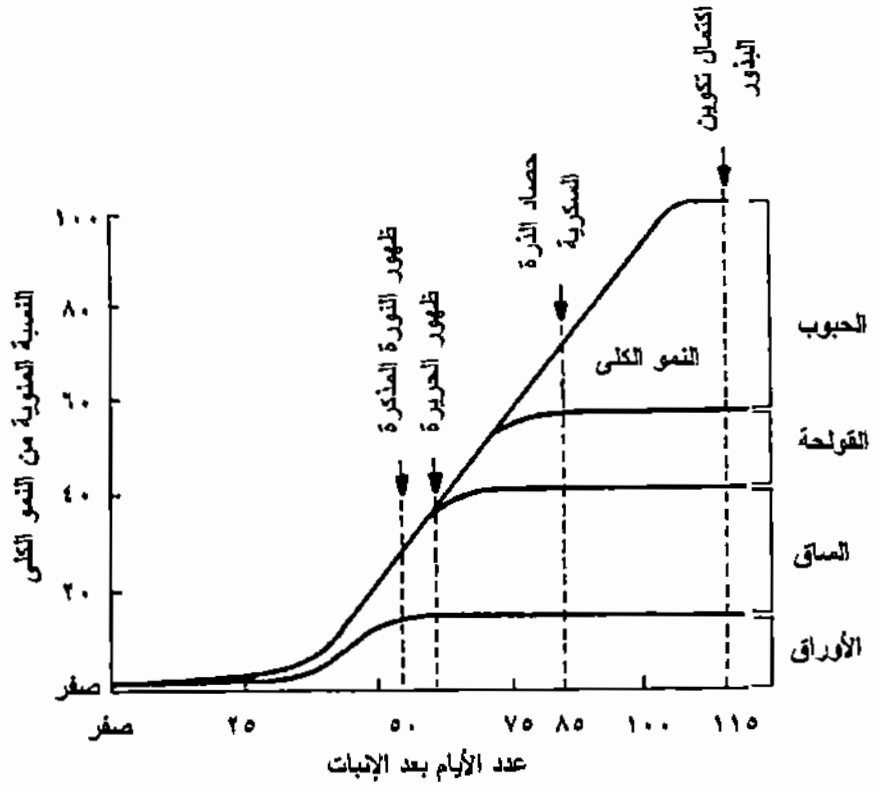

شكل (٨-١): مراحل نمو نبات الذرة.

صفات الجودة وتأثرها بطفرات الإندوسبرم

الطراوة والنعومة

تتوقف درجة طراوة ونعومة (tendrness) حبوب الذرة السكرية على سمك طبقة الغلاف الثمرى الخارجى pericarp الذى يحيط بالبذرة؛ حيث توجد علاقة عكسية بينهما؛ فتزيد الحبة نعومة كلما رقّ الغلاف الثمرى الخارجى. هذا .. بينما يعمل الغلاف كعائق أمام مسببات الأمراض التى تحدث أعفانًا بالكيزان أو الحبوب، وتبطئ جفاف الحبة وفقدانها للرطوبة. ويعتبر الغلاف الثمرى الخارجى نسيجًا أميًّا، ويعد الغلاف السميك صفة وراثية كمية، ذات درجات متفاوتة من السيادة على صفة الغلاف الرقيق. وقد وجد كل من Tracy & Galinat (١٩٧٨) -- من دراستهما على ٣٦ صنفًا من

الذرة السكرية – أن سمك هذه الطبقة تراوح من ٥٠–١٨٥ ميكرونًا، وأن عدد طبقات خلاياه تراوحت من ٥–٢٢ طبقة، كما وجدا ارتباطًا عاليًا (ر=٠,٩٣) بين الصفتين.

النشا والسكريات

يخزن الغذاء في إندوسبرم حبة الذرة على صورة سكريات ونشا. ويعد سكر السكروز أهم السكريات المخزنة، مع تواجد تركيزات أقل من كل من الجلوكوز، والفراكتوز، والمالتوز. أما النشا فإنه يتكون من الأميلوز والأميلوبكتين اللذان يتواجدان بنسبة ١:٣ عادة في الذرة الشامية، بينما نجد في الذرة السكرية أن تلك النسبة تختلف من صنف لآخر، فضلاً عن تدنى نسبة النشا بصورة عامة في حبوب الذرة السكرية مقارنة بنسبته في الذرة الشامية.

الطفرة sugary (su1)

بينما يتواجد الجين Su1 الذى يتحكم فى صفة الحبوب النشوية بحالة سائدة أصيلة (Su1/Su1) فى الذرة الشامية، فإن الطفرة المتنحية su1 توجد بحالة أصيلة (su1/su1) فى الذرة السكرية. ولذا .. فإن حبوب الذرة الشامية تحتزن النشا بكميات تزيد كثيرًا عما فى الذرة السكرية التى تختزن – بدورها – السكريات بكميات تزيد كثيرًا عما فى الذرة الشامية. ويسمح الجين su1 عند وجوده بحالة أصيلة بتخزين السكر بنسبة تصل إلى ١٥٪، والمركبات عديدة التسكر كثيرة التفرع التى تذوب فى الماء (وهى الفيتوجليكوجين phytoglycogen) بنسبة تصل إلى ٣٥٪ على أساس الوزن الجاف، علمًا بأن للفيتوجليكوجين أهمية كبيرة فى إكساب حبة الذرة السكرية قوامها الكريمى. يتكون الفيتوجليكوجين من جزيئات جلوكوز ترتبط بعضها ببعض بروابط α-D-(1,4)، مع روابط α-D-(1,6) عند نقاط التفرع.

ومن التأثيرات الأخرى للجين su1 إبطاء تحول السكر إلى نشا. ونجد فى الذرة السكرية أن محتوى الحبة من النشا يزداد ببطء مع تقدمها فى التكوين، ولكن يبقى محتوى النشا بالحبة ثابتًا بعد حوالى ٢٠ يومًا، بينما تستمر زيادة النشا فى الذرة الشامية إلى مستويات أعلى بكثير تصل إلى ٧٥٪ على أساس الوزن الجاف. وبسبب انخفاض محتوى حبة الذرة السكرية من النشا فإنها تكون مجعدة ونصف شفافة نوعًا

ما عند جفافها (عن Rubatzky & Yamaguchi ١٩٩٩). هذا .. إلاّ أن الذرة السكرية الأصيلة فى الجين su1 تتعرض لسرعة فقد جودتها بعد الحصاد بسبب سرعة تحول السكريات فيها إلى نشا وسرعة فقدها للرطوبة.

وبينما تحتوى حبوب الذرة السكرية الأصيلة فى الجين su1 – عند النضج – أى عندما تكون فى المرحلة المناسبة لحصاد محصول البذور – على ضعف تركيز السكريات، و ٨–١٠ أضعاف تركيز الفيتوجليكوجين الذى يوجد بحبوب الذرة الشامية التى تحتوى على الآليل السائد Su1، فإن الحبوب الناضجة من الذرة السكرية تحتوى على حوالى ٥٠٪ من حبوب الذرة الحقلية – الناضجة – من النشا.

ويبين جدول (٨–١) التغيرات التى تحدث فى محتوى حبوب الذرة السكرية العادية (su1) فى كل من النشا ومختلف السكريات أثناء النضج.

جدول (٨–١): التغيرات التى تحدث فى النشا ومختلف السكريات بحبوب الذرة السكرية أثناء النضج.

عدد الأيام بعد ظهور الحريرة	السكريات الكلية (٪)	السكريات المختزلة (٪)	السكريات غير المختزلة (٪)	النشا (٪)
٥	٣,٨١	٣,٠٧	٠,٧٤	١,٣٨
١٠	٤,٣٧	٢,٧٣	١,٦٤	١,٨٢
١٥	٥,٣١	١,٤٩	٣,٨٢	٩,١٢
٢٠	٣,٩٥	١,٠٦	٢,٨٩	١٦,٨٢
٢٥	٣,٠٢	٠,٧٥	٢,٢٧	٢١,٧٦
٣٠	٢,٦٨	٠,٦١	٢,٠٧	٢٤,٩٧

الطفرة sugary enhancer (se1)

يعد الجين sugary enhancer (se1) محوّرًا متنحيًّا لطفرة الإندوسبرم su1، وهو يقع فى الجزء الطرفى من الكروموسوم رقم ٢. اكتشف الجين se1 أول مرة فى سلالة الذرة الشامية المرباة داخليًّا IL677A، وهى التى استعملت فى برامج تربية الذرة السكرية فى

ولاية إلينوى الأمريكية. كانت حبوب هذه السلالة (su1 se1) عالية المحتوى من السكر، وتميزت عن التراكيب الوراثية الأخرى بارتفاع محتواها من المالتوز عند مرحلة النضج المناسبة للحصاد. وقد اتضح – فيما بعد – أن ارتفاع محتوى حبوب هذه السلالة من المالتوز كان صفة خاصة بها، لا ترتبط بالجين se1، الذى تبين بعد نقله إلى سلالات أخرى أنه لم يؤثر فيها على محتوى المالتوز بالحبوب.

يعد الجين se1 محورًا للجين sugary (أو su1)، وهو يزيد جوهريًا من محتوى الحبة من السكريات؛ بما يعنى إمكان إجراء الحصاد على مدى فترة زمنية أطول دون توقع فقد كبير فى السكر. ولا تكون زيادة السكريات فى وجود الجين se1 على حساب محتوى الحبوب من الفيتوجليكوجين. ويكون تحول السكر إلى نشا فى الأصناف التى تحمل الجين se1 بنفس معدل تحوله فى الأصناف العادية su1، ولكن بسبب زيادة محتواها الابتدائى من السكر .. فإن الأصناف الـ se1 تبقى حلوة لفترة أطول.

عند تواجد الجين se1 بحالة أصيلة فإنه يؤدى إلى زيادة محتوى السكر فى الحبوب الـ su1 إلى مستويات مقاربة لتلك التى تتواجد فى الحبوب الـ sh2 (انظر العنوان التالى)، دون أن يحدث نقصًا فى تركيز الفيتوجليكوجين كما أسلفنا. وبذا .. فإن الحبوب الـ su1 se1 تجمع – عند الحصاد – بين خصائص القوام المرغوب فيها التى يتميز بها الذرة الـ su1، مع زيادة محتوى السكر إلى المستوى الذى يوجد فى الطراز الـ sh2. هذا إلاّ أن تحول السكر فيها إلى نشا بعد الحصاد لا يكون بطيئًا كما فى الطراز الـ sh2. ولذا .. فإن صلاحية الطراز الـ se1 للتخزين تكون أكبر من الطراز الـ su1، ولكن أقل من الطراز الـ sh2 (Wolfe وآخرون ١٩٩٧).

الطفرة shrunken2 (sh2)

يقع الجين sh2 على الذراع الطويل للكروموسوم رقم ٣، وهو يتسبب فى وقف تحول السكروز إلى نشا ومركبات أخرى عديدة التسكر ذائبة فى الماء. ومقارنة بالذرة السكرية العادية (su1 su1) .. فإن السكروز يتراكم فى الحبوب الأصيلة فى الجين sh2 بمقدار ضعفين إلى ثلاثة أضعاف بعد ٢٠ يومًا من التلقيح، وتحتفظ الحبوب بمحتواها المرتفع من السكر وبرطوبتها لفترة أطول بعد الحصاد. أما حبوب sh2 الناضجة الجافة فإنها تحتوى – مقارنة بحبوب الذرة السكرية العادية الجافة – على حوالى ضعف محتوى

السكريات الكلية، ونحو ٣٣–٥٠٪ من محتوى النشا، وعلى آثار من الفيتوجليكوجين. ويعد ضعف نشاط الإنزيم ADP-glucose pyrophosphorylase فى هذه الطفرة السبب الرئيسى فى ارتفاع محتوى حبوبها من السكروز، وانخفاض محتواها من النشا (عن Wolfe وآخرين ١٩٩٧).

ومع ارتفاع محتوى حبوب الطفرة sh2 من السكر، حيث يصل إلى حوالى ٥٠٪ من الوزن الجاف للحبة – وخاصة محتوى السكروز الذى يزداد كثيرًا – إلاّ أن ذلك يكون مصاحبًا بنقص فى محتوى الحبة من الفيتوجليكوجين. كذلك يعمل الجين sh2 على تقليل معدل تحول السكر إلى نشا بشدة عما فى الطراز العادى su1. وكما فى حالة الـ se1 .. فإن الزيادة الابتدائية فى محتوى الحبوب الـ sh2 من النشا تجعلها مناسبة للحصاد على مدى فترة زمنية أطول.

ومع افتقار بذور الـ sh2 كثيرًا إلى النشا، فإن إندوسبرم البذور المكتملة التكوين يكون منكمشًا. وكما هو متوقع .. فإن إنبات تلك البذور والمراحل الأولى لنموادراتها تتطلب عناية خاصة. ويتعين زراعة البذور الـ sh2، والـ se1 سطحية وفى تربة دافئة لتحفيز إنباتها.

الطفرات الإندوسبرمية الأخرى والمقارنة بين الطفرات

يوضح جدول (٨–٢) مقارنة بين الطفرات الثلاث الرئيسية (التى أسلفنا بيانها) فى خصائص الإندوسبرم.

جدول (٨–٢): خصائص طفرات الإندوسبرم فى الذرة السكرية.

الطفرة	مدة الاحتفاظ بالحلاوة[أ] (يوم)	التركيز التقريبى للسكر[ب] (٪)	قوام الإندوسبرم	قوام الغلاف الثمرى الخارجى
su1	حلو (١–٢)	٨–١٨	كريمى	رقيق
se1	حلو جدًا (٤)	١٥–٤٠	كريمى	رقيق جدًا
sh2	شديد الحلاوة (١٠)	٢٠–٥٠	أقل كريمية	متوسط الرقة إلى صلب

أ – مدة الاحتفاظ بالحلاوة عند التخزين فى حرارة صفر–٥°م، ورطوبة نسبية ٩٥٪.

ب – نسبة السكر التقريبية بعد ٢٢ يومًا من التلقيح.

وتتأثر صفات جودة الإندوسبرم - كذلك - بكل من الطفرات التالية:

الطفرة	رمز الطفرة
brittle-1	bt1
brittle-2	bt2
amylose extender	ae1
dull	du1
waxy	wx1

يوقف الجين sh2 تمثيل النشا بالتأثير فى الإنزيم ADPG pyrophosphorylase. وتكون بعض الأصناف التى تحمل جينا الإندوسبرم bt1، و bt2 أكثر قدرة على النمو فى الحرارة العالية بالمناطق الاستوائية. ويعمل الجين ae1 على زيادة نسبة الأميلوز إلى الأميلوبكتين فى نشا الإندوسبرم. أما الطفرة wx1 فإنها تتحكم فى جعل كل النشا - تقريبًا - أميلوبكتين. ويؤثر الجين du1 على نسبة السكر إلى النشا فى الإندوسبرم. هذا .. وقد يحتوى الصنف الواحد على أكثر من واحدة من تلك الطفرات (عن Rubatzky & Yamaguchi ١٩٩٩).

وقد درس Lee وآخرون (١٩٩٩) التغيرات التى تحدث فى السكريات، والمواد الصلبة الذائبة، والطعم فى حبوب الذرة السكرية العادية صنف Golden Cross Bantam 70، مقارنة بما يحدث فى الذرة الفائقة الحلاوة صنف Coctail E-51، ووجدوا ما يلى:

١ - كان السكروز هو السكر الرئيسى فى كل من الذرة السكرية العادية والذرة فائقة الحلاوة وقد ازداد تركيزه بين اليوم الخامس عشر والحادى والعشرين، وبين اليوم الخامس عشر والسابع والعشرين من ظهور الحريرة فى الطرازين على التوالى، ثم انخفض.

٢ - انخفض تركيز الجلوكوز والفراكتوز فى كل من الذرة السكرية والذرة الفائقة الحلاوة مع نضج الحبوب.

٣ - كان تركيز المواد الصلبة الذائبة فى حبوب الذرة السكرية أعلى بكثير مما فى حبوب الذرة الفائقة الحلاوة.

٤ – ازداد محتوى النشا فى حبوب الذرة السكرية ببطء من اليوم الخامس عشر حتى اليوم الثالث والثلاثين من ظهور الحريرة، بينما كانت الزيادة فى محتوى النشا فى حبوب الذرة الفائقة الحلاوة سريعة بين اليوم الخامس عشر واليوم الحادى والعشرين بعد ظهور الحريرة، ثم ثبت المحتوى بعد ذلك حتى اليوم الثالث والثلاثين.

٥ – كانت درجة الطعم أفضل ما يمكن بين اليومين الحادى والعشرين والسابع والعشرين فى كل من الذرة السكرية والذرة الفائقة الحلاوة.

تقسيم الطرز الصنفية حسب محتواها من الطفرات

تقسم أصناف الذرة السكرية حسب محتواها من الطفرات الإندوسبرمية إلى ثمانية طرز، كما يلى:

١ – الطراز التقليدى traditional، أو السكرى sugary، أو العادى normal، أو القياسى standard:

يكون هذا الطراز أصيلاً فى الجين su1، ويكون محتواه من السكر عاديًّا. تكون قدرته على التخزين بعد الحصاد قليلة بسبب سرعة تحول السكر فى الحبوب إلى نشا. تتميز حبوبه – عند الزراعة بقوة النمو والقدرة العالية على الإنبات. تتميز الحبوب بطعمها الكريمى. يستعمل فى كل من التصنيع، والتسويق الطازج المباشر (محلات السوبر ماركت) وغير المباشر (من خلال أسواق الجملة).

٢ – الطراز السكرى المحفَّز sugary enhanced، أو SE، أو EH:

يكون هذا الطراز أصيلاً فى الجين su1، وأصيلاً أو خليطًا فى الجين se1، ويكون محتواه من السكر أعلى بدرجة متوسطة عن محتوى الطرز su1. تكون قدرته على التخزين أعلى قليلاً عن قدرة الطرز su1 بسبب احتواء حبوبه على رصيد أكبر من السكر، الذى تلزمه فترة أطول لكى يتحول إلى نشا. تتميز حبوبه بالطعم الممتاز والقوام الغض. تكون قوة البذور فى بعض أصنافه أقل مما فى الطراز إلى su1، كما يمكن أن تضار الكيزان بسهولة عند الحصاد. يناسب التسويق الطازج المباشر.

٣ – الطراز الفائق الحلاوة supersweet، أو الـ shrunken، أو الـ sh2:

يكون هذا الطراز أصيلاً فى الجين المتنحى sh2، ويكون محتواه من السكر عاليًا إلى

عال جدًّا. تكون قدرته على التخزين عالية بسبب ارتفاع محتوى حبوبه من السكر، وبطء تحول السكر فيها إلى نشا. وعلى الرغم من أن حبوبه شديدة الحلاوة فإنها تفتقد طعم "الذرة" بسبب إعطاءها لصوت طاحن عند مضغها (تكون crunchy). يعد إنبات البذور عند زراعتها وقوة نمو البادرات بعد الإنبات من أكبر مشاكل هذا الطراز، وخاصة فى الأراضى الباردة. لا بد من عزل هذا الطراز عن كل من الطرازين su1، و se1. يزرع على نطاق واسع لأجل التسويق الطازج غير المباشر.

٤ – الطراز التداوبى synergistic، أو الـ sweet gene:

يكون هذا الطراز أصيلاً فى كل من الجينين su1، و sh2، ويكون محتواه من السكر متوسطًا إلى عاليًا. تكون قدرته على التخزين أعلى قليلاً من قدرة الطراز su1. لا يتوفر منه سوى أصناف قليلة جدًّا، ولا يتطلب اشتراطات العزل التى يتطلبها الطراز sh2.

٥ – طراز الـ sweet breed:

يكون هذا الطراز أصيلاً فى الجين su1 وخليطًا فى كل من الجينين sh2، و se1، ويكون محتواه من السكر متوسطًا إلى عاليًا. تكون قدرته على التخزين أعلى قليلاً من قدرة الطراز su1. وهو يتماثل مع الطراز synergistic، ولكن مع بعض التحسن فى الصفات التى يتحكم فيها الجين se1.

٦ – الطرز الفائق الحلاوة المحسن improved supersweet:

يكون هذا الطراز أصيلاً فى الجين sh2 وخليطًا فى الجين su1، ويكون محتواه من السكر عاليًا إلى عال جدًّا. تكون قدرته على التخزين عالية. لا يتوفر منه سوى القليل جدًّا من الأصناف. تتميز حبوبه بطعم "الذرة" الذى لا يتوفر فى الطراز sh2. تتواجد به مشاكل الإنبات واحتياجات العزل مثل الطراز sh2.

٧ – الطراز ADX:

يكون هذا الطراز أصيلاً فى الجينات المتنحية ae، و du، و wx، ويكون محتواه من السكر متوسطًا إلى عاليًا. تكون قدرته على التخزين عالية. لا تتوفر منه سوى أصناف قليلة، ويجب عزله عن جميع الطرز الأخرى.

٨ – الطراز brittle:

يكون هذا الطراز أصيلاً فى الجين المتنحى bt2، ويكون محتواه من السكر متوسطًا إلى عاليًا. تكون قدرته على التخزين عالية. لا تتوفر منه سوى أصناف قليلة، ويجب عزله عن جميع الطرز الأخرى (Wolfe وآخرون ١٩٩٧).

التأثيرات الفسيولوجية لحبوب لقاح الطفرات المختلفة على صفات الإندوسبرم

تتطلب الأصناف التى تحمل الجينات su1، و sh2، و se1 عزلاً عن مصادر حبوب اللقاح الغريبة التى تحمل الآليل السائد لأى منها لكى لا تحدث تأثيرات سلبية على خصائص إندوسبرم الحبوب من خلال ظاهرة الزينيا. ولا تقل مسافة العزل عن ٧٥م عند إنتاج المحصول التجارى وعن ٢٠٠م عند إنتاج محصول البذور.

ويبين جدول (٨–٣) التأثير الفسيولوجى لمختلف الطفرات على صفات الإندوسبرم فى الطفرات الأخرى.

جدول (٨–٣): تأثر صفات الإندوسبرم من الطرز المختلفة بحبوب اللقاح الغريبة.

التركيب الوراثى للأم	التركيز الوراثى للأب (حبوب اللقاح)			
	الذرة الشامية	الذرة السكرية		
	su1	su1	se1	sh2
Su1	نشوى	نشوى	نشوى	نشوى
su1	نشوى	حلو	ينعزل بنسبة ١:٢:١	أقل نشوية
se1	نشوى	مستوى حلاوة su1	حلو	نشوى
sh2	نشوى	نشوى	نشوى	حلو

المركبات المسئولة عن النكهة

يعتبر المركب العطرى داى مثيل سلفيد dimethy sulfide هو المركب الرئيسى المسئول عن النكهة المميزة للذرة السكرية. وفى وجود هذا المركب مع السكريات والمركبات عديدة التسكر القابلة للذوبان فى الماء تكتسب الذرة السكرية مذاقها الخاص.