الأرض ومواردها
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 12 مايو 2023
doi: 10.3389/frym.2020.00108-ar

كيف يتم إنتاج سكر المائدة من البنجر؟

Matheus Thomas Kuska[1*], *Sabine von Tiedemann*[2] و *Anne-Katrin Mahlein*[2]
[1]غرفة الزراعة في ولاية شمال الراين - وستفاليا، خدمة حماية النبات، كولونيا، ألمانيا
[2]معهد بحوث بنجر السكر (IfZ)، غوتينغن، ألمانيا

تستخدم النباتات ضوء الشمس والماء وثاني أكسيد الكربون لإنتاج السكر والأكسجين في عملية تُسمى التمثيل الضوئي. وهي واحدة من العمليات المهمة على كوكب الأرض، لأنها تزيل ثاني أكسيد الكربون من الهواء وتوفر لنا الطعام. وتحدث عملية التمثيل الضوئي في أجزاء صغيرة داخل الخلايا النباتية، تُسمى البلاستيدات الخضراء. وتحصل النباتات على الطاقة الكيميائية من ضوء الشمس في عملية مكونة من خطوتين. وتُستخدم الطاقة التي تجمعها النباتات في تفاعل ثانٍ لإنتاج سكر الغلوكوز، فيتحد الغلوكوز مع الفركتوز، وهو سكر الفاكهة، لإنتاج السكروز، وهو سكر المائدة الذي نعرفه. ويستغرق بنجر السكر 7 أشهر لينمو ويوفر 32% من إنتاج سكر المائدة في العالم. ويجب حمايته من الأعشاب الضارة والأمراض في فترة نموه. وفور نموه بما فيه الكفاية، يمكن حصاد بنجر السكر وتصنيعه في مصنع سكر للحصول على سكر المائدة.

المراجعون الصغار

NICOLAS
العمر: 9

كيف تنتج النباتات السكر؟

تقدم لنا أمهاتنا طبق حلوى بعد الغداء، أو يعطينا أجدادنا قطعة شوكولاتة فتعلو وجوهنا الابتسامة. ولكن ما سر هذه السعادة؟ إنها أدمغتنا التي تشعر أنها بحاجة مُلحة إلى أحد المكونات التي تحتوي عليها هذه الأطعمة الحلوة. نعم، نحن نتحدث عن سكر المائدة، المُسمى بالسكروز. يتكون السكروز من نوعين من السكر أبسط منه، هما الغلوكوز والفركتوز. ولكن من أين يُستخرج الغلوكوز؟ على عكس البشر والحيوانات الأخرى، تستطيع النباتات إنتاج الغلوكوز من خلال عملية تُعرف باسم التمثيل الضوئي. حيث تستخدم الأجزاء الخضراء من النباتات ضوء الشمس والماء وثاني أكسيد الكربون من الجو لإنتاج الغلوكوز والأكسجين. وبذلك، تنتج النباتات الطاقة وتضمن لنا أن نجد ما يكفينا من الهواء النقي الغني بالأكسجين. ولكن ما وجه استفادة النباتات نفسها من عملية التمثيل الضوئي وإنتاج الغلوكوز؟ يمكن استخدام الغلوكوز كلبنة أساسية كيميائية ومورد للطاقة؛ حيث تستخدم النباتات الغلوكوز لتعيش وتنمو. فالغلوكوز للنباتات والبشر كالوقود للسيارات.

عملية التمثيل الضوئي (Photosynthesis)

هي العلمية التي تستخدمها النباتات الخضراء لإنتاج الطاقة -في شكل سكر- من ضوء الشمس والماء وثاني أكسيد الكربون.

وتنتج النباتات السكر في أوراقها، لكن هذه الأوراق ليس لها مذاق حلو. ويرجع هذا إلى أن السكر لا يظل في الأوراق، لأن النباتات تستخدم السكر للنمو، وقد يُنقل أيضًا إلى الجذور أو البذور أو السيقان أو الثمار لتخزينه. وقد تعلمنا بالفعل أن السكر قد يوجد على هيئة سكريات بسيطة، مثل الغلوكوز أو الفركتوز، أو على هيئة سكر مزدوج، مثل السكروز. ولكن ثمة سكريات أيضًا ترتبط فيها آلاف من جزيئات السكر معًا لتكوين وحدة هائلة، مثل النشا. وجميع هذه السكريات المختلفة هي نوع من المواد الغذائية يُسمى الكربوهيدرات (جدول 1).

جدول

بعض أشكال الكربوهيدرات في النباتات.

الاسم الشائع	الاسم العلمي	يوجد في
دكستروز	غلوكوز	الفواكه
الفاكهة سكر	فركتوز	الفواكه
المائدة سكر	سكروز	السكر وقصب السكر بنجر
نشا	نشا	البطاطس
سليلوز	سليلوز	النباتية الخلايا جدران

جدول

وتخزن العديد من النباتات السكر في شكل نشا، مثل البطاطس. في حين تخزن نباتات أخرى السكر في شكل فركتوز أو غلوكوز في ثمارها، مثل التفاح والبرتقال. وتخزن بعض النباتات تركيزات عالية من السكروز. وتُزرع النباتات عالية السكروز لاستخراج سكر المائدة الذي نستخدمه في صنع أطباق الحلوى اللذيذة. ويأتي بنجر السكر وقصب السكر على رأس المحاصيل التي تنتج السكر في جميع أنحاء العالم. ويحتاج قصب السكر إلى درجات حرارة دافئة (25 إلى 30 درجة مئوية) لينمو، لذلك يُزرع هذا المحصول في المناطق شبه الاستوائية والمدارية، مثل البرازيل والهند. وقد أصبح بنجر السكر حاليًا المحصول

الرئيسي لإنتاج السكر في المناخ المعتدل (15 إلى 25 درجة مئوية)، لا سيما في أوروبا الغربية والوسطى والشرقية، وفي الولايات المتحدة والصين واليابان أيضًا.

مصادر الطاقة... والحلاوة!

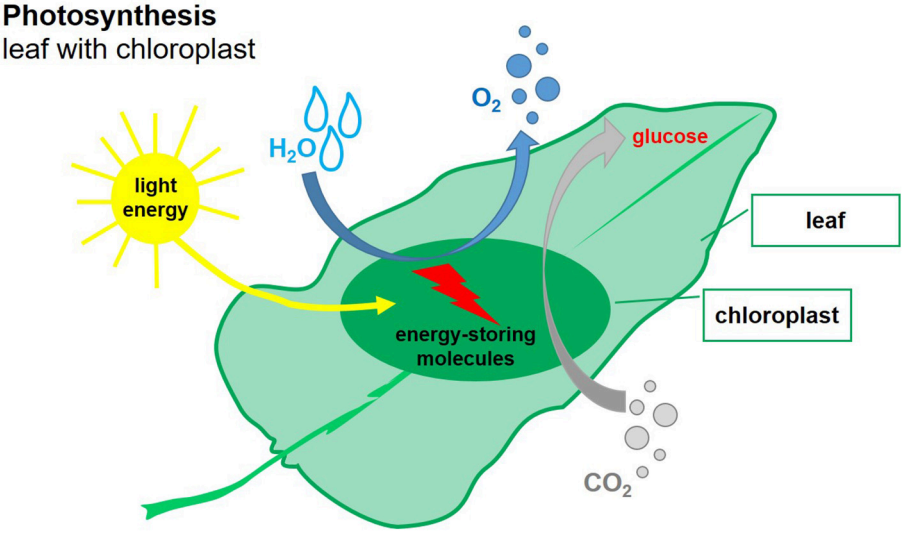
وللأجزاء الخضراء في النباتات أهمية في عملية التمثيل الضوئي. والسبب في اخضرار الأوراق هو أنها تحتوي على هياكل تُسمى البلاستيدات الخضراء، بها صبغة خضراء تُسمى الكلوروفيل (شكل 1). وتتألف عملية التمثيل الضوئي من خطوتين رئيسيتين. في الخطوة الأولى، يسطع ضوء الشمس على الأوراق ويجمع الكلوروفيل الطاقة الشمسية في البلاستيدات الخضراء. وتُحول الطاقة الضوئية المُجمعة إلى طاقة كيميائية وتُخزن في جزيئات مخزِنة للطاقة. ويُنتج الأكسجين أيضًا أثناء هذه العملية، وتطلقه النباتات [1]. وفي الخطوة الثانية من عملية التمثيل الضوئي، يدخل ثاني أكسيد الكربون من الهواء إلى الأوراق عبر فتحات صغيرة. وباستخدام الطاقة الكيميائية المُخزنة مسبقًا، تحول البلاستيدات الخضراء ثاني أكسيد الكربون إلى غلوكوز [1]. ويُنتج الفركتوز أيضًا خلال هذه الخطوة. ثم يتحد الغلوكوز مع الفركتوز لإنتاج السكروز.

البلاستيدات الخضراء (Chloroplast)

هي هياكل صغيرة داخل الأوراق تجري عملية التمثيل الضوئي.

الكلوروفيل (Chlorophyll)

هي صبغة موجودة داخل البلاستيدات الخضراء تمتص الطاقة الضوئية من ضوء الشمس.



شكل 1

شكل 1

رسم توضيحي مُبسط لعملية التمثيل الضوئي. في البلاستيدات الخضراء الموجودة داخل الأوراق، يتحول الضوء والماء (H_2O) وثاني أكسيد الكربون (CO_2) إلى طاقة وسكر (غلوكوز). ويتحول ضوء الشمس -باستخدام الماء- إلى جزيئات مُخزنة للطاقة داخل الخلايا النباتية. ثم تُستخدم الطاقة المُستخرجة من هذه الجزيئات في إنتاج الغلوكوز من ثاني أكسيد الكربون CO_2.

ما هو بنجر السكر؟

لطالما وجد الناس مواد لتحلية الطعام. بيد أن السكر كان أحد المنتجات الكمالية في المناطق ذات المناخ البارد لعدة سنوات. وفي عام 1747، اكتشف الكيميائي الألماني أندرياس سيغيسموند مارجراف أن البنجر ينتج السكر نفسه الذي ينتجه قصب السكر. وقد طوّر تلميذه عملية فنية لاستخلاص السكر من البنجر. وشهد عام 1802 تشغيل أول مصنع للسكر. وسرعان ما بُني العديد من مصانع السكر في جميع أنحاء أوروبا.

ولنبات بنجر السكر (الذي يُسمى *Beta vulgaris* باللاتينية) أوراق خضراء زاهية على شكل وردة وجذر لحمي أبيض على شكل مخروطي (شكل 2). وجذر البنجر هو عضو التخزين، ويحتوي على 75% ماء و20% سكر ومكونات بنيوية تُسمى اللُب.

شكل 2

شكل 2

نبتة بنجر سكر متفتحة. الجزء الموجود أسفل الأرض هو عضو التخزين، الذي يُسمى بالجذر الرئيسي وله جذور مُشعرة لامتصاص الماء والمواد المغذية. ويتكون الجزء الموجود أعلى الأرض من أوراق الشجر، التي تحتوي على العديد من الأوراق المُرتبة على شكل وردة.

زراعة بنجر السكر

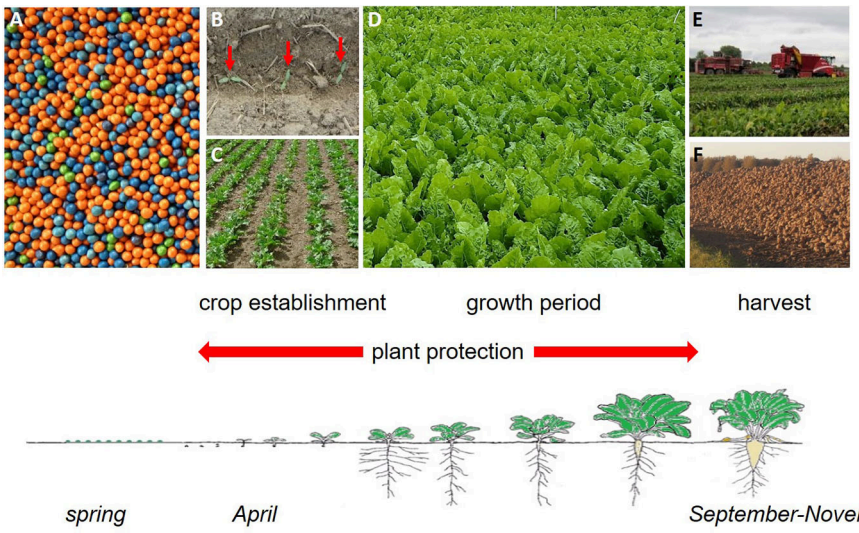
قد تبدو زراعة المحاصيل أمرًا يسيرًا، لكن هذا ليس صحيحًا إذا كنت تريد زراعة محاصيل كبيرة بما فيه الكفاية لإطعام الكثير من الناس. هيا نلقِ نظرة على كيفية زراعة بنجر السكر (شكل 3). تبدأ رحلتنا ببذرة بنجر السكر. تُبذر البذور بمجرد ارتفاع درجة حرارة التربة، وهو ما يكون عادةً في شهر مارس/أبريل. ومن الطبيعي أن تنمو بذرة بنجر السكر لتصبح العديد من النباتات. وحتى سبعينيات القرن الماضي، كان لا بد من إزالة النباتات التي لا لزوم لها يدويًا حتى لا يكون البنجر كثيفًا للغاية، وقد كان هذا عملًا شاقًا ويستغرق وقتًا طويلًا. وبعد ذلك، حقق مربو النباتات تقدمًا مفاجئًا واستحدثوا البذور التي لا تنتج سوى شتلة واحدة. ويحرص مربو البذور الذين يصنعون بذور بنجر السكر على تغطية البذور بالمبيدات الحشرية التي تحمي الشتلات من الأمراض والآفات.

المبيدات الحشرية (Pesticides)

هي مواد تُستخدم لحماية المحاصيل من الأعشاب الضارة ومسببات الأمراض الفطرية والآفات.

وتُسمى بذرة بنجر السكر المُغلفة بالحبة، وغالبًا ما يكون للحبوب ألوان مختلفة حسب المُربي (شكل 3A).

وعندما تنبت البذور، تبدأ الجذور الصغيرة واثنتان من أوراق البذور، تُسميان بالفلقات، في الظهور (شكل 3B). ومن هذه اللحظة فصاعدًا، يجب حماية نبات بنجر السكر الصغير من الأعشاب الضارة، لأنها تتنافس على ضوء الشمس ومغذيات التربة.



شكل 3

يمكن للمزارعين السيطرة على الأعشاب الضارة باستخدام مجرفة أو يمكنهم استخدام مبيدات الأعشاب، وهي مواد كيميائية تقتل الأعشاب الضارة. وإذا لم يسيطر المزارعون على الأعشاب الضارة، فسوف تُصاب ثمار البنجر الصغيرة وقد تقل غلة المحصول بنسبة 80% [2]. ولا يضطر البنجر لمقاومة الأعشاب الضارة التي تنافسه في ضوء الشمس والمغذيات فحسب، بل عليه أيضًا مواجهة الحشرات التي تهاجمه. ويمكن تقسيم الحشرات التي تهاجم البنجر إلى مجموعتين: مجموعة تدمر النبات مباشرة والأخرى تنقل أمراض فيروسية. فيمكن لحشرة الخوخ الأخضر مثلًا (*Myzus persicae*) أن تنقل فيروس يتسبب في اصفرار أوراق بنجر السكر، مما يثبط عملية التمثيل الضوئي ويقلل إنتاج السكر.

ضرورة حماية البنجر من الأمراض

بعد نمو تسع ورقات أو أكثر من نبات بنجر السكر، يتشكّل «البنجر» أو عضو التخزين تحت الأرض. ويُخزّن السكروز الذي تنتجه الأوراق في البنجر. وكلما كان جو الصيف مشمسًا، زادت كمية السكر المُنتَجة من خلال عملية التمثيل الضوئي. وخلال هذه الأوقات، يجب حماية الأوراق من الأمراض لأن الأوراق السليمة فقط هي التي يمكنها إجراء عملية التمثيل الضوئي. وينجم المرض الأكثر انتشارًا وتدميرًا لأوراق بنجر السكر عن فطر يحمل الاسم اللاتيني *Cercospora beticola*. ففي البداية، تظهر فقط بقع

الحبة (Pill)

هي بذرة بنجر السكر المُغلفة بطبقة من المواد المختلفة، وهذا أساسًا لحماية الشتلة من الأمراض والآفات.

الفلقة (Cotyledon)

هي أول ورقتين تظهران من البذرة بعد البَذر.

شكل 3

زراعة بنجر السكر. **(A)** تُبذر بذور بنجر السكر (الموضحة هنا في شكل حبوب، وهي بذور مُغلفة أساسًا بمواد لحماية الشتلة من الأمراض والآفات) على التوالي في فصل الربيع. **(B, C)** ظهور شتلات بنجر السكر ونموها. **(D)** عندما تتفتح تسع أوراق أو أكثر، يتشكّل جذر وتدي وينمو تحت الأرض. ويجب السيطرة على الطفيليات الفطرية تحديدًا أثناء «فترة النمو» المشار إليها، لأنها قد تمنع عملية التمثيل الضوئي. **(E)** يُحصد البنجر ابتداءً من شهر سبتمبر في أوروبا الغربية والوسطى. **(F)** يُخزن البنجر في كومة تُسمى المشبك على حدود الحقل، حتى نقلها إلى المصنع لاستخراج السكر منها. وعلى طول الجزء السفلي، يمكنك رؤية خطوات زراعة بنجر السكر لإنتاج السكر والفترة الزمنية المُستغرقة في زراعته، وهو أمر مهم للغاية لحماية بنجر السكر من الأعشاب الضارة والحشرات والطفيليات الفطرية.

داكنة دائرية صغيرة ذات حدود ضاربة إلى الحمرة، لكن الفطر ينتج مادة سامة تدمر أنسجة الأوراق وينتهي بها الأمر بقتل مساحات كبيرة أو حتى أوراق كاملة. ويتغذى الفطر على النسيج الميت [3]. ويمكن الحد من المرض بزراعة بنجر السكر كل 3 أعوام فقط وزراعة نباتات أخرى مثل الحبوب في السنوات التي تتخللها [3]. وتُسمى هذه التقنية بتناوب المحاصيل. ويمكن للمزارعين أيضًا استخدام أنواع جديدة من بنجر السكر قادرة على تحمل فطر سركسبورا وتحمل المرض بصورة أفضل [3]. وإذا كان الفطر قد هاجم بالفعل بنجر السكر بشدة، فيمكن رش مبيدات الفطريات، وهي مواد كيميائية تحمي النباتات من إصابة الفطريات.

ويدرس الباحثون تقنيات جديدة لتقليل استخدام مبيدات الفطريات. فباستخدام الكاميرات وأنظمة الكمبيوتر، يمكن التنبؤ بأمراض النباتات في وقت أبكر مما يمكن التنبؤ به بالعين المجرد، ويستطيع المزارعون استخدام مبيدات الفطريات واستهداف الفطريات بدقة أكبر [4]. وتتجلى أهمية هذا أيضًا في حماية الحيوانات النافعة، التي يقع موطنها في حقول بنجر السكر، مثل الزقزاق والطيور الأخرى التي تعشش على الأرض، والأرانب البرية والأرانب والحشرات مثل الخنافس، والدعسوقة. غير أن بنجر السكر لا يزهر عند زراعته بهدف إنتاج السكر، وبالتالي فإن حقول بنجر السكر ليست جاذبة لنحل العسل أو النحل الطنان.

الحصاد واستخراج السكر

وعندما تتوقف النباتات عن النمو في فصل الخريف، يبدأ الحصاد. وتُزال أوراق بنجر السكر ويُرفع البنجر من التربة باستخدام آلات حصاد البنجر، التي يمكن للكثير منها حصاد ستة صفوف في آنٍ واحد (شكل 3E). وتظل الأوراق في الحقل لتؤدي دور السماد الطبيعي. ويُجمع قصب السكر الجاهز للتصنيع في كومة تُسمى مشبك البنجر (شكل 3F). ويُحصد بنجر السكر تدريجيًا ويُنقل إلى المصانع بحيث تواصل المصانع استقبال بنجر السكر وتصنيعه في هذه الأثناء. ويُستخرج السكر في المصانع من البنجر باستخدام الماء والجير والحرارة والفيزياء. ويحتاج إنتاج 1 كغ من السكر (2.2 رطل) -وهي مساحة محصول تبلغ 1م^2 - من ست إلى سبع بنجرات سكر في المتوسط.

مشبك البنجر (Beet clamp)

هي كومة من بنجر السكر المُجمع منزوع الأوراق، وتتواجد عادةً على حدود الحقل.

وتُستخدم تقريبًا جميع مكونات نبات بنجر السكر حاليًا ضمن دائرة مستدامة ومغلقة. فإضافةً إلى السكر، ثمة منتجات أخرى مصنوعة من بنجر السكر منها الأعلاف الحيوانية والإيثانول الحيوي والغاز الحيوي.

ماذا تعلمنا في هذا المقال؟

تعلمنا في هذا المقال الكثير عن بنجر السكر: كيفية زراعته وكيفية إنتاجه للسكر والآفات والأمراض التي يُصاب بها وكيفية حصاده. ولزراعة بنجر السكر أهمية بالغة لأنها توفر 32% من المحصول الوحيد الذي يحتوي على نسبة عالية من السكروز الذي يمكن زراعته في المناطق ذات المناخ المعتدل.

إقرار

يتوجه المؤلفون بالشكر لماكسيميليان مولندر على تدقيقه اللغوي الدقيق للمقال وتعليقاته المفيدة.

المراجع

1. Eberhard, S., Finazzi, G., and Wollman, F.-A. 2008. The dynamics of photosynthesis. *Annu. Rev. Genet.* 42:463–515. doi: 10.1146/annurev.genet.42.110807.091452
2. Cousens, R. 1985. A simple model relating yield loss to weed density. *Ann. Appl. Biol.* 107:239–52. doi: 10.1111/j.1744-7348.1985.tb01567.x
3. Weiland, J., and Koch, G. 2004. Sugarbeet leaf spot disease (*Cercospora beticola* Sacc.). *Mol. Plant Pathol.* 5:157–66. doi: 10.1111/j.1364-3703.2004.00218.x
4. Mahlein, A.-K., Kuska, M. T., Behmann, J., Polder, G., and Walter, A. 2018. Hyperspectral sensors and imaging technologies in phytopathology: state of the art. *Ann. Rev. Phytopathol.* 56:535–58. doi: 10.1146/annurev-phyto-080417-050100

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 12 مايو 2023

المحرر: Dominik K. Großkinsky

'مرشدو العلوم': Oscar Fernandez

الاقتباس: Mahlein A-K و Kuska MT, von Tiedemann S (2023) كيف يتم إنتاج سكر المائدة من البنجر؟ Front. Young Minds
doi: 10.3389/frym.2020.00108-ar

مُترجَم ومقتبس من: Kuska MT, von Tiedemann S and Mahlein A-K (2020) How Table Sugar Is Produced From Sugar Beets. Front. Young Minds 8:108. doi: 10.3389/frym.2020.00108

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 © 2020 © 2023 Mahlein و Kuska, von Tiedemann.
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

NICOLAS, العمر: 9
لقد ترعرعت في إسبانيا ولكنني أعيش الآن في فيينا. ويمكنني تحدث الألمانية والإنكليزية والإسبانية. ومادتي المفضلة في المدرسة هي الرياضيات ورياضتي المفضلة هي كرة القدم.

المؤلفون

MATHEUS THOMAS KUSKA
أنا عالم أحياء شغوف متخصص في النباتات والميكروبات، لذلك فأنا أستمتع تحديدًا بدراسة كيفية عيشها معًا، لتعزيز معرفتنا بحماية النباتات والزراعة المستدامة. لذلك، أستخدم الآلات والكاميرات وأجهزة الكمبيوتر الحديثة لتحليل أمراض النباتات وآفاتها في الدفيئات والحقول. وفي وظيفتي الحالية في الغرفة الزراعية بولاية شمال الراين وستفاليا، أدرس أنا وفريقي الزراعة المستدامة لتأمين إنتاج كافٍ من المحاصيل بأقل إجهاد بيئي ممكن. ونقدم أيضًا خدمة استشارية لإتاحة النتائج التي نتوصل إليها للمزارعين. matheus.kuska@lwk.nrw.de*

SABINE VON TIEDEMANN
بصفتي مهندسة زراعية، تعاملت مع نماذج التنبؤ في زراعة الحبوب والمسائل المتعلقة بأمراض النباتات في زراعة الكروم والغابات. وأعمل حاليًا في مجال زراعة بنجر السكر في معهد بحوث بنجر السكر، حيث أدرّس أيضًا الكتابة العلمية وأستمتع بتقسيم الموضوعات المعقدة حتى يتسنى للطلاب فهمها.

ANNE-KATRIN MAHLEIN
أدرس تفاعلات النباتات ومسببات الأمراض وطرق تصور التفاعلات المعقدة التي تحدث داخل النباتات باستخدام أجهزة استشعار بصرية وتقنيات رقمية. وأضطلع أنا وفريقي في معهد بحوث بنجر السكر بمسؤولية تطوير ممارسات مبتكرة لزراعة بنجر السكر. ويأخذ هذا في الاعتبار جميع جوانب إنتاج بنجر السكر وسكر المائدة، مثل تكوين المحصول والجودة والأمراض التي تصيب النباتات وحمايتها منها. ومن ثم، فنحن نستخدم آلات حديثة وأجهزة استشعار وروبوتات وأدوات تحليل ودراسات ميدانية ومختبرية.

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية
King Abdullah University of Science and Technology