كل الأعضاء الخضرية بغلاف نشوى كامل ، أو بمجاميع من خلايا تحتوى على حبيبات متحركة من النشا فى حالة غياب الغلاف النشوى .

وتتكون الأغلفة النشوية من خلايا حساسة برنشيمية قد يبلغ طول كل منها ضعف عرضها ، حتى يسهل الانتقال السريع للعدد الكبير من حبيبات النشا نحو الجدر الطولية عند تحرك العضو عن موضعه الأصلى . وقد تكون حبيبات النشا بسيطة كروية أو مركبة من حبتين أو أكثر ، إلا أنها عادة أكبر حجما من الحبيبات العادية التى توجد فى كل



(شكل ١٠٦)

(ا) ق . ع . فى منطقة احدى الحزم الوعائية لساق نبات *Ranunculus acris* .

(ب) جزء من قطاع طولى فى احدى عقد ساق نبات *Tradescantia viriginica* بعد تحريكه عن الوضع الرأسى بعض الوقت ، (عن هابرلاندت) .

من الأشعة النخاعية والقشرة ، كما تكون مغلفة بالكلوروبلاستيدات الباهتة اللون أو الأميلوبلاستيدات . ويختلف عدد هذه الحبيبات فى خلايا الجهاز الستاتوليثى إلا أنها تكون فى طبقة واحدة على الجدر الأفقية السفلية فى السوق القائمة ، كما قد تكون فى أحوال أخرى فى طبقتين أو ثلاث . وهى دائماً سريعة الحركة فى السوق حتى انه اذا تغير وضعها بمقدار ١٠° أو ١١° أسرعت الحبيبات فى تغيير موضعها بالمثل (شكل ١٠٦ — ب) .

وتماثل خلايا الجهاز الستاتوليثى فى السوق مثيلاتها فى الجذور ، فالسيتوبلازم يكون مائياً فى طبقة رقيقة منتظمة ملاصقة لجدر الخلايا من الداخل ، كما قد يتقاطع مع الفجوة العصارية فى هيئة خيوط سيتوبلازمية . وتماثل الجدر مثيلاتها فى الخلايا البرنشيمية ، أما النواة فليست ذات وضع خاص إلا أنها قد تكون أحيانا ملاصقة للجدر العرضية العلوية .

ويظهر الغلاف النشوى النموذجى فى المناطق الحديثة للسوق والتى تنمو طولياً ، أما المناطق التامة التكوين فتكون فيها خلاياه فارغة بالنسبة لاستعمال النشا فى تغذية الانسجة النامية المجاورة ، كما يختل وينتفى وضع هذه الحبيبات عند بدء هذه الخلايا فى فقدان حساسيتها .

وقد يكون هذا الغلاف فى طبقة واحدة أو يكون فى عدة طبقات توجد أسفل البشرة الداخلية للغمد القاعدى ، كما فى كثير من النباتات النجيلية مثل *Melica nutans* . وقد شاهد F. Darwin احتواء المناطق القمية للأغلفة الفلقية فى بادرات النباتات النجيلية كما فى PANICEAE على مثل هذه الخلايا ، كما وجد Nêmec أن النسيج الأساسى البرنشيمى فى المناطق القمية فى جميع هذه الحالات يحتوى على عدد كبير من حبيبات النشا يتسبب عنها جاذبية الثقل . وتزود الأعضاء الزهرية بالمثل كما فى *Amaryllis robusta* و *Hemerocallis fulva* بأغلفة نشوية ترى محيطة بالأشرطة الوعائية . وقد شاهد Nêmec هذه الحبيبات النشوية فى سوق وحوامل الأكياس الجرثومية فى بعض النباتات الحزازية القائمة والمنبطحة . أما النباتات القطرية فبالنسبة لعدم تكوينها للحبيبات النشوية فقد يقوم مقام الجهاز الستاتوليثى بها ، أجسام أخرى ذات ثقل نوعى .

ثالثا — أعضاء الحساسية الإبصارية

تختص عناصر النسيج المحرك بحساسيتها لكل من الضوء والظلام، وتمتاز مناطقها الخارجية بانعدام المسافات البينية الهوائية بين خلاياها، مما يسهل نفاذ الضوء الى المناطق الداخلية للأعضاء المحركة. وتتركز هذه الحساسية عادة فى نسيج فردى وهو نسيج البشرة، بالنسبة لما تختص به خلاياه من الصفات الملائمة لهذا الوضع.

١ — استقبال الضوء بواسطة الأعضاء التى تتبع دورة الشمس

توجد المناطق التى تستقبل الضوء بتتبعها دورة الشمس فى الأعضاء المحورية للنبات، فى المواضع ذات القدرة على التقوس والانحناء، وبمعنى آخر فى المواضع التى تستطيل طوليا. وتكون خلايا البشرة فى هذه المناطق ذات حساسية وقدرة لاستقبال الضوء. وقد وجد Charles Darwin أن رؤوس أو قمم الأغلفة الفلقية فى بعض بادرات النباتات النجيلية مثل *Phalaris canariensis* و *Panicum miliaceum* ذات حساسية خاصة للتنبيه الضوئى، كما ينتقل هذا التنبيه من مواضع هذه القمم الى أطارف الفلقات، وقد يمتد أحيانا حتى السويقة الجنينية السفلى، مما يسبب اسراع تقوس المناطق القاعدية متتبعة دورة الشمس، ولهذا تعتبر أطارف هذه الفلقات أعضاء الحساسية الخاصة بهذه العملية. وتتكون هذه المناطق من خلايا برنشيمية يحيط بها من الخارج خلايا البشرة وهذه تخلو من حبيبات النشا كما تعتبر مسؤولة عن الادراك والتنبيه الضوئى، أما خلايا البشرة الموجودة على السطح الداخلى فلا تشترك فى ذلك إطلاقا. ولا تمتاز خلايا البشرة هذه بمظاهر تشريحية خاصة، إلا أنها قد تماثل فى شكلها الخلايا العادية مع احتوائها على محتويات بروتوبلازمية وافرة.

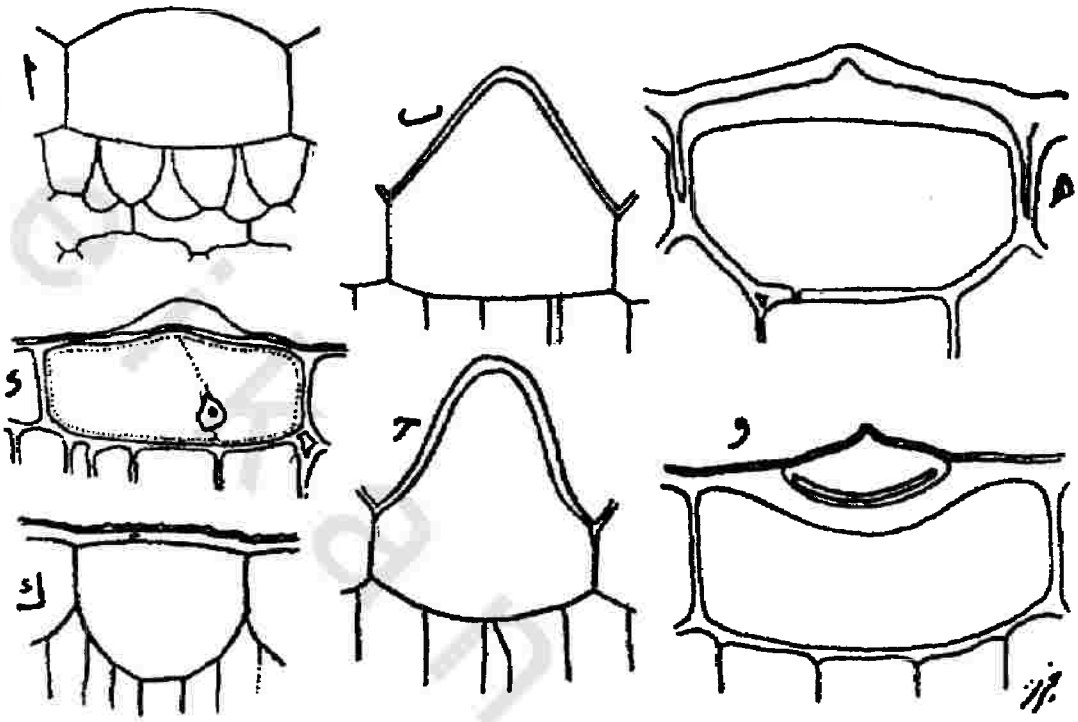
٢ — أعضاء الحساسية الابصارية فى الأوراق الخضراء

تمتاز أنصال معظم الأوراق الخضراء بوضع معتدل ومتزن فى تتبع دورة الشمس، هذا اذا ما كانت فى زوايا قائمة على اتجاه الضوء الذى تتعرض له، وبذلك تحصل على الكمية القصوى منه. ويشمل العضو المحرك فى مثل هذه الأوراق العنق جميعه

أو المنطقة المحركة منه ، أما أنصالها التى تستقبل الضوء فهى التى تسبب التأثير المباشر على الأعضاء المحركة مما يحرك الأعناق ويوجهها نحو الاتجاه اللازم . لذلك تمثل الانصال فى كثير إن لم يكن فى غالبية أوراق النباتات الأجزاء الأساسية ذات الحساسية للضوء ، أما أعناقها فتمثل الأعضاء المحركة . ويتركز استقبال التنبيه الضوئى فى البشرة العليا ، أما الأنسجة الداخلية فغير ذات قابلية للقيام بهذه العملية بالنسبة للتركيب التشريحى الخاص بها . وخلايا البشرة العليا ذات تركيب خاص ومظاهر مميزة تجعلها أكثر قدرة وملاءمة لعملية التنبيه الضوئى . وتمتاز أكثر خلايا هذه البشرة مشاهدة وأكثرها حساسية لاستقبال الضوء ، بجدر خارجية قد يقل أو يزداد بروزها نحو الخارج فى شكل حلمى ، وبجدر داخلية مستقيمة منبسطة موازية لسطح الورقة الخارجى . فاذا ما سقط شعاع ضوئى على مثل هذه الخلايا عمودياً على سطح الورقة ، تسبب عن ذلك إضاءة خاصة لكل من الجدر الخارجية والداخلية ، ومنطقة الاكتوبلاست اللاصقة بها ، تتبع القوانين الابصارية المعروفة . وتشابه كل خلية من هذه الخلايا العدسات المحدبة ، وتقوم هى وشكلها الحلمى بتزويد نصل الورقة بجهاز إبصارى نموذجى يساعده على توجيه نفسه نحو الضوء . وأكثر مواضع هذه الخلايا حساسية للتنبيه الضوئى هو الاكتوبلاست الملاصق لجدر خلايا البشرة من الداخل ، فهو الذى يميز بين الضوء والظلام ، وكذا بين الاضاءة المتساوية وغير المتساوية فى توزيعها على الجدار الداخلى للخلية .

ويختلف تركيب هذه الخلايا بالنسبة لاختلاف النباتات ، وتكون فى أبسط أشكالها ذات جدر خارجية تمتد بأكمها نحو الخارج مكونة سطحاً تقل أو تزداد استدارته ، إلا أن هذا التقوس لا يكون كبيراً فى العادة كما فى *Oxalis acetosella* (شكل ١٠٧ — ١) . وفى أنصال الأوراق القطيفية الملمس والتى تنمو عادة فى غابات المناطق الممطرة مثل *Anthurium Leuconeurum* و *Ruellia Daveauana* ، تظهر الجدر الخارجية لخلايا البشرة فى شكل حلمات مخروطية ذات قمم مستديرة (شكل ١٠٧ ب ، ح) ، مما يسهل لمثل هذه الأوراق القطيفية استقبال التنبيه الضوئى مع ابتلال أسطحها ، نظراً لبزور قمم هذه الحلمات فوق مستوى المناطق المبتلة .

وفى بعض الأحوال قد لا يمتد الجدار العلوى بأجمعه، بل يبرز جزء منه أكثر سمكا كما فى *Colocasia antiquorum* (شكل ١٠٧ — د) فى شكل عدسة ذات قوة

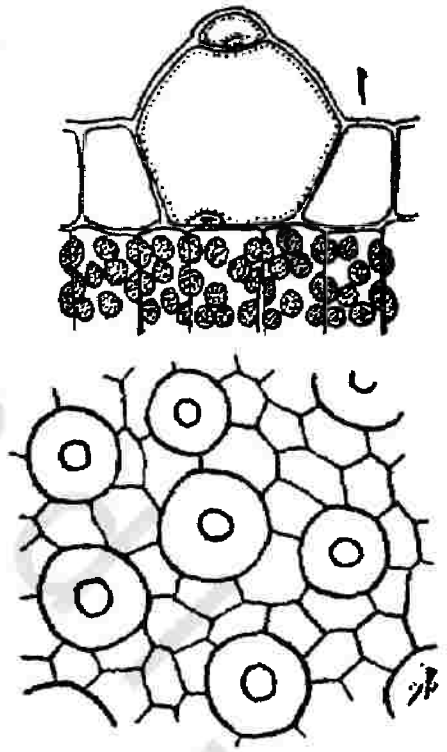


(شكل ١٠٧)

أوضاع مختلفة لخلايا البشرة العليا فى أشكالها الحية. (ا) فى *Oxalis acetosella*.
(ب) *Ruellia Daveauana*. (حـ) *Anthurium Leuconeurum*.
(د) *Colocasia antiquorum*. (ه) *Vinca major*. (و) *Petrea*
(ك) *Franciscea macrantha volubilis*، (عن هابرلاندت).

انكسار مرتفعة بالنسبة لوجود المركبات البكتينية به. ويمتاز الجدار السميك الخارجى فى *Vinca major* باحتوائه على حلمة صغيرة مركزية (شكل ١٠٧ — ه). أما فى *Petrea volubilis* فتزود كل خلية من خلايا البشرة بعدسة سيليكية تتوسط الجدار الخارجى وتتكون من خلية قائمة بذاتها، والجدار الداخلى لهذه الخلية العدسية رقيق بعكس الخارجى السميك المحدب، مما يسبب انضغاط وانكماش فجوة الخلية وضيقها جهة الداخل (شكل ١٠٧ — و).

ولا تحصر عملية التنبيه الضوئى فى خلايا البشرة الحاملة الشكل فقط ، بل هناك من هذه الخلايا ما تكون جدرها الخارجية منبسطة، وفى هذه الحالة ينتظم استقبال الضوء فى منطقة الاكتوبلاست الملاصقة لهذه الجدر من الداخل ، أما الجدر الداخلية فلا تكون منبسطة بل تستدير وتمتد نحو النسيج الميزوفللى كما فى *Franciscea macrantha* (شكل ١٠٧ — ك) . وقد تكون كل من الجدر الخارجية والداخلية منبسطة ، وتتزود الخارجية فى هذه الحالة بما يسمى بالنقر الحافية Marginal Pits .



(شكل ١٠٨)
الجهاز الابصارى فى ورقة نبات *Fittonia Verschaffelti* . (ا) مقطع رأسى . (ب) منظر سطحى ، (عن هابرلاندت) .

ومن خلايا البشرة ما يختلف تشريحيا عن الاشكال العادية السابق ذكرها ويسمى Ocelli . وتكون جدر خلايا البشرة الخارجية فى هذه الحالة منبسطة، كما يصحبها عدد آخر من الخلايا أكبر حجما ذات جدر خارجية أكثر امتداداً وجدر جانبية مائلة يعلو كلا منها خلية عدسية الشكل أصغر حجما ذات جدار خارجى كثير التحدب وداخلى قليل الانحناء . ويشبه هذا الجهاز الابصارى الثانى الخلايا ، العيون العادية فى بعض الحيوانات ، ويرى فى نبات *Fittonia Verschaffelti* (شكل ١٠٨ — ا، ب) . ويرى مثل هذا الجهاز فى *Impatiens Mariannae* إلا أنه يعتبر فى النبات الأول شعيرات متحورة .

٣ — البقع الابصارية Eye Spots

تمتاز النباتات الهدبية وجراثيم معظم الطحالب الخضراء بوجود ما يسمى بالبقعة الابصارية Eye Spot أو Stigma . ومما لا ريب فيه أن هذا الموضع ذو علاقة

خاصة باستقبال الضوء . والبقعة الابصارية عضو خلوى قد يكون قرصياً أو عديسياً أو عصويا ذا لون أحمر أو بنى . ويتكون فى النباتات الهدبية من بروتوبلازم أساسي تنغمس به كرات المواد الملونة ، وقد يكون ذا تركيب متجانس كما فى نبات *Volvox* وجراثيم CHLOROPHYCEAE . وتعتبر المواد الملونة التى تحتوى عليها البقع الابصارية (حبيبات النشا وكذا Paramylum وهى مادة نشوية توجد فى الجريجارنيا) ، كأعضاء مكثفة للضوء . وأحيانا ما توجد هذه البقع فى البروتوبلازم الحيبي ، كما قد توجد فى الاكتوبلاست مكونة نتوءا وغلظا موضعياً خارجياً توجد أسفله فجوة عديسية فى السيتوبلازم تملؤها مادة متجانسة .

وتعتبر هذه البقع الابصارية كأجهزة مساعدة تقوم مقام الستارات الضوئية تمنع تساوى الاضاءة على كل جوانب البروتوبلازم الحساس ، ومن ذلك يمكن مقارنتها بالطبقات الملونة فى عيون الحيوان .