الفسيولوجى

تكوين الجذور المتدرنة

أظهرت دراسات Bukhov وآخرون (١٩٩٦) أن جذور الفجل المتدرنة تكونت عندما نميت النباتات فى ضوء أزرق، بينما لم تتكون عندما كان نمو النباتات فى ضوء أحمر، وهو الذى أدى إلى زيادة نمو أعناق الأوراق. وقد تبين أن مستويات كلا من إندول حامض الخليك، والزياتين zeatin + الزياتين ريبوزايد zeatin riboside كانت أعلى بمقدار عدة أضعاف فى جذور النباتات التى نمت فى الضوء الأزرق مقارنة بمحتواها فى جذور تلك التى نمت فى الضوء الأحمر. وقد اقترح الباحثون أن تلك الهرمونات تهئ جذور النباتات النامية فى الضوء الأزرق لجذب الغذاء المجهز إليها.

الإزهار

أوضح كل من Banga & Smeets منذ عام ١٩٥٦ (عن Piringer ١٩٦٢) أن الإزهار واستطالة الشماريخ الزهرية تحدثان فى أصناف الفجل الحولية (المبكرة) عند زيادة طول النهار، وليس للحرارة المرتفعة أى دور فى هذا الشأن. ولكن نظرًا لأن زيادة طول النهار صيفًا يصاحبها - عادة - ارتفاع فى درجة الحرارة؛ لذا .. كان الربط الظاهرى بين الحرارة المرتفعة والإزهار. أما الأصناف المتأخرة اليابانية، والصينية (ذات الحولين) .. فإنها تحتاج إلى التعرض للحرارة المنخفضة؛ حتى تتهيأ للإزهار.

وقد وجد أن التعرض للفترة الضوئية الطويلة (٨ ساعات إضاءة عادية + ٨ ساعات إضاءة ضعيفة) يحفز تمثيل الجبريللين، بينما لا يحدث ذلك فى معاملة التعرض للبرودة (٥°م لمدة ٢٠ يومًا). وقد اتجهت نباتات الفجل نحو الإزهار لدى تعريضها للحرارة المنخفضة ثم إما تعريضها للفترة الضوئية الطويلة وإما رشها بالجبريللين بتركيز ٠,٠٠١ مولار؛ مما يعنى أن كلا من التعرض للحرارة المنخفضة وتنشيط تمثيل الجبريللين فى النهار الطويل يلزمان للإزهار. وقد كان تركيز الجبريللين فى سيقان النباتات التى اتجهت نحو الإزهار أعلى بمقدار ١-٢ ضعف عما فى سيقان النباتات غير المزهرة (Nakayama وآخرون ١٩٩٥).

الارتباع

أوضح Nomura وآخرون (١٩٩٩) أن تعريض نباتات الفجل لحرارة ٥-١٠°م يلعب دورًا مباشرًا فى تكوين البراعم الزهرية، ولكن تلك الحرارة لم تكن كافية لكى تبدأ النباتات فى الحنبطة والإزهار. وقد أدى تعريض النباتات بعد ذلك لحرارة ١٥°م إلى نمو ثماريخها الزهرية (حنبطتها) بنسبة ١٠٠٪.

وقد انخفض عدد الأوراق التى تكونت تحت مستوى النورة، وقصرت الفترة التى مرت قبل تفتح الأزهار بزيادة طول فترة الارتباع على ٦,٥°م من صفر إلى ١٥ يومًا، وذلك فى جميع الأصناف التى اختبرت. وفى حرارة ١٨°م - بدون ارتباع - مع فترة ضوئية طويلة أزهرت الأصناف: Early 40 Days، و Everst، و Minowase Early Long و White، بينما لم يزهر الصنف Chinese Radish Jumbo Scarlet الذى بدا أن له احتياجات ضرورية من البرودة لكى يتهيأ للإزهار، وقد تراوحت تلك الاحتياجات بين ٥، و ١٠ أيام على حرارة ٦,٥°م.

إزالة أثر الارتباع

أدى تعريض نباتات من الفجل اليابانى لحرارة ٣٠°م لمدة ثمانى ساعات بعد تعريضها لمعاملة الارتباع vernalization (٥°م لمدة ١٦ ساعة) إلى إزالة كل أثر لمعاملة الارتباع (أى حدث لها devernalization)، ولكن هذا التأثير (إزالة أثر الارتباع) لم يشاهد حينما كانت النباتات قد تم ارتباعها بالكامل، حيث اقتصر حدوثه على النباتات التى كان ارتباعها جزئيًا تحت ظروف إضاءة عالية مثل ٣٠ كيلو لكس (عن Etoh ١٩٩٤).

وقد وجد Sheen (٢٠٠٠) أن الارتباع الكامل لنباتات الصنف الصينى Ma-Mei-Fura تتطلب التعرض لحرارة ٥°م لمدة ٢٠ يومًا، بينما أدى تعريضها لحرارة ٥°م لمدة ١٠ أيام فقط إلى ارتباعها جزئيًا فقط. وعندما اختلفت الحرارة بين النهار والليل خلال فترة الارتباع .. فإن حرارة النهار الأعلى ألغت تأثير الارتباع لحرارة الليل المنخفضة، وحدث ذلك عندما ارتفعت حرارة النهار إلى ٢٠°م أو ٣٠°م. وبعد فترة من التعرض للبرودة المستمرة فإن التعرض للحرارة العالية بعد ذلك - سواء أتم بصورة متقطعة نهارا

فقط أم تم بصورة مستمرة ليلاً ونهارًا – لم يلغ أثر الارتباع الذى أحدثه التعرض للحرارة المنخفضة قبل ذلك. وقد ارتبط الارتباع بارتفاع محتوى السكر فى النبات، وارتبط إلغاء أثر الارتباع – بفعل الحرارة العالية – بانخفاض مستوى السكر.

دور منظمات النمو فى الإزهار

أدى نقع بذور الفجل فى محلول حامض الأبسيسك abscisic acid بتركيز ٥٠ جزءًا فى المليون أو رشها بالمنظم ذاته بتركيز ٢٥٠ جزءًا فى المليون إلى منع اتجاهها نحو الإزهار حتى عندما حصلت البادرات على معاملة الارتباع، وكانت معاملة نقع البذور أكثر كفاءة – فى هذا الشأن – عن معاملة رش البادرات (Amagasa وآخرون ١٩٩٣).

وقد دُرس تأثير معاملة نباتات الفجل التى تهيأت للإزهار (بتعريض البادرات بعد الزراعة بعشرة أيام لحرارة ٥°م لمدة ١٠–٤٠ يومًا فى إضاءة ٨ ساعات ثم بعد ذلك تعريضها لإضاءة ١٦ ساعة) .. دُرس تأثير معاملة هذه النباتات بكل من اليونيكونازول uniconazole (بمعدل ١٠٠ مل/أصيص بعد ٧ أيام من الزراعة)، وحامض الجبريلليك (بمعدل ٤٠ ميكروليتر للقمة النامية للنباتات كل ٣ أيام بداية من معاملة الفترة الضوئية التى كانت إما ١٦ ساعة أو ٨ ساعات بعد معاملة البرودة). أدت معاملة اليونيكونازول – وهو مثبط لتمثيل الجبريللين فى النبات – إلى منع نمو ساق النباتات بقوة وتأخير الإزهار، بينما عكست المعاملة بحامض الجبريلليك هذه التأثيرات كلية. وقد أظهر الفحص المجهرى للقمة الميرستيمية للنباتات أن معاملة اليونيكونازول أخرت الإزهار بتأخير التحول من الميرستيم الخضرى (الرفيع) إلى الميرتسيم الزهرى (العريض بشكل القبة dome-shaped) (Nishijima وآخرون ١٩٩٧). وقد ظهر أن الجبريللينات النشطة بيولوجيًا فى عملية الإزهار كانت GA_1، و GA_4. وتطلبت عملية الإزهار – بحث من الفترة الضوئية – تركيزًا عاليًا من الجبريللين الطبيعى. وقد استُدِل من تلك النتائج أن بالإمكان التحكم فى الإزهار المبكر بخفض تركيز الجبريللينات الطبيعية خلال الفترات الضوئية الطويلة المهيئة للإزهار (Nishijima ٢٠٠٠).

محتوى الجذور من أيون الثيوسيانات

يحتوى الفجل – كغيره من الصليبيات الأخرى – على مركبات الجلوكوسينولات

المنتجة لأيونات الثيوسيانات thiocyanates المسئولة عن الحرافة، والتى تؤدى - عند كثرة تناولها فى الغذاء - إلى تضخم الغدة الدرقية.

وقد قام Carlson وآخرون (١٩٨٥) بدراسة محتوى جذور ١٠٩ أصناف من الفجل، ووجدوا أن أكثر المركبات انتشارًا بها هو 4-methylthio-3-butenyl-glucosinolate، مع تواجد كميات قليلة من المركبات التالية:

4-methylsulfinylbutyl-glucosinolate

4-methylsulfinyl-3-butenyl-glucosinolate.

3-indolymethyl-glucosinolate

وقد وجد أن أكثر من ٨٠٪ من الأصناف الحمراء الأوروبية تحتوى جذورها على ١٠٠-١٩٩ ميكرومول من مركبات الجلوكوسينولات/١٠٠ جم، مقابل ١٠٠-٢٩٩ ميكرومول/١٠٠ جم فى جذور الأصناف الكورية، و ٢٠٠-٣٩٩ ميكرومول/١٠٠ جم فى جذور الأصناف الأمريكية.

كذلك وجد عند دراسة ١١ صنفًا من الفجل أن أكثر المركبات تواجدًا كان 4-methylthio-3-butenylisothiocyanate. وكان هذا المركب أعلى تركيزًا فى الأصناف اليابانية ذات الجذور الطويلة الرفيعة عما فى الأصناف الكورية ذات الجذور القصيرة السميكة، كما ازداد تركيز المركب فى طرف الجذر عما فى قمته أو عند الأكتاف، وفى القشرة الخارجية عما فى الأنسجة الداخلية. هذا .. ولم تؤثر الأسمدة - بما فى ذلك تلك التى تحتوى على الكبريت - على المحتوى الكلى للمركب بالنباتات. كذلك لم ينخفض تركيز المركب معنويًا فى الجذور التى خزنت فى مخازن باردة رطبة لمدة وصلت إلى شهرين (Lee وآخرون ١٩٩٦، و Coogan وآخرون ١٩٩٩).

محتوى الجذور من النترات

تختلف أصناف الفجل فى مدى استعدادها لتراكم النترات بأنسجتها، فمثلاً يزيد تراكم النترات كثيرًا فى الصنف Robijn عما فى الصنف Boy.

وقد ازداد تراكم النترات بأوراق جذور الفجل عندما نميت فى حرارة ١٨°م، وكذلك عندما نُميت فى حرارة ١٠°م ثم نقلت إلى ١٤ أو ١٨°م قبل حصادها بأحد عشر يومًا،

مقارنة بالنباتات التى نميت فى حرارة أقل من ذلك. وقد تلاشت الفروق بين الصنفين Robijn، و Boy فى محتوى أنسجتهما من النترات فى حرارة ١٨°م (Nieuwhof ١٩٩٤).

وأمكن خفض محتوى نباتات الفجل من النترات بزيادة معدل التسميد البوتاسيى بمقدار ٥٠٪ عن المعدل الموصى به، مع خفض معدل التسميد الآزوتى المعدنى بنسبة ٥٠٪ واستبداله إما بسماد حيوى، وإما بسماد عضوى. وجدير بالذكر أن محتوى النترات بالعصير الخلوى للنباتات كان أقل عندما أجرى الحصاد بعد الظهر مقارنة بالقيم التى حُصل عليها عندما كان الحصاد فى الصباح الباكر (Ahmed وآخرون ١٩٩٧).

العيوب الفسيولوجية

الجذور اللُبيّة (القلب الأجوف، أو تجوف، أو تخويخ الجذور)

تتميز الجذور اللُبيّة بتكوين مسافات هوائية فى مركز الجذر، تجعله فى نهاية الأمر إسفنجيًا، وجافًا، ومفرغًا.

وقد أوضحت دراسات Sun & Wang (١٩٩٨) أن ظاهرة تجوف الجذور ترتبط بقطر الجذور، حيث تزداد فى الجذور الزائدة النمو.

هذا إلاّ أن ظاهرة تجوف الجذور لا ترتبط بشيخوخة الجذور؛ إذ إن الجذور التى يتم حصادها لأجل التسويق التجارى وتظهر بها الظاهرة تكون مازالت نشطة فى نموها وقت حصادها، كما أنها تستمر فى نموها أثناء التخزين؛ فقد وجد Harris وآخرون (١٩٩٣) أن تخزين جذور الفجل من طراز دایاكون Daikon لمدة ٢٥ يومًا على حرارة ١°م ورطوبة نسبية ٩٠-٩٥٪ (فى محاكاة لظروف الشحن البحرى من أستراليا إلى اليابان) أن الجذور تحدث بها ظاهرة "التخويخ" حيث تصبح لبية pithy بسبب تكوين فراغات داخلية؛ مما يجعل الجذور غير صالحة للتسويق.

وتختلف أصناف الفجل فى مدى قابليتها للإصابة بظاهرة التجويف، ونجد فى الأصناف القابلة للإصابة ذات الأوعية الكثيفة أن ترسيب اللجنين يحدث عند انخفاض

النشاط الميرستيمى للخلايا البرانشيمية بسبب ارتفاع درجة الحرارة. ويمنع ذلك الخلايا البرانشيمية الكبيرة الحجم ذات الجدر الرقيقة من الانبعاج للئ الفراغات التى توجد بين الخلايا، ومن ثم تتجمع هذه الفراغات لتكون فجوات كبيرة. وعلى عكس ذلك نجد فى الأصناف التى تكون أوعيتها متفرقة بسبب النشاط الانقسامى النشط للخلايا البرانشيمية – حتى فى ظروف الحرارة العالية – نجد أن اللجنين نادرًا ما يترسب فى الخلايا المواجهة للمسافات البينية الصغيرة. ولأن هذه المسافات البينية تملأ باستمرار بخلايا برانشيمية حديثة التكوين، فإنها لا تتجمع معًا لتكون فجوات ظاهرة (Kano & Fukuoka ١٩٩٤).

وجدير بالذكر أن ظاهرة تجوف الجذور لا تقتصر على أصناف الفجل ذات الجذور الكروية فقط، فقد لوحظت الظاهرة كذلك – قبل الحصاد وبعده – فى الصنف Long White على سبيل المثال. وكما أسلفنا .. فإن تلك الحالة لا ترتبط بدخول الجذور فى مرحلة الشيخوخة إذ أنها تظهر فى هذا الصنف فى مرحلة مبكرة من النمو (Harris وآخرون ٢٠٠٠).

وتعد حرارة التربة العالية أحد المسببات الرئيسية لحالة القلب الأجوف.

تبدأ جذور الفجل فى التجوف حينما تتجمع المسافات التى توجد بين الخلايا البارانشيمية معًا. وفى ظروف الحرارة العالية تتجلنن الخلايا البارانشيمية التى تحيط بالمسافات البينية، ولكن لا يحدث ذلك فى ظروف الحرارة المنخفضة أو المعتدلة Kano & Fukuoka (١٩٩٢).

وفى دراسة أخرى وجد Kano & Fukuoka (١٩٩٥) أن نباتات زراعات شهر يوليو التى تعرضت لحرارة تربة تزيد عن ٣٢°م خلال منتصف مرحلة نموها كانت أضعف نموًا، وازدادت فيها الإصابة بالتجويف، كما ازداد فيها تركيز الأوعية فى مركز الجذر، وترسب اللجنين فى جدر الخلايا المحيطة بالفجوة المركزية. وعندما أجريت الزراعة فى وجود ملفات تسخين لرفع حرارة التربة .. أدت تدفئة التربة من اليوم السادس عشر بعد الزراعة إلى اليوم الثلاثين، وكذلك من اليوم الحادى والثلاثين إلى اليوم الخامس والأربعين إلى إبطاء نمو الجذور وتكوين بعض الفجوات الداخلية بها، وزيادة أعداد

الأوعية بالمنطقة المركزية للجذر، وإلى تحفيز اللجنة بالقرب من الفجوة المركزية. وبالمقارنة .. فإن التدفئة من اليوم العاشر إلى اليوم الخامس عشر بعد الزراعة أو من اليوم السادس والأربعين إلى اليوم الستين لم يظهر معها تجوف داخلى بالجذور، وترتب عليها إنتاج أوعية فى مركز الجذور بكثافة قليلة، كما لم يكن لتسخين التربة خلال أى من هاتين الفترتين تأثيرًا على لجنة الخلايا. وقد استنتج من هذه الدراسة أن تكوين الفجوات الكبيرة بالمنطقة المركزية للجذور يحدث نتيجة لترسيب اللجنين فى الخلايا المحيطة بالفجوات بسبب ارتفاع درجة الحرارة فى منتصف مرحلة النمو الجذرى.

وفى دراسة حول محتوى جذور الفجل من السيتوكينين فى درجات الحرارة المختلفة وعلاقة ذلك بظاهرة التجوف، وجد أن جذور نباتات الزراعات المبكرة - التى تعرضت لحرارة تزيد بمقدار ٦-١٢°م عن الزراعات المتأخرة - كانت أقل محتوى من السيتوكينين من جذور الزراعات المتأخرة. كذلك وجد أن تعريض النباتات لحرارة لا تقل عن ٣٠°م لمدة ٣٠ يومًا أدى إلى زيادة ظاهرة تجوف الجذور مقارنة بحالة التجوف فى النباتات التى تعرضت لحرارة تراوحت بين ٢٥، و ٣٠°م، كما كان محتوى الجذور من السيتوكينين فى معاملة الحرارة العالية أقل باستمرار مما فى معاملة الحرارة الأقل. وكان إنتاج السيتوكينين فى جذور الصنفين Sobuto، و Fukumi القابلين للإصابة بالتجوف أقل فى الحرارة العالية، بينما كان إنتاج السيتوكينين فى جذور الأصناف الأكثر مقاومة للتجوف أعلى (Kano & Fukuoka ١٩٩٦أ).

وعندما عوملت نباتات الفجل اليابانى Gensuke بملح الصوديوم لإندول حامض الخليك رشًا على النموات الخضرية بتركيز ٥٠ جزءًا فى المليون كل ٣ أيام لمدة ١٥ يومًا خلال ٤ مراحل للنمو .. أدت المعاملة بداية من اليوم السادس عشر بعد الزراعة حتى اليوم الثلاثين إلى إبطاء معدل زيادة الجذور فى الحجم وزيادة كثافة الأوعية، ونشاط تكوّن اللجنين، وتكوين تجويف كبير بمركز الجذر. وفى المقابل لم تُحدِث المعاملة ذاتها خلال فترات النمو الأخرى أى من تلك التأثيرات. وقد تباينت أصناف الفجل اليابانى كثيرًا فى مدى استجابتها للمعاملة بالأوكسين. فمثلاً .. أدت معاملة رش أوراق الصنف Yamada إلى الحد من زيادة جذوره فى السمك، وزيادة كثافة الأوعية ونشاط تكوين

اللجنين فيها، ومن ثم تكون بها تجويف كبير، بينما لم تحدث المعاملة ذاتها للصنفين Taibyosobuto، و Tokinashi أى تجاويف جذرية (Kano & Fukuoka ١٩٩٦ب)

التلون البنى الداخلى أو القلب البنى

يعتقد بأن حالة التلون البنى الداخلى internal browning (أو القلب البنى brown heart) – التى تظهر فى جذور بعض أصناف الفجل اليابانية – ترجع إلى نقص البورون (عن Etoh ١٩٩٤)، كما أنها قد ترجع إلى ارتفاع حرارة التربة فى المراحل الأخيرة من النمو. ويصاحب التلون البنى – فى تلك المرحلة من النمو – زيادة فى محتوى الجذور من البولى فينولات وفى نشاط إنزيم الكاتيكول أوكسيديز catechol oxidase (البولى فينول أوكسيديز polyphenol oxidase) (Kawai وآخرون ١٩٩٢).

وقد كان التسميد بالبورون فعّالاً فى خفض الإصابة بالقلب البنى وفى زيادة تركيز البورون فى الجذور. كذلك كان التسميد بالسوبر فوسفات فعّالاً فى خفض الإصابة بالقلب البنى وفى زيادة تركيز الفوسفور فى الجذور. وأدى غياب البورون من المحاليل المغذية فى المزارع المائية إلى إحداث إصابة شديدة بالقلب البنى، وكانت الأعراض أشد على حرارة ٢٩°م عنها عند حرارة ٢١°م على الرغم من أن تركيز البورون فى الجذور كان عاليًا نسبيًا فى الحرارة الأعلى. ويستدل من تلك النتائج أن الإصابة بالقلب البنى لا يمكن إرجاعها إلى نقص البورون فقط. وقد وجدت زيادة فى نشاط إنزيم catechol oxidase – وليس فى تركيز البولى فينولات – فى الجذور – فى غياب البورون فى المزارع المائية. ولذا .. يعتقد بأن التلون البنى الداخلى يحث بسبب زيادة نشاط الـ catechol oxidase استجابة لنقص البورون فى الجذور. وفى وجود البورون فى المحلول المغذى لم تحدث الإصابة بالتلون البنى الداخلى أيًا كان تركيز الفوسفور فى المحلول. ومن ناحية أخرى . فإنه فى غياب البورون حدث انخفاض فى كل من الإصابة بالقلب البنى ونشاط إنزيم catechol oxidase وذلك مع زيادة تركيز الفوسفور (Kawai وآخرون ١٩٩٣).

ويستدل من دراسات Kawai وآخرين (١٩٩٥) على أن توفير الكبريت للنبات يمنع الإصابة بالقلب البنى.

كذلك أدى رش نباتات الفجل بحامض الجبريلليك بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون إلى تقليل نسبة الإصابة بالقلب البنى، بينما أدى الرش باليونيكونازول uniconzaole بتركيز ١٠ أو ٢٠ جزءًا فى المليون إلى زيادة معدل الإصابة. وقد تبين أن محتوى الجذور من البولى فينولات ونشاط إنزيم catechol oxidase فيها نقصا عند المعاملة بحامض الجبريلليك، بينما ازدادا عند المعاملة باليونيكونازول. كذلك أدى التسميد بالسوبر فوسفات مع المعاملة بحامض الجبريلليك إلى خفض الإصابة بالقلب البنى بدرجة أكبر من الخفض الذى أحدثته أى من المعاملتين منفردة، وحدث الأمر ذاته بالنسبة للانخفاض الذى أحدثته معاملتا التسميد بالسوبر فوسفات والرش بحامض الجبريلليك على تركيز البولى فينولات ونشاط الإنزيم catechol oxidase، ولذا .. فقد أوصى بالاهتمام بالتسميد بالسوبر فوسفات مع الرش بحامض الجبريلليك لأجل تجنب حدوث ظاهرة القلب البنى (Kawai وآخرون ١٩٩٧).

الحصاد والتداول والتخزين

النضج والحصاد

تتوقف الفترة من الزراعة للحصاد على الصنف المستعمل، وموعد الزراعة. فيستغرق الصنف البلدى من ٢٥-٣٠ يومًا صيفًا، ونحو ٤٥ يومًا شتاءً، بينما تصل جذور الأصناف الأجنبية إلى الحجم المناسب للحصاد بعد ٢٥-٨٠ يومًا. ولا تقلع جذور الفجل إلاّ بعد أن تصل إلى الحجم المناسب للاستهلاك، باستثناء الفجل البلدى الذى يزرع صيفًا، والذى يحصد مبكرًا قبل أن يزهر، وتستعمل أوراقه.

ويؤدى تأخير الحصاد عن الموعد المناسب إلى إحداث التغيرات التالية:

١ - تشقق الجذور، وتفلقها.

٢ - تجوف الجذور خاصة فى الأصناف ذات الجذور الكروية.

٣ - ازدياد ظاهرة الجذور الإسفنجية المركز (ظاهرة الـ pithiness، أو التخويخ).

٤ - الزيادة الكبيرة فى الحجم عما يناسب ذوق المستهلك.

٥ - احتمال نمو الشماريخ الزهرية (Sims وآخرون ١٩٧٨).