أدت إلى تأخير نضج البذور بنحو ٣٠ يومًا، بينما لم يتأثر موعد نضج البذور بالمستويات الأقل شدة من معاملات إزالة الأوراق. وكان النقص فى محصول البذور خطيًا مع شدة إزالة الأوراق حينما أجريت المعاملة فى مرحلة النمو الخضرى. أما عندما أجريت معاملة إزالة الأوراق فى مرحلة النمو الزهرى أو امتلاء القرون فإن النقص فى محصول البذور ازداد تربيعيًا quadraticaly مع الزيادة فى شدة المعاملة (Schaafsma & Albett ١٩٩٤).

ويؤدى الاستمرار فى حصاد القرون الخضراء للفاصوليا – مقارنة بترك النباتات دون حصاد إلى أن تصبح القرون بلون أصفر قشّى – يؤدى ذلك إلى جعل النباتات أكبر حجمًا، وأكثر تفريعًا، وأكثر اخضرارًا (بسبب تأخير شيخوخة الأوراق بالإضافة إلى تكوين أوراق جديدة)، مع توزيع نسبة أعلى من الغذاء المجهز على الجذور والسيقان والأوراق. وعلى الرغم من ذلك فإنه لم يظهر فرق معنوى بين المعاملتين فى الوزن الجاف الكلى للنبات حتى نهاية فترة التجربة التى استمرت لمدة ٨٨ يومًا بعد زراعة البذور (Kohashi-Shibata وآخرون ١٩٩٧).

الإزهار وعقد القرون

الإزهار

طبيعة الإزهار

يتوقف توزيع الأزهار فى النبات على الصنف وطبيعة نموه. ففى الأصناف القصيرة المحدودة النمو (شكل ٦–٣) تتكون مبادئ الأزهار فى نورة راسيمية racene فى إبط الورقة القمية على الساق الرئيسى أولاً، ثم يستمر الإزهار بالاتجاه إلى اسفل نحو العقد السفلى، وعلى امتداد الفروع. وبالمقارنة نجد فى الأصناف القصيرة غير المحدودة النمو أن الأزهار الأولى تظهر عادة عند العقدة السادسة إلى السابعة، ثم يستمر الإزهار بالاتجاه إلى أعلى وإلى أسفل على الساق الرئيسى وعلى امتداد الفروع (عن Davis ١٩٩٧).

التهيئة للإزهار

من المعروف أن الفاصوليا نبات قصير النهار فى موطنه الأصلى فى أمريكا الوسطى

وأمريكا الجنوبية. وقد أدى استئناس المحصول فى المناطق الباردة إلى انتخاب طرز قادرة على الإزهار فى ظروف النهار الطويل .. أى غير حساسة للفترة الضوئية photoperiod insensitive. وتتوفر حاليًا هذه التراكيب الوراثية غير الحساسة للفترة الضوئية فى جيرمبلازم الفاصوليا، وتنمو جنبًا إلى جنب فى أمريكا الجنوبية مع الطرز القصيرة النهار (عن Gu وآخرين ١٩٩٨).

ويمكن القول بأن معظم أصناف الفاصوليا المنتشرة فى الزراعة حاليًا تعد محايدة بالنسبة لاستجابتها للفترة الضوئية، وذلك باستثناء الأصناف التى تنتشر زراعتها فى المناطق الاستوائية وهى التى تتأثر بالفترة الضوئية؛ فتزهر بسرعة أكبر عندما تكون الفترة الضوئية أقصر من ١٣ ساعة (Pringer ١٩٦٢؛ و Seelig & Lockshin ١٩٧٩).

ولا تمر الفاصوليا بفترة حداثة، حيث تستجيب الأصناف القصيرة النهار للفترة الضوئية المهيئة للإزهار فى أى مرحلة من نموها الخضرى.

وتؤثر درجة الحرارة على الأصناف غير الحساسة للفترة الضوئية، حيث تقلل الحرارة العالية عدد الأيام التى يلزم مرورها حتى الإزهار، هذا .. بينما تزيد الحرارة العالية من متطلبات الاستجابة للفترة الضوئية فى الأصناف القصيرة النهار؛ مما يؤخر إزهارها (عن Davis ١٩٩٧).

عقد القرون والبذور

التلقيح والإخصاب

تتفتح متوك الزهرة وتنتثر منها حبوب اللقاح قبل تفتح الزهرة مباشرة، ويكون ذلك عادة ليلاً. وما أن تصل حبوب اللقاح إلى الميسم حتى تبدأ فى الإنبات. تنمو الأنبوبة اللقاحية خلال الميسم المجوف، وتُخَصَّب البويضات فى خلال ١٢ ساعة، وتكون أولى البويضات تخصيبًا هى الأقرب إلى قلم الزهرة.

تصل القرون إلى المرحلة المناسبة للحصاد فى أصناف الفاصوليا الخضراء التجارية بعد حوالى ٢٥ يومًا من التلقيح. وبعد ذلك تستمر البذور فى الامتلاء لمدة ٢٠-٣٠ يوم أخرى، بعدها يصبح القرن ناضجًا والبذور جافة.

تأثير درجة الحرارة على عقد القرون - مراحل النمو البرعمى الحساسة للحرارة - طبيعة الحساسية للحرارة

لدرجة الحرارة المرتفعة والمنخفضة تأثير سيئ على عقد الثمار فى الفاصوليا. فيكون العقد ضعيفًا أو معدومًا فى حرارة ٣٥°م، وإذا عقدت بعض الثمار .. فإنها تكون بكرية، أى بدون بذور. وقد وجد Halterlein وآخرون (١٩٨٠) أن تعريض النباتات لدرجة حرارة ٣٥/٢٠°م (نهارًا/ليلاً)، أو ٣٥°م باستمرار أدى إلى نقص حيوية حبوب اللقاح فى أربعة أصناف من الفاصوليا. وقد اختلفت الأصناف فى مدى تأثر حبوب لقاحها بالحرارة المرتفعة، ولكن عقد الثمار لم يتأثر طالما أن الحرارة لم يصل ارتفاعها إلى ٣٥°م.

كما وجد Dickson & Boettger (١٩٨٤) أن إنبات حبوب اللقاح على ميسم الزهرة كان أقل فى حرارة ٨، أو ١٢°م عنه فى حرارة ١٨°م، ووجدا كذلك اختلافات كبيرة بين الأصناف فى هذا الشأن. وكانت أقل نسبة عقد فى النباتات النامية فى حرارة ٣٠/٨°م (نهار/ليل). وقد تبيّن من دراستهما أن درجة حرارة الليل المنخفضة أثرت على حيوية البويضات، بينما أثرت حرارة النهار العالية على حيوية حبوب اللقاح.

وأدى ارتفاع الحرارة عن ٣٠°م أثناء الإزهار إلى نقص محصول الفاصوليا بدرجة تناسبت مع مدة ارتفاع درجة الحرارة. كما أدى تفاوت الحرارة أثناء الإزهار بين ١٠°م ليلاً و ٣٥°م نهارًا إلى انعدام المحصول، بينما لم تؤثر حرارة ليل مقدارها ١٠°م على المحصول عندما كانت حرارة النهار ٢٠°م. وكانت أكثر المراحل حساسية للحرارة العالية هى التى سبقت تفتح الأزهار بمدة يومين إلى ثلاثة أيام، وليس عند تفتح الأزهار (عن Dickson & Petzoldt ١٩٨٨). وقد تأكد ذلك من دراسات Monterroso & Wien (١٩٩٠) اللذان عرضًا براعم أزهار الفاصوليا لحرارة ٣٥°م لمدة ١٠ ساعات يوميًا فى يومين متتالين خلال جميع مراحل تكوين براعم الأزهار، وهى الفترة التى تسبق تفتح الأزهار بمدة ثمانى أيام وحتى تفتحها، ووجدا أن أكثر المراحل حساسية للحرارة العالية كانت بداية من قبل تفتح الأزهار بستة أيام وحتى تفتحها؛ فعلى امتداد تلك المرحلة سقطت ٨٢٪ من الأزهار التى عوملت بالحرارة العالية بعد تفتحها وقبل أن تبلغ قرونها

٢ سم طولاً. وقد أكدت تجربة لقحت فيها مياسم أزهار عوملت بالحرارة العالية بحبوب لقاح أنتجت فى حرارة معتدلة – أو العكس – أن حبوب اللقاح كانت هى الأكثر تأثرًا بمعاملة الحرارة العالية عن أعضاء الزهرة الأنثوية.

وقد أدى تعريض نباتات الفاصوليا من الصنف بوش بلوليك – ٤٧ Bush Blue Lake-47 (اختصارا: BBL-47)، والسلالة PI 271998 لحرارة ٣٢°م نهارًا مع ٢٧°م ليلاً لمدة يوم إلى خمسة أيام خلال مراحل تكوين الخلايا الأمية macrosporogensis، وتكوين حبوب اللقاح والكيس الجنينى pollen and embry-sac development، وتفتح الأزهار anthesis، والمراحل المبكرة لتكوين القرون والبذور early pod and seed development – مقارنة بتعريضها لحرارة ٢٢°م نهارًا مع ١٧°م ليلاً – أدى ذلك إلى تقليل أعداد القرون العاقدة، وأعداد البذور فى كل قرن، وكان مرد هذا النقص إلى زيادة سقوط البراعم الزهرية، والأزهار، والقرون الصغيرة، وإلى فشل الإخصاب، وعدم نمو البذور. وقد كان الصنف BBL-47 أكثر حساسية للحرارة العالية من السلالة PI 271998. وفى محاولة للتعرف على الأساس الفسيولوجى لتلك الاختلافات وُجِدَ لدى غمس أعناق براعم زهرية، وأزهار، وقرون صغيرة فى بيئة آجار مغذية أن المعاملة الحرارية أدت إلى نقص كمية إندول حامض الخليك التى انتقلت منها إلى البيئة، وكان هذا النقص (فى كمية إندول حامض الخليك الذى انتقل إلى بيئة الآجار) أقل نسبيًّا فى السلالة المتحملة للحرارة العالية منها فى الصنف الحساس BBL-47 (Ofir وآخرون ١٩٩٣). وقد اختلفت الحساسية لمعاملة الحرارة العالية باختلاف مرحلة النمو الزهرى، فكانت المراحل التالية للإخصاب والمراحل المبكرة لنمو القرون أكثر تحملاً للحرارة العالية عن المراحل السابقة للإخصاب. وأدت المعاملة خلال مرحلة تكوين حبوب اللقاح إلى حالة من العقم الذكرى لتسببها فى فقد حيوية حبوب اللقاح، وفشل المتوك فى التفتح، بينما لم يتأثر عضو التأنيث فى الزهرة بالمعاملة الحرارية. وعند التلقيح أدت المعاملة الحرارية إلى تقليل قدرة حبوب اللقاح على النمو خلال ميسم الزهرة؛ مما أدى إلى خفض عقد القرون والبذور، وخاصة فى الصنف BBL-47 الأكثر حساسية للحرارة العالية. وبينما قلت حساسية حبوب اللقاح للحرارة العالية كلما تقدمت فى النضج فإن

أكثر مراحل عضو التأنيث تأثرًا بالحرارة العالية كان عند تفتح الزهرة. وكان النقص فى إخصاب البويضات وعقد البذور الناشئ عن معاملة الحرارة العالية أشد وضوحًا فى أجزاء المبيض الأكثر بعدًا عن الميسم والأقرب إلى عنق الزهرة؛ الأمر الذى ربما يعكس التأثير السلبى للحرارة العالية على نمو الأنابيب اللقاحية. ويستخلص من ذلك أن نقص عقد القرون والبذور فى الفاصوليا بعد التعرض للحرارة العالية يكون مرده إلى التأثير السلبى للحرارة على كل من حيوية حبوب اللقاح وأداء عضو التأنيث فى معظم الأزهار (Gross & Kigel ١٩٩٤).

وعرَّضَ Lusse وآخرون (١٩٩٦) نباتات الفاصوليا أثناء الإزهار لحرارة (نهارًا/وليلاً) مقدارها ١٨/٢٥°م، أو ١٨/٢٨°م، أو ١٨/٣١°م، أو ١٨/٣٤°م، مع حرارة ١٨/٢٨°م قبل الإزهار وبعده، ووجدوا أن التعرض للحرارة العالية أثناء الإزهار أثر سلبيًّا على محصول البذور، وكان أعلى محصول عندما كانت الحرارة أثناء الإزهار ١٨/٢٨°م. وأدت زيادة الحرارة من ٢٨°م إلى ٣١°م، وإلى ٣٤°م إلى نقص المحصول بنسبة ١٤، و ٣٠٪، على التوالى، وإلى نقص عقد القرون بنسبة ١٠٪، ونقص عدد البذور/قرن بنسبة ١٠٪، و ٢٠٪، على التوالى، مقارنة بالنباتات التى تعرضت لحرارة ٢٨°م نهارًا بصورة دائمة. وبدا أن المراحل المبكرة للإزهار كانت هى الأكثر حساسية للحرارة العالية.

ودرس Nakano وآخرون (١٩٩٨) أكثر مراحل النمو البرعمى والزهرى تأثرًا بالحرارة العالية فى صنفين من الفاصوليا أحدهما حساس للحرارة العالية والآخر أكثر تحملاً لها. وبعد تعريض النباتات للمعاملة الحرارية (وهى متوسط حرارة يومى قدره ٣٣°م) لمدة يوم إلى خمسة أيام ثم تحديد نسبة عقد القرون .. أمكن تحديد أربع مراحل كانت فيها البراعم حساسة للحرارة العالية، بينما لم تكن الأزهار المتضخمة بالفعل والقرون الصغيرة حساسة للمعاملة الحرارية. وتضمنت المراحل الحساسة الفترات التى سبقت تفتح الأزهار بيوم إلى يومين، وقبل تفتحها بحوالى ٩ أيام، وقبل تفتحها بحوالى ١٢ يومًا. أما قبل تفتح الأزهار بنحو ١١ يومًا فكانت فيه براعم الصنف الأكثر تحملاً أقل حساسية للحرارة العالية، بينما كانت براعم الصنف الحساس حساسة. وتوافقت فترة الحساسية الرابعة والأخيرة مع الفترة التى سبقت تفتح الأزهار بنحو ١٥–٢٥ يومًا؛ فعندما عرضت

الرابعة والأخيرة مع الفترة التى سبقت تفتح الأزهار بنحو ١٥-٢٥ يومًا؛ فعندما عرضت البراعم الصغيرة جدًا لحرارة مرتفعة ليلاً لمدة ٥ أيام، فإنها أنتجت أزهارًا مشوهة تعرضت للسقوط. وأدت المعاملة الحرارية (٣٤,٢°م نهارًا، و ٣٣,٠°م ليلاً لمدة ٢٤ ساعة) قبل تفتح البراعم الزهرية مباشرة إلى نقص نسبة عقد القرون بشدة، بينما لم تُحدث المعاملة الحرارية لمدة ٨ ساعات فقط قبل تفتح البراعم ذلك التأثير.

تأثير القدرة التنافسية - على اجتذاب الغذاء المجهز - فى عقد القرون

نجد فى الأصناف القصيرة - سواء كانت محدودة النمو، أم غير محدودة - أن فترة النمو تكون عادة قصيرة إلى درجة لا تسمح للنبات بزيادة دليل مساحة الورقة قبل بداية عقد القرون. وتشير الأدلة إلى أن لأولى الأزهار تكونًا قوة تنافسية كبيرة على اجتذاب الغذاء إليها؛ ولذا نجد أن جميع الأزهار الأولى فى التكوين يحدث فيها العقد كاملاً، ويلى ذلك فترة تزيد فيها نسبة الأزهار التى تسقط دون عقد. وحتى فى الظروف المثالية للنمو تفشل نحو ٦٠-٧١٪ من الأزهار فى العقد، أو تسقط فيها القرون وهى مازالت صغيرة. وتزداد هذه المشكلة حدة فى الأصناف الحديثة ذات العقد المركز التى تناسب الحصاد الآلى (عن Davis ١٩٩٧).

وتعد البراعم الزهرية أكثر قدرة على جذب الغذاء إليها عن القرون، التى هى بدورها أكثر قدرة على جذب الغذاء إليها عن الأزهار. كما أن القرون التى تكون أكثر عرضة للانفصال هى التى تكون أقل قدرة على جذب الغذاء إليها وهى مازالت فى مرحلتى النمو البرعمى والزهرى، مقارنة بتلك التى تتوفر لها فرصة أكبر للبقاء. وتتحدد فرص البقاء أو الانفصال بموقع عضو التكاثر (البرعم أو الزهرة أو القرن) من النورة؛ حيث تزيد فرصة انفصاله وسقوطه كلما كان موقعه أقرب إلى قاعدة النورة، كما تزداد قدرته على جذب الغذاء إليه فى ذلك الموقع مقارنة بأعضاء التكاثر التى تقع فى المواقع البعيدة عن قاعدة النورة (Binnie & Clifford ١٩٩٩).

ويكفى - عادة - إخصاب بويضة واحدة بالمبيض لمنع سقوط القرن، ولكن القرون قد تفشل فى إكمال نموها وتسقط إن لم تصلها كميات كافية من الغذاء المجهز، ويتوقف

ذلك – عادة – على كمية الغذاء التى تكون مخزنة فى سيقان النبات عند الإزهار. ويتحدد الأمر أولاً وأخيرًا – كما أسلفنا – بالوضع التنافسى للقرون على الغذاء المجهز أو المخزن فى النبات (عن Davis ١٩٩٧).

معاملات منظمات النمو لتحسين العقد

يؤدى رش نباتات الفاصوليا ببعض منظمات النمو إلى تحسين عقد الثمار وزيادة المحصول عندما تكون درجة الحرارة أعلى من ٣٢°م أثناء الإزهار. ويصاحب ذلك نقص فى عدد البذور فى القرن، وتكون القرون أصغر حجمًا وأفضل نوعية. كما تؤدى المعاملة بمنظمات النمو – عندما تكون الظروف مناسبة للعقد – إلى زيادة المحصول، ولكن الزيادة تكون قليلة، ولا تتعدى ١٠–٢٠٪. وترجع الزيادة فى المحصول فى هذه الحالة إلى زيادة نمو القرون فى النباتات المعاملة.

ومن بين منظمات التى استخدمت بنجاح لتحسين عقد الثمار فى الفاصوليا الأوكسينات التالية:

١ – نفثالين حامض الخليك alpha-naphthalineacetic acid (اختصارًا NAA) بتركيز ٥–٢٥ جزء فى المليون.

٢ – بيتا نفثوكسى حامض الخليك beta-naphthoxyacetic acid (اختصارًا NOA) بتركيز ٥–٢٥ جزء فى المليون.

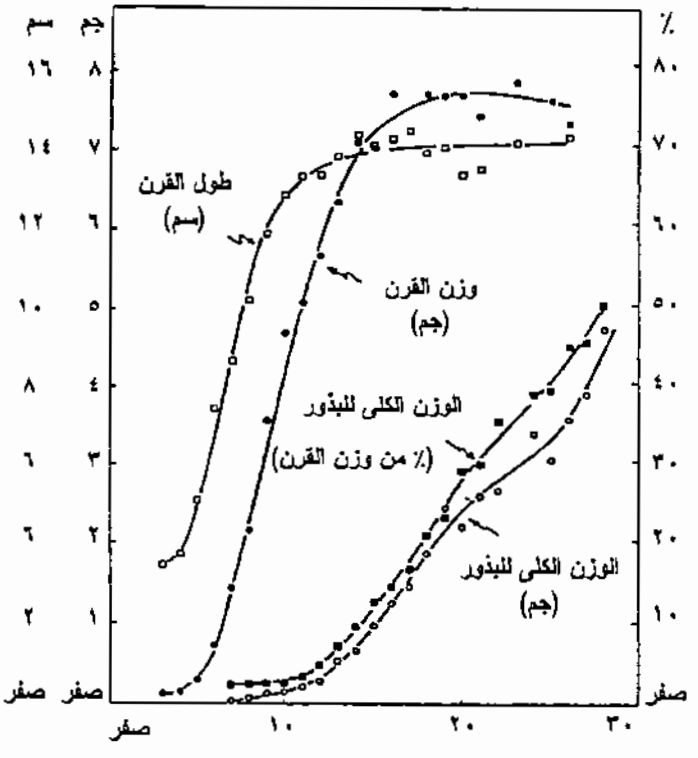
٣ – باراكلورو فينوكسى حامض الخليك Parachlorophenoxyacetic acid (اختصارًا CIPA) بتركيز ١–٥ أجزاء فى المليون، وهو أكثرها تأثيرًا.

٤ – ألفا–أورثو–كلورو فينوكسى حامض البروبيونك alpha-ortho-chlorophenoxypropionic acid (اختصارًا CIPP) بتركيز ١–٥ أجزاء فى المليون.

تجرى المعاملة برش النبات كله، وتكفى عادة رشة واحدة عندما تكون النباتات فى مرحلة الإزهار التام full bloom. ويمكن عند الضرورة إجراء رشة أخرى بعد نحو ٧–١٠ أيام أخرى. ويكفى عادة من ١–٢ جم من منظم النمو فى كل رشة للفدان. ولاتحدث هذه المعاملة أى أضرار للبراعم الزهرية الصغيرة (Wittwer ١٩٥٤، و Weaver ١٩٧٢).

نمو القرون والبذور

تزداد قرون الفاصوليا فى الطـول والـوزن زيـادة خطية سريعة ابتداء من بعد تفتح الزهرة بنحو ٣–٤ أيام وتستمر لمدة حوالى ٧–١٠ أيام، ثم تتوقف الزيادة فى الطول والوزن بعد ذلك؛ علمًا بأن معظم الزيادة فى الوزن يكون مردها إلى نمو الغلاف الثمرى الداخلى endocarp الشحمى؛ هذا بينما لا تبدأ الزيادة الخطية الملموسة فى وزن البذور إلا بعد توقف القرون عن النمو (بعد حوالى ١٣ يومًا من تفتح الأزهار)، مع استمرار الزيادة فى وزن البذور بعد ذلك على حساب الغلاف الثمرى الداخلى الذى يبدأ فى الانهيار، حيث لا يتبقى منه عندما تصل البذور إلى أقصى حجم لها (بعد حوالى ٢٨ يومًا من تفتح الأزهار) سوى على هياكل الجدر الخلوية (شكل ٨–٣).



شكل (٨–٣): التغيرات فى نمو قـرون الفاصوليا الكاملة(صنف تندر جريـن Tendergreen)، معبرًا عنها بالطول والوزن، مقارنة بالتغيرات فى وزن البـذور فقـط (Watada & Morris ١٩٦٧).