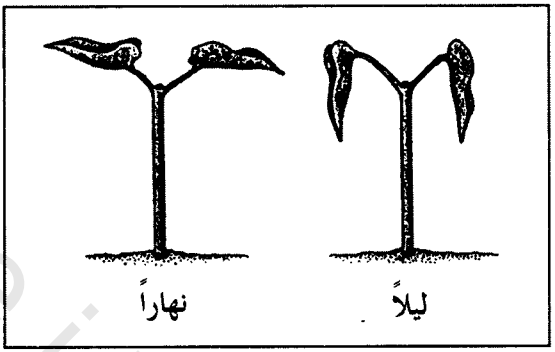
- 8 -

بعض الساعات النباتية

هل تسترخي النباتات؟

ربما كان أول سجل مكتوب عن الإيقاع الحيوي هو ما أتى إلينا من مذكرة كتبت سنة 350 قبل الميلاد من قبل أحد القادة في جيش الإسكندر المقدوني. كان هذا الضابط الكثير المواهب يمتع نفسه أيضاً بدراسة النباتات. كان أول من لاحظ أن بعض النباتات تقوم بما يسمى اليوم ـ تماماً بنفس أخطاء الماضي ـ حركات النوم. تسقط نصلات الأوراق في الليل إلى جانب الجذع (كما لو كانت نائمة)، لكنها مع الفجر التالي ترتفع عالياً من جديد، كما لو أنها كانت تومئ باحترام للشمس الساطعة. تبقى في هذا الوضع منتصبة باحترام ومن ثم تسترخي مرة أخرى مع غروب الشمس.

obeikandl.com



حركات النوم في الفاصولياء

على مدى 2،079 سنة تالية جلس علماء الطبيعية وعلماء النبات ببساطة يتأملون في قدرة بعض النباتات المذهلة على الحركة بنفسها، لكنهم لم يفكروا في كيفية حصول ذلك. بقي الوضع حتى سنة 1729 عندما قبل عالم فلك التحدي وأدخل النبات للداخل. لدهشته العظيمة، استمرت إيقاعات حركة نومها في غياب تبادل النهار/الليل في مختبره في القبو. لا بد أن نشر هذه الملاحظة تطلب منه الكثير من الشجاعة. على الرغم من أنه كان أول دليل يشير إلى وجود ساعة حية، بقي عمله مغفلاً 100 سنة، ربما لأنه كان رجلاً يحملق في السماء وليس عضواً في جمعيات الأخوة النباتية.

عندما بدأ المجربون النباتيون بالعمل، أزهرت معلومات مثيرة وهامة. حتى تشارلز داروين قفز إلى عربة الاستعراض؛ كان مصاباً بالأرق، لذلك كان يسهل عليه تسجيل ملاحظات

ليلية، إضافة لملاحظات نهارية، عن حركة النبات. سجل داروين ما رآه للأجيال القادمة في كتابه سنة 1881، قوة حركة النباتات. لوحظ في النهاية أن فترة الإيقاع تتطاول قليلاً في الظروف الثابتة، وأدى ذلك إلى إدراك أن تناوب النهار/الليل هو الذي أخضع الإيقاع لطول 24 ساعة حين تكون النباتات في ظروفها الطبيعية. اكتشف باستعمال الفاصولياء أن هناك عدة ساعات في النبات الواحد، وأنها يجب ألاّ تضبط بالضرورة على نفس الوقت. لإظهار ذلك، وضع نباتاً في ظروف النهار/الليل الطبيعية لكن ورقة واحدة حجبت وعرضت لنظام نهار/ليل عكسي لعدة أيام. صارت هذه الورقة تصعد بينما الأوراق الأخرى تهبط، والعكس بالعكس. ثم عندما وضع النبات في ظروف ثابتة استمر الوضع المعكوس عدة أيام، مما يدل على أن لكل ورقة ساعتها الخاصة، وليس أن الاستعراض بكامله تحكمه ساعة رئيسية واحدة. ولكن بعد مدة، فإن الورقة الغريبة إما عادت لتوافق الآخرين في طورها، أو أنها تجعدت، متخلية عن روحها الزمنية.

أين يجب أن توجد بالضبط الساعة الكامنة في الورقة. تتسبب الحركة عن كتلتين من الخلايا، تسمى كل منها الانتفاخ الوثاري. تقبع هذه في الوجهين العلوي والسفلي للمفصلة الواصلة بين المعلاق (جذع الورقة) والنصل الرفشي الشكل. يتبادل الانتفاخان الوثاريان الأدوار حيث ينتفخ أحدهما بالماء

بينما يفرغ الآخر. عندما تنتفخ السفلى فإنها تعمل كمكبس هيدروليكي ويرفع النصل للأعلى. عندما تنتفخ العلوية وتفرغ السفلية فإن النصل يهبط إلى وضع النوم. إن ساعة النبتة تعطي الإشارة لبدء الانتفاخ والتفريغ بتبديل نفوذية أغشية الانتفاخ الوثاري للبوتاسيوم والأملاح الأخرى. عندما تدخل الأملاح إلى خلايا الانتفاخ الوثاري فإنها تسبب سحب الماء بالحلول مما يسبب الانتفاخ.

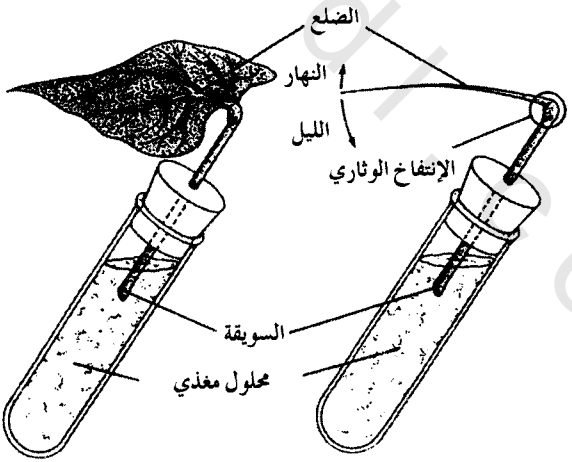
لم يستطع بعض الباحثين قبول وجود ساعة حية ضمن النباتات. أحسوا أن النباتات بشكل ما تتلقى معلومات التوقيت الضرورية من البيئة. إن الطريقة الوحيدة لشرح ذلك هو افتراض أن بعض القوى الأرضية الفيزيائية الدورية الموجهة للوقت قادرة على اختراق ظروف المختبر المعيارية، مما يعني أن لا بد أن تخرق عبر سقوف وجدران الأبنية، وأية حاوية قد تحفظ فيها النبتة. اختبر أحد هؤلاء المؤمنين بهذه الفكرة بأخذ نبات الفاصولياء إلى منجم ملح مهجور بعمق 487 قدم في ألمانيا لرؤية ما يحصل لإيقاع النوم ـ الحركة. كانت النتائج لا لبس فيها: توقفت الإيقاعات، ثم بدأت من جديد عندما أعيدت النباتات إلى السطح. هل كان ذلك دليلاً على أن حجب عضوية الاختبار بعشر ميل من التراب والصخور يسبب اضطراب الإيقاع؟ كانت النتائج مثيرة للفضول، ولم يفحصها بقية العلماء لمدة 33 سنة.

ثم قرر أحد طلابي أن عليه أن يجري محاولة لإعادة ذلك العمل القديم، لذلك صنعنا مسجلة تعمل بالبطارية تقيس حركات نوم النبات في قاع مهوى منجم. الآن وقد تجهز لإعادة التجربة، كان عليه أن يحقق شروط النزول إلى منجم الملح الألماني. كان الحل الذي جاء به شبه مثالي: تزوج سيدة جميلة ذكية جداً، وأمضيا شهر العسل في ألمانيا. عندما عادا، مرت العروس الجديدة بالمختبر؛ بعد أن قلت لها انها متألقة وكل تلك الأشياء الروتينية التي من المتوقع أن يقولها المرء في وقت كهذا، سألتها هل أحبت ألمانيا. كان جوابها، «رائعة، لكن بفضل اهتمام صاحبك بالإيقاعات الحيوية اللعينة، كثيراً ما كانت المتعة الزوجية تقطع عندما كان زوجي العالم/الحامي لجيبته يجرني معه إلى منجم الملح!» صرخ طالب جديد في المختبر لم يكن قد أُخبر عن مشروع منجم الملح، قد سمع التعليق صدفة «آه، هذا بارع!».

من الأفضل أن نترك الآن العروس المخجولة ونخبركم بما فعلت الفاصولياء في قاع الكهف... لا شيء. لم يكن هناك أي إشارة إلى إيقاع في تجويف الكهف. وهكذا تأكد العمل الأصلي، لكن التفسير كان مختلفاً تماماً. لم يكن التفسير أن قوة أرضية فيزيائية خفية دورية تضبط الوقت قد حجبت بالطبقة السميكة من التراب والصخور التي تغطي حجرة التجربة العميقة في المنجم. كان السبب هو الهواء المالح. عندما أجريت التجربة

الأولى لم يكن يعلم دور حركة الملح إلى داخل وخارج الانتفاخ الوثاري. لذلك فإن حقيقة أن التجربة قد أجريت في منجم ملح رطب، وأن النبات كان محاطاً بالهواء الرطب الحامل للملح قد تم تجاهلها. حيث أننا كنا مزودين بالمعلومات عن حركة الورقة فإن عريسنا الجديد بحث ووجد أن الهواء المالح سبب توقف جميع حركات الورقة. أغلقت القضية.

يمكن الحفاظ على الورقة المنزوعة من النبات حية في الماء لمدة من الزمن، لذلك، إذا كان لكل ورقة ساعتها الخاصة، فإن الورقة المعزولة يجب أن تستمر في إظهار إيقاع انحناء النصل. هذا صحيح، ويشاهد الدليل في الشكل 1.8.



الشكل 1.8 تجربة تظهر استمرار إيقاع النوم ـ الحركة في ورقة وحيدة (اليسار) وفي ورقة حلق فيها النصل وأبقي فقط الضلع متصلاً بالمعلاق (اليمين).

غمس معلاق ورقة منزوعة ببساطة عبر ثقب سدادة مطاطية في سائل مغذ في أنبوب اختبار، ووضع المحضر في ظروف ثابتة. استمر إيقاع الورقة المعزولة لمدة 28 يوماً! حتى المعاملة الأجحف لا تحبط إيقاعية الورقة. يمكن قطع جميع نسج الورقة، تاركين فقط الضلع، ويبقى المحضر إيقاعياً أيضاً. استمر التمثيل خطوة أخرى أكثر بدون تخريب الإيقاع. شرّحت خلايا الانتفاخ الوثاري للنبتة ومن ثم فصلت بعناية عن بعضها البعض وأبقيت حية في وسط زرع خاص. استمر إيقاع الانتفاخ والانكماش في كل خلية طالما أن خلايا الانتفاخ بقيت حية (حوالي تسعة أيام)، مما يعني أن لكل منها ساعتها الخاصة.

توجد في بعض النباتات، إضافة إلى الانتفاخ المذكور سابقاً، مفصلة أخرى عند مكان اتصال المعلاق في جذع النبات. يعمل الزوجان بحيث يكون هناك فعل مزدوج على حركة الورقة الكلية: تنخفض كامل الورقة على الجذع، وينثني النصل أيضاً للأسفل. وعندما تبقى تحت إضاءة مستمرة، إذا نظمت شدة الإضاءة بشكل محدد، فإن إيقاع النوم ـ الحركة للجذع/المعلاق يتخذ طوراً يومياً يختلف عن إيقاع النصل/المعلاق: أحدهما 28ساعة والآخر 30،3 ساعة طولاً. وهكذا فإنه يمكن جعل ساعتين حيتين في نفس النبات تجريان بسرعتين مختلفتين في المختبر.

تذكر أن الفصل السابق تضمن مناقشة حول عدم قدرة

تدريب النحل على المجيء إلى محطات التغذية في فواصل غير 24 ساعة. جُرب هذا النوع من التجارب مع إيقاع حركة النوم أيضاً. عُرضت النباتات لأطوال يوم اصطناعية، مثل ست ساعات من الضوء تتناوب مع ست ساعات من الظلام، أو 24 ساعة من الضوء تتبادل مع نفس الفترة من الظلام، على الرغم من أن النباتات عرضت للكثير من تكرارات هذه الدورات غير الطبيعية، وبدا أحياناً أنها تتماشى معها، فعندما نقلت إلى ظروف ثابتة، كانت الفواصل التي تبديها النباتات دائماً قريبة من 24 ساعة.

تبدي البريوفيلام، وهو نبات منزلي شائع، إيقاعاً بالمعدل الذي تثبت فيه ثاني أكسيد الكربون في مركبات عضوية بآلية غير التركيب الضوئي. إن التفاصيل معقدة لذلك أرجو أن تعتمدوا كلامي في هذا الموضوع حيث أن غرضي ليس هو تقديم هذا النبات. إن هدفي هو الإشارة إلى أن ثاني أكسيد الكربون يتثبت بشكل إيقاعي، ويستمر هذا الإيقاع في الورقة المعزولة، حتى ولو قشرت نسج البشرة العلوية والسفلية. إن الخلايا التي تبقى بعد التعرية هي بشكل أساسي آلات التركيب الضوئي فقط، مع ذلك فإن كل منها يأتي مزوداً بساعة توجه هذا النمط الخاص من تثبيت ثاني أكسيد الكربون.

في الحقيقة أن انفتاح وانغلاق بتول الأزهار أكثر شيوعاً من صعود وهبوط الورق. تسمى نبته مجد الصباح بهذا الاسم

لأنها تفتح بتلاتها في الصباح (لتجذب الحشرات بهدف التأبير ؛ وليس لتمتع البشر بالجمال)، ولكن في الواقع فإن بعض أنواع مجد الصباح، وكذلك كرمة القمر، تتفتح (في ثوانٍ) ليلاً. مع أن الأسماء مغلوطة، فقد كان شائعاً في القرن السابع عشر على حد ما في أوربا امتلاك حدائق وقتية. كانت تحتوي قطع الأرض تلك على مجموعات من الورود يفتح كل منها في وقت محدد من اليوم. إذا كان اليوم مشمساً، فإن النظر من نافذة غرفة في الطابق الثاني إلى الحديقة لرؤية أي من الورود ستتفتح، كان طريقة أكيدة للتأخر عن الحفلات والظهور بالمظهر المناسب تحديداً.

إن حركة البتلات الإيقاعية تخضع أيضاً للساعة الحية. يفتح الياسمين المسائي، وهو شجيرة مدارية، أزهاره ليلاً ويبعث شذىً قوياً يجذب الحشرات التي تطير ليلاً، تحمل دون معرفتها الطلع بين الأزهار بينما تلتقط الرحيق الذي تسعى إليه. إن الورود المقطوعة من هذا النبات والتي تدخل إلى المنزل تستمر بإيقاعها (لذلك لا بد من وجود ستائر على النافذة). بما أن الرائحة لا تلاحظ إلا بعد تفتح الورود، كان من المنطقي افتراض أن حركة البتلات تسمح للشذى بأن يفوح. كما هو الحال في كثير من الأحيان، يكون التفسير خاطئاً. إن نزع البتلات من الأزهار وتركها تطوف في الماء يعطي الجواب الصحيح. تتحرر المادة المسؤولة عن الرائحة الواخزة من ذروة

البتلة، سواء كانت الزهرة مفتحة أو مغلقة، ويستمر الإيقاع في البتلة المعزولة إلى أن تموت البتلة. صدف أن ساعة الياسمين تنظم حركة البتلات وإطلاق الشذى في آن واحد.

لم يقتصر تركيز العمل النباتي عن الإيقاع على حركات الأوراق والبتلات. قبل بداية القرن العشرين كان يعلم أنه إذا قطع جذع عباد الشمس مباشرة فوق مستوى الأرض فإن النسغ يستمر في الاندفاع بضغط الجذر ويطرح من جرح قطع الرأس. عندما جمعت المفرزات على فواصل ثابتة طوال اليوم وقيست وقورنت ببعضها، وجد أن الكمية تتفاوت بشكل إيقاعي بين الليل والنهار. علم أيضاً أن نمو النبات كان أسرع في الليل منه في النهار. استمر كل من هذين الإيقاعين في الظروف الثابتة.

النبات/الذبابة النارية

الآن نتيجة التجارب المكثفة التي أجريت على مدى 40 سنة، من المعروف أن كل مظهر أساسي تقريباً من حياة النبات تنظمه ساعات حية. إن دراسة بعض هذه الإيقاعات يتطلب عملاً شاقاً جداً، إلى درجة أن الجهد المطلوب لتحديد إيقاع ما لا يترك إلا وقتاً قليلاً لفحص ما لذي تفعله الساعة في لحظة معينة، وهذا هو أقصى المنشود من علم الأحياء الزمني.

هناك عشبة صغيرة أصبحت ذات فائدة كبيرة لعلماء الأحياء تدعى أرابيدوبسيس. يسهل زرع هذه العشبة على أطباق بتري

المخبرية ويعرف الآن الكثير من تكوينها الجيني، بما في ذلك حقيقة أن القليل من جيناتها مسؤولة عن الإيقاعات التي تبديها. إن بعض إيقاعاتها صعبة الدراسة وتتطلب في ذلك وقتاً طويلاً: مثلاً، إذا أردت أن تعلم متى يحصل الإنتاج الأعظمي لمادة ما، يجب عندئذ أن تطحن نباتات الاختبار في فترات منتظمة عبر النهار والليل وأن تستخلص المواد وتحلل. يمكن تجنب هذه المهمة المملة إذا كان هناك طريقة لمعرفة مسبقة ما الذي تشير إليه الساعة الزمنية. يستطيع الباحث عندها أن يقوم باستخلاص وحيد وهو متأكد من أنه يجمع الكمية العظمى من المادة المرغوبة. يمكن بهذه المعلومات دراسة الآلاف من النباتات في وقت قصير. يمكن القيام بذلك الآن، لكن لا بد من بعض الخلفيات الضرورية من المعلومات.

تقوم الجينات ببدء كل شيء تقريباً تقوم به الخلايا. وهي تعمل وتتوقف حسب الحاجة. وهكذا، عندما تدعو الحاجة إلى الإنسولين مثلاً، فإن الجينة، أو الجينات، المطلوبة لصنعها تعمل. تحصل الإضاءة الحيوية في الذباب الناري بسبب تفاعل كيميائي تتحكم به جينة: لكي تضيء أضواء ذيل الذبابة، تتحد مادة تسمى اللوسيفيرين مع الأكسجين بوجود الأنزيم لوسيفيراز. إن مفتاح الإضاءة هو وجود خميرة اللوسيفيراز، وتتحكم جينة محددة بهذا النشاط.

نال اهتمام وسائل الإعلام مؤخراً أن علماء الأحياء ينزعون

الآن جينات من عضوية ما ويضعونها في عضوية أخرى، قد تكون أحياناً نوعاً مختلفاً تماماً. في هذه الحالة قام عالمي الأحياء الخلوية أندرو ميلنار و ستيف كي بنقل لوسيفيراز الجينة إلى الأرابيدوبسيس ووضعاها قريباً من جينة الساعة. الآن، عندما تعمل جينة الساعة تعمل جينة اللوسيفيراز، وقد يضيء النبات لو أنه كان يملك اللوسيفيرن... لكنه لا يمتلكه. الخدعة عندها هو تأمين اللوسيفيرن، ويجرى ذلك بمجرد بخه على سطح النبات. وهكذا ففي أي وقت يريد الباحثون معرفة ما إذا كانت ساعة الإرابيدوبسيس عاملة أم متوقفة، فإن كل ما عليهم القيام به هو نثر نفخة من ليوسيفيرين ذبابة النار على طبق بتري المليء بالنباتات الصغيرة ورؤية ما إذا كانت ستضيء.

الدورية الضوئية في النبات

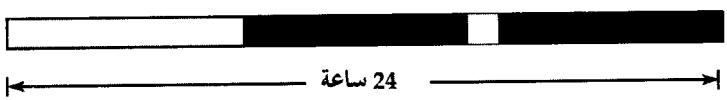
يصح الشرح الآتي أيضاً في الطيور والحشرات كما يفيد في النباتات، لكننا في هذا الفصل نركز على النباتات. كما نعلم، فإن معظم الأنواع النباتية لا تزهر على مدار السنة؛ لكنها تختار فصلاً ما. تزهر الخشخاشية الدموية، والزهرة الثلاثية، والزعفران، ونباتات أخرى في الربيع؛ بينما تزهر زهرة النجمة والرجيد والأزهار الأخرى الشنيعة التي تسبب حمى العلف في الخريف. يزهر السوسن وزهرة الحمامة في الصيف. سأتجاوز عن الأبحاث الطويلة المرهقة المثيرة الدقيقة التي أظهرت أخيراً

كيف يتم التحكم بهذه الفصلية، وسأعطي كلمة واحدة فقط: الدورية الضوئية. إن العدد النسبي لساعات النهار مقابل ساعات الظلام في فترة اليوم تتحكم بإزهار الكثير من النباتات، وبتكاثر الطيور، وبتكاثر الحشرات والثدييات وبمظاهر معينة من تطورها. إن قصر الأيام (عندما تنقص ساعات النهار) في الربيع والخريف هي التي تحرض الزهرة الثلاثية والرجيد على الإزهار، بينما تسبب الساعات الطويلة للنهار في الصيف تفتح السوسن وزهرة الحمامة. وهكذا فإن هذه النباتات والنباتات الأخرى تصنف إلى نباتات النهار القصير ونباتات النهار الطويل (إن التسميات النباتية سخيفة حقاً).

سوف أعطي مثالاً واحداً فقط، في هذه الحالة مثالاً رائداً، عن نوع التجارب التي تثبت هذا. إن نبات القنب الشائع منذ الأزل (لكن غير القانوني) يزهر فقط عندما تكون ساعات النهار قصيرة نسبياً. يرغب مروجي المارجوانا المقاولين، وكذلك مستعمليها ممن يزرعونها في الحدائق على عكس ما ترغب الحكومة، أن يحصلوا على وارد طوال السنة من الأزهار. كان الجواب على طريقة القيام بذلك متوفراً سنة 1912 ـ أدرك رجل يسمى تورنوس أنه إذا غطى نباتات المارجوانا (وهو يقصد أكثر من مجرد أن يكون مرموقاً في عالم الأزهار) خلال النهار بعلب، بحيث لا تتلقى سوى ست ساعات فقط من ضوء الشمس، فإنها ستزهر خلال أيام الصيف الطويلة. لا نعلم

إذا ما كان قد استفاد من اكتشافه لأنه قتل باكراً في الحرب العالمية الأولى، وغاب عمله دون أن يلاحظ من قبل مروجي المخدرات وعلماء النبات.

أعيد اكتشاف الحقيقة نفسها سنة 1920، وبحلول سنة 1960 كان الكثير من النباتات المزهرة قد درس تحت الكثير من الأدوار الضوئية وبذلك صنفت كأنواع يوم قصير أو يوم طويل، إضافة إلى نمط حيادي اليوم الذي يزهر بدون اعتبار للدورية الضوئية المحيطة (سوف نبحثها باختصار فيما بعد). أصبحت هذه المعلومات واسعة الانتشار جداً حتى أن دروس علم الأحياء في المرحلة الثانوية صارت تقوم بتجارب لا يمكن حتى للغبي أن يفسدها لذلك كانت تنجح: كان المدرس واثقاً من أن طلابه لو عرضوا الزهرة الثلاثية مثلاً، قصيرة اليوم، إلى أيام اصطناعية قصيرة فإنها يمكن أن تزهر في أي وقت من السنة. لكن بعدئذ، عدلت التجربة من قبل مفسد لا يملك روحاً رياضية أضاء ضوءاً خفيفاً لفترة قصيرة في وسط فترة الظلام الطويلة، كما يظهر في الرسم أدناه. منع هذا التبديل البسيط نباتات النهار قصير من الإزهار. لدهشة الجميع، كان طول فترة الليل هو ما يقيسه النبات ـ وليس طول ساعات فترة النهار.

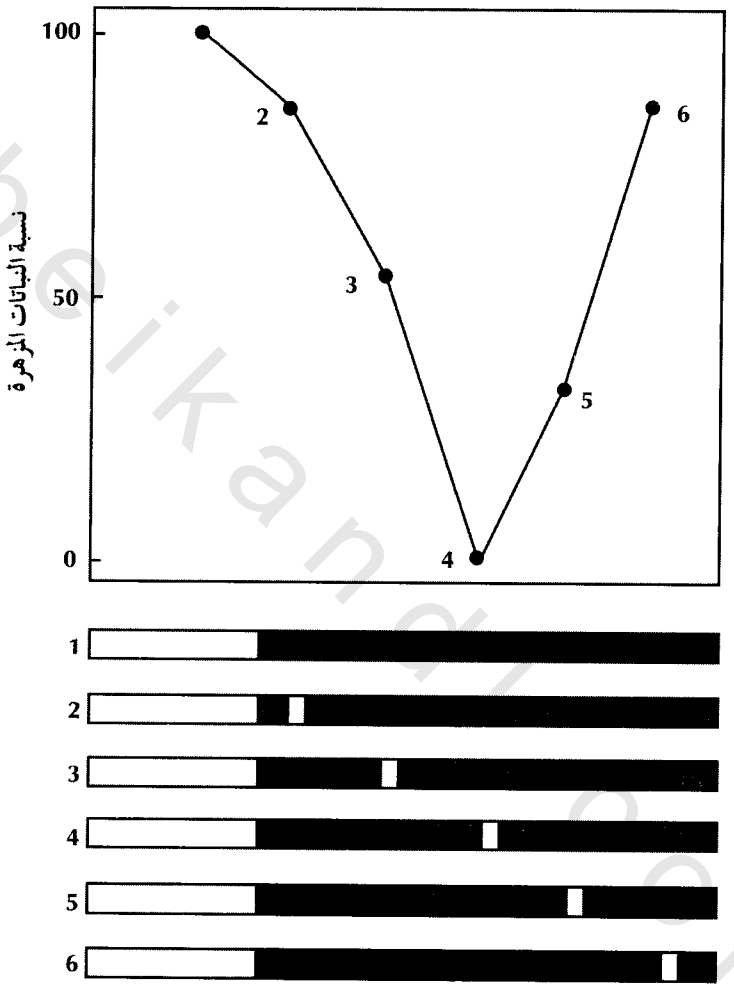


الآن، لو عرض نبات طويل اليوم إلى أيام قصيرة وليال طويلة فإنه بالطبع لن يزهر. لكن إذا قطع الليل الطويل لفترة وجيزة في منتصفه، فإنها ستزهر عندئذ. لذلك، مثل نباتات اليوم القصير، فإن نباتات اليوم الطويل تقيس أيضاً فترة الليل. تبين بعد سنين من الحديث عن الدورية الضوئية أن النبات لم يكن يستعمل فترة الضوء: لقد كان يستعمل عدد ساعات الظلام غير المقطوع. كان يجب أن تسمى الاستجابة الزهرية بالدورية الظلامية! ويجب أن تسمى نباتات اليوم القصير نباتات الليل الطويل، وأن يغير اسم نباتات اليوم الطويل إلى نباتات الليل القصير. لكن الوقت قد فات، فلقد رسخ اسم الدورية الضوئية وما يتبعها، على الرغم من أنه غير صحيح فنياً، كما رسخت الأسماء المغلوطة الأخرى، مثل السرطان عازف الكمان الذي لا يستطيع أن يعزف قطعة موسيقية، وجدجد الكهف الذي ليس هو بجدجد، ومجد الصباح الذي يزهر بعد الظهر، ووزارة الدفاع التي تنشب الحروب، و الحروب التي تسمى أفعال الشرطي، وبقية الغرائب والتشوشات العقلية التي نتعرض لها كل يوم.

إن حقيقة أن ضوء الليل الخافت يمكن أن يكون مهماً جداً في إزهار بعض النباتات قد يكون سبب أهمية حركات النوم التي تقوم بها. إن الورقات هي التي تستقبل الضوء، وهي إذا ارتخت في المساء عندها يمكن لكمية قليلة فقط من الضوء أن تسقط عليها في ليالي البدر.

آمل أن تكونوا معشر القراء تفكرون، «بكيفية قياس النباتات طول فترة الليل؟» إذا راهنت على أنها تستعمل ساعاتها الحية، فإنك ستكون مصيباً. هاكم أنماط التجارب التي أجريت لإعطائنا هذه النتيجة. سوف يتطلب الشرح بعض الكلمات الإضافية من التقديم قبل أن يكتمل الفهم.

طبق الشكل 2.8 لهذه المناقشة. باستعمال التسميات القديمة الراسخة، عرضت نباتات اليوم القصير إلى أيام تتألف من ست ساعات من الضياء تتناوب مع 18 ساعة من الظلام (الظرف المشاهد في العمود المعترض المسمى واحد مباشرة تحت مربع الشكل). حيث أن عناصر التجربة كانت نباتات اليوم القصير فقد أزهرت جميعها. سجلت هذه الواقعة بالنقطة المرقمة واحد، عند مستوى الإزهار 100 في المئة، في المخطط السابق. ثم طرحت جميع هذه النباتات، واختبرت مجموعة جديدة تحت نفس الدور الضوئي، لكن مع تعديل واحد، قطعت فترة الظلام بإضاءة 15 دقيقة حوالي ساعتين بعد إطفاء النور (انظر العمود الثاني). كان هذا الانقطاع كافياً لأن يثبط 15 في المئة من النباتات من الإزهار (انظر مستوى النقطة اثنين على المخطط السابق). رميت بعد ذلك هذه المجموعة، واختبرت مجموعة بعد أخرى من النباتات الجديدة بأوقات انقطاع للظلام تشير إليها الأعمدة 3، 4، 5، 6 ـ تحدد النقطة فوق كل منها درجة اضطراب الإزهار. كما هو متوقع من النتائج المذكورة



الشكل 2.8 التصميم التجريبي المستعمل لإظهار الحساسية المتغيرة (القسم العلوي من الشكل) لنوع معين من النبات لتوقيت إضاءات قصيرة من النور في فترات مختلفة على طول الليل (النصف السفلي من الشكل).

obeikandl.com

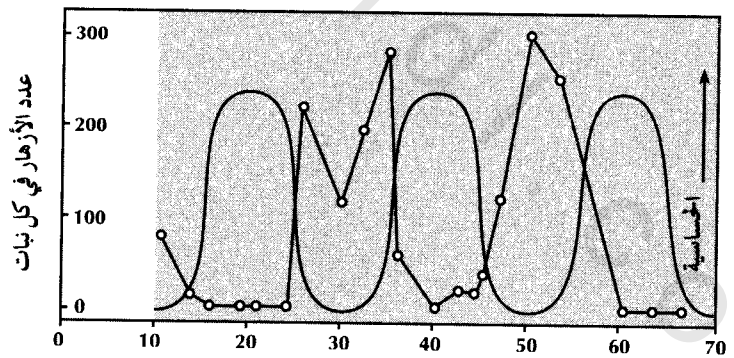
سابقاً، فإن كامل الإزهار قد توقف في الدور الضوئي المحدد بالعمود أربعة. وهكذا فإن درجة نقص الإزهار تعتمد على الوقت الذي ينقطع فيه دور الظلام بالنبضة الضوئية. الطريقة الأخرى لقول نفس الشيء هي أنه بالنسبة لنباتات اليوم القصير هناك تغير اعتيادي في الحساسية (مثل درجة التثبيط) تجاه الانقطاعات الضوئية المتماثلة خلال الليل.

أعيد هذا النوع من التجارب عدة مرات، باستعمال كل من نباتات اليوم القصير والطويل، والأهم من ذلك، بطريقة تعطي إيضاحاً أفضل لما يجري. هاكم النوع من التجارب الذي يوضح دور الساعة في الدورية الضوئية. أحدث يوم بـ 70 ساعة يتكون من عشر ساعات من الضياء و 60 ساعة من الظلام في المختبر. إن نبات كالانتشوي، وهو نبتة يوم قصير منزلية، تزهر عندما توضع في هذا اليوم الصناعي، الطويل، القصير. ثم أجريت تجربة وراء تجربة على نموذج نفس المداخلة المستعملة في الفقرة السابقة ـ قطعت فترة الظلام بشكل مرتب تماماً بنبضات الضوء القصيرة. اختبرت فعلاً مئات من النباتات ثم رميت. كما حصل في السابق فإن الإزهار حصل في وقت ما، ولكن ليس في أخرى (الشكل 3.8). لاحظ أن تثبيط الإزهار حصل تقريباً بفواصل 24 ساعة... كان التثبيط إيقاعياً! إن ساعة كالانتشوي تقود الإيقاع متحسسة بالضياء: عندما تعطى النبضات الضوئية في ذرى هذا الإيقاع، يتثبط الإزهار. يظهر الخط المتصل

المنتظم على شكل منحنى جيبي تمثيلاً بيانياً لهذا الإيقاع في الشكل 3.8.

يوجد نفس الإيقاع من التحسس للضوء في النباتات الطويلة اليوم أيضاً، فقط الذرى في الإيقاع هذا تحرض، بدلاً من أن تمنع، الإزهار. ـ ذلك هو الفارق بين نباتات اليوم القصير والطويل.

هناك أدلة أكثر بأن الساعة تعمل كما وصفناها، لكنني لن أخوض في هذا. بدلاً من ذلك انظر فقط في الشكل 4.8، الذي هو تمثيل بياني لإيقاع الحساسية للضوء (الخط المتصل الذي يشبه شكله الهرم مسطح القمة) وذراه وهو يعمل.

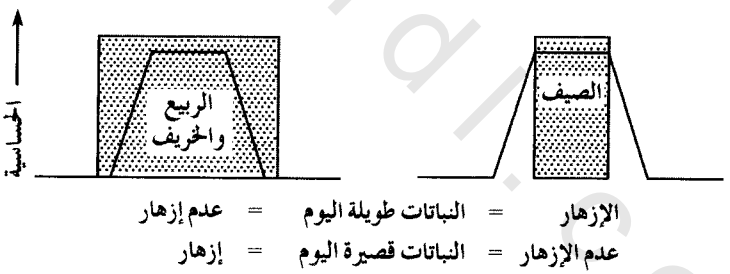


الشكل 3.8 التحريض التفاضلي للإزهار في نبتة المنزل الشائعة كالانتشوي عندما تتعرض لأيام قصيرة، تتألف من عشر ساعات من الضوء تتناوب مع 60 ساعة من الظلام (قطعت فترة الظلام الطويلة بشكل منتظم بإنارة قصيرة للضوء). لاحظ تثبط الإزهار على فترات 24 ساعة (المخطط المرسوم على الدوائر المفتوحة). رسم فوق هذا المخطط خط آخر متجانس يمثل دارة تقودها الساعة تسيطر على حساسية النبات لانقطاع الليل بالضوء.

في الطرف اليسار من هذا الشكل نرى الطور الحساس من الإيقاع في كل من نباتات قصيرة اليوم وطويلة اليوم يحصل في ليالي الربيع والخريف؛ لذلك تزهر النباتات قصيرة اليوم بينما لا تزهر النباتات طويلة اليوم لأنه لا يسقط الضوء على الجزء المحرض لإيقاعها. في الجزء اليمين من الشكل ليالي الصيف ليست طويلة بما يكفي لأن تلف كامل ذرى إيقاع الحساسية، لذلك فإن النباتات طويلة اليوم تزهر بينما لا تزهر النباتات قصيرة اليوم لأن ذيول ذرى إيقاعها مضاءة، مما يعيق إنتاج الزهور. إن الشكل مبسط كثيراً، لكنه يعطي الفكرة الأساسية في الكيفية التي تسبب بها الساعة وتغير الطور الضوئي معاً، فصلية الإزهار.

في حال ما إذا كنت تتساءل، لا تنظم جميع النباتات إزهارها لتغير أطوال اليوم. على سبيل المثال، فإن ما يسمى حياديات اليوم، مثل البندورة والورد، تزهر في طيف واسع من الأطوار الضوئية طالما أن الظروف البيئية مؤاتية. كما أن نباتات أخرى (وكذلك بالخاصة الحيوانات) لديها ساعة سنوية توجه برنامج تكاثرها. لكن لم تجر أعداد كبيرة من الاختبارات في وجود الإيقاعات السنوية. هناك أسباب كثيرة لذلك. أولاً، إن التأكد من أن العملية هي إيقاعية فعلاً تتطلب رؤية دارة تعيد نفسها عدة مرات، وفي البيئة الأكاديمية التي فيها قانون انشر أو مت توجيهات ذرائعية من الخطير تجاهلها، هناك عدد قليل فقط

من الناس (لا أحد من غير المثَّبتين بعد) يقبلون أن يكرسوا حداً أدنى يبلغ ثلاث سنوات من أجل دراسة واحدة. ثانياً، من الصعب جداً الحفاظ على ظروف المختبر ثابتة لعدة سنوات (تسبب العواصف الشديدة انقطاعاً في التيار الكهربائي؛ وتنفذ المنح؛ إضافة إلى كثير من المشاكل غير المتوقعة). لحسن الحظ فإن بعض الباحثين مستعدون لقبول مثل هذه المخاطر، وتعرف بعض الإيقاعات اليومية. سوف أصف واحداً فقط: إيقاع سنوي في إنبات البذور.



الشكل 4.8 شكل مبسط جداً رسم لمقارنة دور إيقاع الحساسية للضوء الذي يسبب فصلية الإزهار في النباتات طويلة اليوم وقصيرة اليوم.

خزنت بذور القمعية والأقحوان في ظلام ثابت وحرارة غير متبدلة لعدة سنوات. ثم على فترات منتظمة نزعت بذور قليلة وعرضت لظروف إنبات مثالية متماثلة. سجل عدد البذور التي

تبرعمت. كانت نسبة الإنبات أعظم في بداية الربيع وأدنى في الصيف. من الواضح أن هناك ساعة حية في النباتات تقيس أطوال السنين النسبية.

obeikandl.com