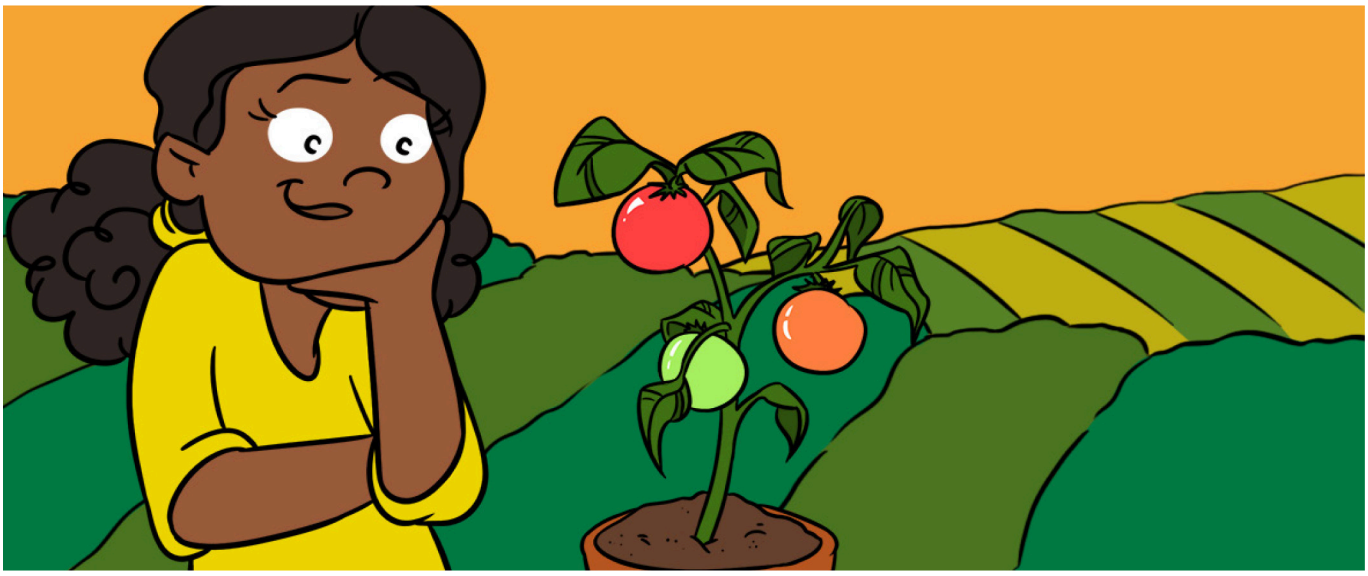
الأرض ومواردها
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 22 يناير 2021
doi: 10.3389/frym.2018.00016-ar



كيف تنضج الثمار؟

Kamaljit Moirangthem * ***and Gregory Tucker***
School of Biosciences, University of Nottingham, Loughborough, United Kingdom

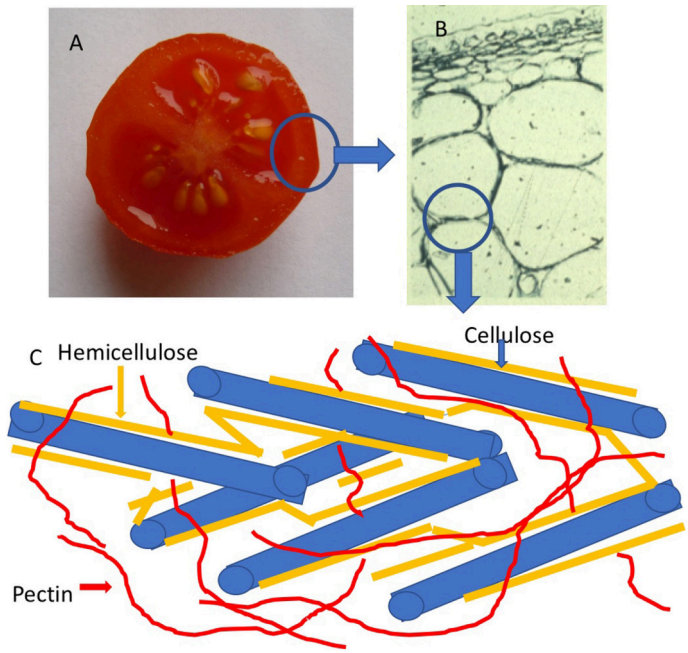
لا شيء يضاهي تناول الثمرة عندما تكون ناضجة. إذ يعطينا نُضج الثمار أذكى نكهة، وأفضل ملمس بل وحتى رائحة فاتحة للشهية! تناول الثمار نفسها قبل موعد نضجها بأسبوع، وستحصل على تجربة مختلفة تمامًا. يؤثر نضج الثمار على اختيارنا لها في محلات المتاجر الكبرى. ولكن بمجرد أن تنضج الثمار، فإنها سريعًا ما تفسد، ومن المؤكد أنك مررت بهذه التجربة يومًا ما. يتناول هذا المقال رؤية متعمقة حول اثنين من التغييرات المرتبطة بنضج الثمار: الأول هو ليونة الثمار أو نعومتها؛ والثاني هو النكهة، وتحديدًا حلاوة المذاق، ودور غاز الإيثيلين في التحكم في نضج الثمار.

المراجعون الصغار:

RICCARDO
العمر:15

قبل أن ندرس كيفية التحكم في نضج الثمار، دعونا نعرف كيف تنضج الثمار

مع نمو النباتات التي تحمل الثمار، تعمل الثمار على تخزين الماء والمواد المغذية من النبات وتستخدم هذه المواد المغذية لتكوين اللب والبذور. تعمل الثمار التي في طور النمو على حماية البذور النامية اليافعة. وفي هذه المرحلة، عادةً ما تكون الثمار صلبة ولا تجذب الحيوانات المفترسة - بما في ذلك نحن! ولكن بعد نضج البذور ونمو الثمار، تتغير خصائص الثمار وتصبح أكثر رونقًا مما يجذب المستهلكين المحتملين، مثل الحيوانات والطيور والبشر [1]. تتضمن هذه التغييرات أكثر الطرق شيوعًا التي نحكم بها على ما إذا كانت الثمار ناضجة أم لا، بما في ذلك الخصائص الخارجية، مثل الليونة والملمس، والخصائص الداخلية مثل حلاوة المذاق. علاوةً على ذلك، تُغير الثمار لونها عندما



شكل 1

تركيب جدار الخلية النباتية. (**A**) يمكن رؤية تركيب جدار الخلية لثمرة الطماطم في الصورة تحت المجهر الضوئي. (**B**) تظهر الخلايا محاطة بجدار خلية مكون من عديد السكاريد، الذي يظهر في الدائرة الزرقاء. (**C**) يتكون جدار الخلية من ثلاثة مكونات أساسية وهي السليولوز والهيميسليلوز والبكتين.

تنضج، يحدث هذا بسبب انحلال الصبغة الخضراء التي تُسمى الكلوروفيل، بالإضافة إلى إنشاء وتكوين صبغات أخرى مسؤولة عن درجات الألوان الأحمر أو الأرجواني أو الأزرق (أنثوسيانين)، أو درجات الألوان الأصفر والبرتقالي والأحمر الفاتحة (الكاروتينات)، وذلك على سبيل المثال لا الحصر.

أولًا، كيف يتم ضبط ليونة الثمار؟ تتحدد ليونة الثمار أو صلابتها وفقًا لحالة **جدران الخلية**. تحيط جدران الخلايا بكل خلية من الخلايا النباتية وتتكون من طبقة صلبة من السكريات، تُسمى **عديد السكاريد**، والتي تغلف غشاء البلازما لكل خلية (الشكل 1). يحتوى جدار الخلية على ثلاثة مكونات أساسية من عديد السكاريد وهي **السليولوز والهيميسليولوز والبكتين**. يتكون السليولوز من مئات من جزيئات سكر الجلوكوز الملتصقة معًا لتشكيل سلسلة طويلة؛ والهيميسليولوز هو أيضًا سلاسل طويلة من السكريات، إلا أنه يختلف عن السليولوز، فيمكن أن يتضمن هذا أنواعًا مختلفة من السكر، مثل الجلوكوز، والزيلوز، والجالاكتوز، والمانوز وهي هياكل متفرعة وليست خطية؛ أما البكتين فهو أيضًا سلاسل متفرعة طويلة من السكريات، إلا أن السكريات في هذه الحالة تتمثل في حمض الجالاكتورونيك، والرامنوز، والجالاكتوز، والعربينوز. عندما يبدأ جدار الخلية في الانحلال، تصبح الثمرة أكثر نعومة. [2]. يحدث انحلال جدار الخلية عندما تعمل البروتينات التي تُسمى الإنزيمات على إذابة عديد السكاريد المكون لجدار الخلية، ويرتبط نشاط هذه الإنزيمات ارتباطًا مباشرًا بفترة الصلاحية وبملمس الثمرة [2]. كما تتأثر ليونة الثمار بضغط السائل داخل الغشاء البلازمي (الذي يسمى ضغط الامتلاء) حيث يحافظ ضغط الامتلاء على تماسك الثمرة، تمامًا مثل ضغط الهواء داخل البالون الذي يُبقي البالون متماسكًا. ولكن بعد النضج أو الحصاد، تفقد الثمرة السائل (الماء)، مما يؤدي إلى انخفاض ضغط الامتلاء، وبالتالي تذبل الثمرة. بالنسبة إلى الثمار مثل الفراولة، بعد أن تفقد الثمرة 6-10% من السائل، تفقد حالتها الجيدة وقد لا يختارها المستهلكون.

لنناقش الآن كيف يُضفي نضج الثمار نكهة خاصة عليها، لا سيما حلاوة مذاقها. تزيد نسبة انحلال النشا داخل الثمار أثناء النضج، وتزيد بنسبة مماثلة كمية السكريات البسيطة التي تتسم بحلاوة المذاق، مثل السكروز والجلوكوز والفركتوز، وتتضح هذه العملية بشكل خاص في الموز عند نضجه. فطعم

جدار الخلية (CELL WALL)

هو هيكل معقد يتكون بشكل أساسي من عديد السكاريد ويحيط بخلايا النبات ويمنحها هيكلها وصلابتها.

عديد السكاريد (POLYSACCHARIDE)

جزيء يتكون من سلاسل طويلة من السكريات مثل الجلوكوز ملتصق معًا لتكوين سلاسل خطية أو متفرعة.

السليولوز (CELLULOSE)

هو عديد سكاريد موجود في جدار الخلية مكون من سلاسل خطية طويلة من الجلوكوز.

الهيميسليولوز (HEMICELLULOSE)

هي مجموعة من عديد السكاريد الموجودة في جدار الخلية، وهي سلاسل متفرعة طويلة من السكريات التي تتضمن عادةً الجلوكوز والزايلوز والعربينوز والجالاكتوز والمانوز.

البكتين (PECTIN)

هو مجموعة من عديد السكاريد الموجودة في جدار الخلية، وهي سلاسل متفرعة طويلة من السكريات التي تتضمن عادةً حمض الجالاكتورونيك والرامنوز والجالاكتوز والعربينوز.

الموز أخضر اللون ليس حلو المذاق إطلاقًا، وكلما كان الموز ناضجًا، كان مذاقه أكثر حلاوة. علاوةً على ذلك، يحدث انخفاض في نسبة الحموضة عند نضج الثمار وانخفاض في المواد النباتية اللاذعة، مثل أشباه القلويات. وأخيرًا عندما تنضج الثمار، فإنها تنتج مركبات معقدة تُطلق في الهواء المحيط، مما يمنح الثمار الناضجة رائحتها الطيبة.

من خلال هذه التغييرات، تنضج الثمار وتصبح حلوة المذاق وملونة ولينة ولها طعم شهي. من المفيد أن يستثمر النبات موارده في الثمار وعملية نضجها لأن الثمرة الناضجة تجتذب المستهلكين الذين يساعدون البذور على الانتشار بشكل واسع، وهو أمر بالغ الأهمية لبقاء النبات وإعادة نموه.

كيف يمكننا منع الثمار من النضج أثناء التخزين والنقل؟

من بين المخاوف الكبرى بشأن الثمار الناضجة أنها لا تدوم طويلًا قبل أن تبدأ في الفساد. يمكن أن يؤدي فقدان التماسك وإنتاج السكريات المرتبطة بالنضج إلى تعرض الثمار لمسببات الأمراض مثل البكتيريا والفساد، كما يشكل إفراط ليونة الثمار سببًا رئيسيًا للفساد أثناء النقل، وخاصةً للثمار الاستوائية، مثل المانجو والموز. من الممكن الحد من فساد الثمار عن طريق النقل السريع للثمار الطازجة، أو إبطاء عملية نضج الثمار، وهناك العديد من الطرق لإبطاء عملية نضج الثمار. تتمثل إحدى طرق إبطاء عملية النضج في خفض درجة الحرارة، وعادةً ما تُستخدم درجات الحرارة الباردة التي تعلو درجة التجمد. على الرغم من أن جميع الثمار يمكن تجميدها، فإن العديد من الثمار ستفقد مذاقها وملمسها وتصبح طرية للغاية عند إذابتها. ولكن ثمرة توت العليق تُعد استثناءً محتملًا - إذ يمكن أن نجدها مجمدة في متجر البقالة في كثير من الأحيان. عادةً ما تُقطع الثمار أولًا إلى قطع صغيرة لتجميدها، وعند إذابتها، يمكن استخدام هذه القطع لصنع مهروس ثمار أو عصائر. ومن الأمور الحسنة لهذه العملية أن التجميد يحافظ على القيمة الغذائية للثمار. ولكن في الوقت ذاته يمكن أن تفسد العديد من الثمار، مثل الموز، عن طريق التبريد ويحد هذا بدوره من اتباع هذا النهج [2]، ولهذا السبب لا نضع الموز في الثلاجة. هناك طريقة أخرى لإبطاء النضج تتمثل في التحكم في الأجواء المحيطة بنضج الثمرة، وذلك بصورة أساسية عن طريق زيادة مستويات ثاني أكسيد الكربون وخفض مستويات الأكسجين. تحتاج الثمار إلى الأكسجين لتنضج، لذلك إذا كانت هناك كمية أقل من الأكسجين في الهواء، فستنضج الثمار ببطء أكبر. تتمثل إحدى الطرق الأخيرة لإبطاء عملية النضج في عرقلة عمل **الإيثيلين**. الإيثيلين هو هرمون مطلوب لتحفيز عملية نضج الثمار، ويمكن عرقلته باستخدام مركبات اصطناعية، مثل مركب البروبين الحلقي (1-MCP). كما يستخدم هذا المركب في إبقاء الأزهار المقطوفة طازجة.

الإيثيلين (ETHYLENE)

هو غاز (C_2H_4) تنتجه النباتات، ويُعرف باسم ''الهرمون الخاص بالنضج'' الذي يحفز نضج الثمار.

يمكن استخدام غاز الإيثيلين لتنظيم نضج الثمار

الإيثيلين عبارة عن غاز وهو معروف باسم "الهرمون الخاص بنضج الثمار"، وتنتج كل ثمرة الإيثيلين بمستوى معين طوال دورة حياتها. ومع ذلك، ترتفع مستويات الإيثيلين عندما تبدأ الثمرة في النضج وذلك في بعض الثمار. وعليه يمكن تصنيف الثمار إلى مجموعتين أساسيتين استنادًا إلى استجابتها للإيثيلين أثناء النضج. تُسمى المجموعة الأولى الثمار ذات ذروة التنفس (تصل إلى أقصى معدل تنفس لها قرب مرحلة النضج)، حيث يصاحب النضج زيادة كبيرة في مستوى الإيثيلين. ويمكن لهذه الثمار أيضًا أن تستجيب إلى الإيثيلين الخارجي عن طريق زيادة معدل النضج. وتشمل هذه المجموعة الثمار الغضة مثل الطماطم والأفوكادو والتفاح والخوخ والشمام والكيوي والموز. وتُسمى المجموعة الثانية الثمار التي ليس لها ذروة تنفس، حيث لا يزيد إنتاج الإيثيلين أثناء عملية النضج. ومع ذلك، يمكن أن تنضج هذه الثمار إذا تعرضت لمصدر خارجي من الإيثيلين، مثل الثمار الناضجة ذات ذروة التنفس.

وتشمل هذه المجموعة الفراولة والعنب والفواكه الحمضية [3]. سنركز على نضج الثمار ذات ذروة التنفس والتي تتأثر بالإيثيلين.

بالنسبة إلى الثمار التي لها ذروة تنفس، يؤدي التعرض لتركيز أولي ضئيل من الإيثيلين إلى إنتاج كميات أكبر من الإيثيلين حتى بلوغ ذروة التركيز [4]، وتؤدي هذه الزيادة في نسبة تركيز الإيثيلين إلى زيادة أيض الثمار وتتسبب في إحداث تغيرات في الثمار أثناء عملية النضج. وبالتالي يمكن إبطاء عملية نضج الثمار التي لها ذروة تنفس عن طريق تقليل كمية الإيثيلين التي تنتجها الثمار أو عن طريق عرقلة عمل الإيثيلين [5]. طُبقت الطرق التي وصفناها أعلاه بشأن إبطاء عملية النضج بهذه الطريقة نظرًا إلى أن درجات الحرارة المنخفضة بشكل عام تقلل من عملية الأيض في الثمار. كما من شأن التحكم في أجواء نضج الثمار أن يحد من كمية الأكسجين حول الثمرة، حيث إن الأكسجين مطلوب لإنتاج الإيثيلين، وبدورهما يعمل كل من ثاني أكسيد الكربون ومركب البروبين الحلقي على عرقلة عمل الإيثيلين. هناك طريقة أخرى لإبطاء عملية النضج وتتمثل في إزالة الإيثيلين من بيئة التخزين باستخدام مواد تمتص الإيثيلين، مثل برمنجنات البوتاسيوم. وبعد وصول الثمرة إلى وجهتها، يمكن أن تنضج من خلال التعرض لغاز الإيثيلين.

يستند تأثير الإيثيلين على النضج إلى العديد من العوامل. يجب أن تكون الثمرة ناضجة بما يكفي لتكون قادرة على الاستجابة بفعالية للإيثيلين حيث يحفز الإيثيلين عملية النضج على الفور في الأنواع شديدة التأثر بالإيثيلين، مثل الكنتالوب أو الموز، ولكن كلما كانت الثمرة غير ناضجة، زاد تركيز الإيثيلين المطلوب للنضج. تقلل المعالجة بالإيثيلين من الوقت المنقضي قبل حدوث عملية النضج في الأنواع الأقل تأثرًا بالإيثيلين، مثل الطماطم أو التفاح. كما أن بعض الثمار، مثل الأفوكادو، لا تنضج أثناء وجودها على الشجر وتزيد من تأثرها بالإيثيلين تدريجيًا مع مرور الوقت بعد الحصاد [6].

لماذا تُفسد التفاحة المتعفنة سلة الفواكه بالكامل؟ وكيف يمكن تجنب حدوث ذلك من خلال معرفة الأسباب والمعلومات ذات الصلة؟

تنتج جميع النباتات بعض الإيثيلين أثناء دورة حياتها. يمكن أن يزيد إنتاج الإيثيلين حتى 100 ضعف أو أكثر خلال مراحل معينة - على سبيل المثال، عند الاستجابة لجرح ما [1]. كان المصريون القدماء يقطعون التين لتعزيز نضجه، لأن الإيثيلين الناتج عن نسيج الثمرة المصابة يحفز الاستجابة لعملية النضج. وعلى نحو مماثل، كان الصينيون القدماء يحرقون البخور في غرف مغلقة تحتوي على كمثرى مخزنة، وذلك لأن الإيثيلين يتكون باعتباره منتجًا ثانويًا من البخور المحترق. يستند القول المأثور "تفاحة واحدة فاسدة من الممكن أن تفسد السلة بأكملها" إلى فكرة إطلاق الإيثيلين من التفاح المتعفن، والذي من شأنه زيادة سرعة نضج التفاحات الأخرى الموجودة حول التفاحة المتعفنة [5].

يُستخدم غاز الإيثيلين بشكل تجاري لأغراض نضج الثمار بعد قطفها. تُحصد الثمار، مثل الطماطم والموز والكمثرى، قبل بدء عملية النضج (عادةً في طور الصلابة والاخضرار، ولكنها تكون ناضجة)، ويتيح ذلك وقتًا كافيًا لتخزين الثمار ونقلها إلى أماكن بعيدة، وبعد وصول الثمار إلى وجهتها، تحدث عملية النضج في ظل ظروف مضبوطة. عادةً ما يحدث ذلك في غرف مصممة خصيصًا لعملية النضج، عن طريق ضبط درجة الحرارة ومستوى الرطوبة وتركيز الإيثيلين إلى المستوى الأمثل لعملية النضج. وفي النهاية تؤدي هذه الظروف الخاصة والمهيأة إلى نضج الثمرة بمعدل ثابت. في المتاجر الكبرى، قد تجد هذه الثمار باعتبارها "ناضجة وجاهزة" [5]. وعادةً ما تُستخدم التركيزات المنخفضة من الإيثيلين بشكل تجاري لإنضاج الثمار، لأن هذا هو كل ما يلزم لتحفيز الاستجابة الطبيعية لنضج الثمار، وبحلول الوقت الذي تصل فيه الثمرة المعالجة بالإيثيلين إلى المستهلك، يتلاشى الإيثيلين المستخدم تجاريًا،

وتنتج الثمرة الإيثيلين الخاص بها. يُذكر أن كلًا من الإيثيلين ومادة أخرى تستخدم على نطاق واسع لإنضاج الفواكه، وهي جاسمونات الميثيل، غير سام للبشر؛ إلا إنهما متوفران بأسعار باهظة إلى حد ما.

جرّب هذا في المنزل!

يمكن أن يسهم فهم تأثيرات الإيثيلين على المنتجات الطازجة في عملية نضج الثمار في مطبخنا الخاص.

- إذا كان لديك ثمرة أفوكادو أو أي ثمار أخرى غير ناضجة في المنزل، فحاول وضعها في كيس ورقي مع موز ناضج، سيؤدي ذلك إلى زيادة سرعة نضج الأفوكادو لأن الإيثيلين المنبعث من الموز الناضج سيحفز ذروة التنفس لدى الأفوكادو. تحقق هذه الطريقة نتائج أفضل عندما تكون الثمرة الناضجة هي التي ينبعث منها تركيز مرتفع من الإيثيلين، مثل التفاح أو الكمثرى أو الموز أو ثمرة زهرة الآلام [5].
- جرّب وضع ليمون أخضر مع موز ناضج في كيس ورقي، كما هو موضح أعلاه، وشاهد ماذا يحدث للون الليمون. يُستخدم الإيثيلين أيضًا في إزالة "اللون الأخضر" من الحمضيات وذلك عن طريق تحفيز انحلال الصبغة الخضراء (الكلوروفيل)، مما يؤدي إلى تلون القشر باللون البرتقالي والأصفر. والجدير بالذكر أنه لا يحدث فقدان للنكهة لأن هذا ما هو إلا استمرار لعملية النبات الطبيعية.

إذا حاولت إجراء هذه التجربة، فتذكر أنه من الأفضل إجراء عملية النضج في درجة حرارة الغرفة، وهي حوالي 20 درجة مئوية، لأن درجات الحرارة المنخفضة يمكن أن تعطل الإنزيمات اللازمة لنضج الثمار. لذا، من الأفضل تجربة هذا خارج الثلاجة.

المراجع

1. Grierson, D. 2013. "Ethylene and the control of fruit ripening," in *The Molecular Biology and Biochemistry of Fruit Ripening*, eds S. Grahman, P. Mervin, G. James, and T. Gregory (Boston: Blackwell Publishing Ltd), 43–73.
2. Osorio, S., and Fernie, A. R. 2013. "Biochemistry of fruit ripening," in *The Molecular Biology and Biochemistry of Fruit Ripening*, eds S. Grahman, P. Mervin, G. James, and T. Gregory (Boston: Blackwell Publishing Ltd), 1–19.
3. Alexander, L. 2002. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. *J. Exp. Bot.* 53:2039–55. doi: 10.1093/jxb/erf072
4. Mazonde, B., Mujuru, F., and Muredzi, P. 2017. Design of a controlled atmospheric storage facility for climacteric fruits. *Int. J. Rural Dev. Environ. Health Res.* 1:47–59.
5. Frontline Services. 2015. *Fruit Ripening Gas – Ethylene*. Available at: http://www.frontlineservices.com.au/Frontline_Services/Fruit_ripening_gas_-_ethylene.html (accessed November 2, 2017).
6. Brady, C. J. 1987. Fruit ripening. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 38:155–178. doi: 10.1146/annurev.pp.38.060187.001103

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 22 يناير 2021

حرره: Gianpiero Vigani, Università degli Studi di Torino, Italy

الاقتباس: Moirangthem K and Tucker G (2021) كيف تنضج الثمار؟
Front. Young Minds doi: 10.3389/frym.2018.00016-ar

مُترجَم ومقتبس من: Moirangthem K and Tucker G (2018) How Do Fruits Ripen? Front. Young Minds 6:16. doi: 10.3389/frym.2018.00016

إقرار تضارب المصالح: يعلن المؤلفون أن البحث قد أُجري في غياب أي علاقات تجارية أو مالية يمكن تفسيرها على أنها تضارب محتمل في المصالح.

COPYRIGHT © 2018 © 2021 Moirangthem and Tucker.
هذا مقال مفتوح الوصول يتم توزيعه بموجب شروط ترخيص المشاركة الإبداعية Creative Commons Attribution License (CC BY). يُسمح بالاستخدام أو التوزيع أو الاستنساخ في منتديات أخرى، شريطة أن يكون المؤلف (المؤلفون) الأصلي أو مالك (مالكو) حقوق النشر مقيدًا وأن يتم الرجوع إلى المنشور الأصلي في هذه المجلة وفقًا للممارسات الأكاديمية المقبولة. لا يُسمح بأي استخدام أو توزيع أو إعادة إنتاج لا يتوافق مع هذه الشروط.

المراجعون الصغار

RICCARDO، العمر: **15**

مرحبا اسمي ريكاردو وأبلغ من العمر 15 عامًا. أنا مهتم بالعلوم، وعلى وجه التحديد الأحياء والفيزياء. بالإضافة إلى ذلك، أتدرب على التجديف منذ عام 2014 لأنني أحب الرياضات التي تُمارس في الأماكن المفتوحة. أود أن أقرأ الأبحاث العلمية وأتعرف على العلوم؛ لذا فأنا سعيد للغاية بأن أكون جزءًا من مجتمع Frontiers for Young Minds.

المؤلفون

KAMALJIT MOIRANGTHEM

Kamaljit هو مهندس تقنية حيوية يهتم بالبحث في استخدام النباتات لصنع منتجات عالية القيمة، مثل الوقود الحيوي المستخرج من المواد الحيوية، مثل قمح القش والأغذية العلاجية، وهي منتجات مشتقة من الغذاء ولكنها تضيف فوائد صحية أخرى. وخارج نطاق أبحاثه، يستمتع بمشاركته في الفعاليات العلمية، والمشاركة العامة، ووضع السياسات العلمية، فضلًا عن اهتمامه بالجانب التجاري في مجال العلوم.
*kamaljit.moirangthem@hotmail.com

GREGORY TUCKER

Greg Tucker أستاذ الكيمياء الحيوية النباتية في The University of Nottingham. يتمثل اهتمامه البحثي الرئيسي في الكيمياء الحيوية وعلم الأحياء الجزيئي لجدار الخلية النباتية، وركزت أبحاثه على آلية انحلال جدار الخلية أثناء نضج الفاكهة والخضروات وتعتيقها. يؤدي انحلال جدار الخلية هذا إلى ليونة الثمار، وبالتالي من شأن إدخال التغييرات على هذه العملية، من خلال تطبيق التعديل الوراثي أو الوسائل الكيميائية الفيزيائية، أن يوفر وسائل لتمديد فترة صلاحية هذه السلع وتقليل الهدر.

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by
جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية
King Abdullah University of Science and Technology