وبينما ينتج السكروز ويستعمل فى جميع أوراق الكرفس، فإن المانيتول ينتج أساسًا فى الأوراق المكتملة التكوين ويستعمل فى الأوراق الحديثة، ويخزن فى كل الأوراق. ويشكل المانيتول والجلوكوز والفراكتوز معظم الغذاء المخزن فى أعناق الأوراق، بينما لا يوجد بها سوى القليل من السكروز. ويوجد النشا فى الأوراق بتركيزات منخفضة تحدث بها - فى الأوراق الخارجية - تغيرات واضحة بين الليل والنهار (عن Pressman ١٩٩٧).

النمو النباتى

يزداد محصول الكرفس بزيادة عدد أوراق النبات وزيادة طول أعناق الأوراق. ويتأثر معدل تكوين الأوراق الجديدة بدرجة الحرارة، حيث ينخفض فى كل من الحرارة المنخفضة والعالية. كذلك فإن الفترة الضوئية الطويلة - سواء أتوفرت بزيادة طول النهار بالإضاءة الصناعية، أم بالإضاءة لفترات قصيرة أثناء الليل الطويل - تؤدى إلى تقليل أعداد مبادئ الأوراق المتكونة.

ويلاحظ أن أعناق أوراق الكرفس تكون أقصر فى الحرارة العالية مما فى الحرارة المعتدلة. هذا بينما تحفز الفترة الضوئية الطويلة استطالة أعناق الأوراق، التى تكون أقصر فى النهار القصير.

ويمكن التغلب على تأثير الحرارة العالية والنهار القصير - على طول أعناق الأوراق - بالمعاملة بحامض الجبريلليك، وخاصة بالنسبة للأوراق الصغيرة الداخلية التى تكون استجابتها للمعاملة أقوى من الأوراق الخارجية. هذا إلاّ أن معاملة حامض الجبريلليك قد يكون لها تأثيرات سلبية، مثل: تقليل معدل تكوين الأوراق، وزيادة احتمال ظهور بعض العيوب الفسيولوجية، وزيادة القابلية للإصابة بالأمراض (عن Pressman ١٩٩٧).

الإزهار والإزهار المبكر

يتعرض الكرفس لظاهرة الإزهار المبكر Premature seeding، أو الحنبطة المبكرة Early Bolting أو "الشمرخة" bolting قبل حصاد المحصول التجارى؛ ويؤدى ذلك إلى فقدان القيمة الاقتصادية للمحصول. ولا يختلف الإزهار المبكر - فسيولوجيًا - عن الإزهار

المرغوب فى حقول إنتاج البذور؛ فكلاهما يحدث بعد أن تتهيأ النباتات للإزهار؛ نتيجة لتعرضها لدرجة الحرارة المنخفضة، وهو ما يعرف بعملية الارتباع؛ فإذا تعرضت النباتات للحرارة المنخفضة فى طور مبكر من النمو .. كان إزهارها مبكرًا قبل أن تصل إلى الحجم المناسب للتسويق؛ وإذا كان تعرضها للحرارة المنخفضة فى مراحل النمو المتأخرة .. كان إزهارها طبيعيًّا بعد اكتمال نموها الخضرى.

التغيرات المورفولوجية والتشريحية المصاحبة للإزهار

إن "الشمرخة" bolting هى مرحلة أولية فى التحول من النمو الخضرى إلى النمو التكاثرى فى النباتات ذات الحولين التى يكون نموها قصيرًا ومتوردًا rosette فى موسم النمو الأول. ولا تستطيل الساق فى الكرفس إلا فى النباتات التى حصلت على احتياجاتها من البرودة بما يكفى لتميز قمتها النامية إلى مبادئ أزهار. ويمكن أن تحدث الشمرخة – التى تحدث طبيعيًّا بفعل الحرارة المنخفضة (الارتباع) – بالمعاملة بالجبريللين، ولكن الإزهار نادرًا ما يحدث بفعل تلك المعاملة.

وقد أظهرت الدراسات أن الساق الزهرية النامية كانت مصدرًا لتمثيل الجبريللينات التى تتحكم فى استطالة الساق؛ بما يعنى أن الزيادة التى تظهر فى الجبريللينات فى نباتات الكرفس عقب ارتباعها هى نتيجة للاتجاه نحو الإزهار وليست سببًا فيه.

وتكون القمة النامية للنباتات التى فى مرحلة النمو الخضرى مسطحة تقريبًا وكبيرة، حيث يبلغ قطرها نحو ٠,٤–٠,٥ مم. ومع دخول النباتات مرحلة النمو التكاثرى تصبح القمة النامية مدببة، حيث يزداد ارتفاعها بينما يقل قطرها (عن Rubatzky وآخرين ١٩٩٩).

الارتباع

وجد Thompson عام ١٩٣٣ (عن Thompson & Kelly ١٩٥٧) أن تعريض نباتات الكرفس الصغيرة لدرجة حرارة منخفضة (تراوحت بين ٤° و ١٠°م لمدة ١٠–٣٠ يومًا) أدى إلى اتجاهها نحو الإزهار المبكر طالما تعرضت لظروف مناسبة للنمو بعد معاملة

البرودة. وبالمقارنة .. فإن النباتات التى تعرضت لدرجة حرارة تراوحت بين ١٦ و ٢١°م إلى أن نقلت إلى الحقل الدائم (فى درجة الحرارة نفسها) لم تتجه نحو الإزهار. كما أزهرت نسبة من النباتات التى تعرضت بعد ٦-٨ أسابيع من الزراعة لحرارة تراوحت بين ١٠ و ١٦°م، ثم شتلت بعد ذلك فى حرارة ١٦-٢١°م. كذلك وجد الباحث أن تعريض النباتات الصغيرة لدرجة حرارة تراوحت بين ٢١ و ٢٧°م بعد تعرضها للحرارة المنخفضة مباشرة أدى إلى إلغاء أثر الحرارة المنخفضة، واستمرارها فى النمو الخضرى بعد الشتل؛ وهى الظاهرة التى تعرف باسم إزالة أثر الارتباع Devernalization. هذا .. ولا تتهيأ نباتات الكرفس للإزهار إذا تعرضت لدرجة حرارة التجمد، بل على العكس من ذلك .. فإن هذه المعاملة تؤدى إلى تأخير الإزهار.

وقد تراوحت أكثر درجات الحرارة تأثيرًا فى ارتباع الكرفس بين ٦، و ٩°م، وكان هذا المدى أكثر فاعلية من حرارة ٣,٣°م، هذا بينما بلغ السقف الحرارى الحرج للارتباع فى بعض أصناف الكرفس ١٤°م. وكلما انخفضت الحرارة التى تتعرض لها النباتات وطالت فترة تعرضها اليومى للبرودة كلما كانت أكثر تبكيرًا فى التهيئة للإزهار، علمًا بأن الحنبطة تظهر عليها بمجرد تعرضها للحرارة المرتفعة نسبيًا بعد ذلك (عن Rubatzky وآخرين ١٩٩٩).

وتتوفر عديد من الأدلة على أن تأثير البرودة على التهيئة للإزهار متجمع؛ فمثلاً .. وجد أن التهيئة للإزهار تساوت بين النباتات التى عرضت لحرارة ٤,٥-١٠°م لمدة ١٥ يومًا وتلك التى عرضت لحرارة ١٠-١٥,٥°م لمدة ٣٠ يومًا.

وقد أوضحت الدراسات أن متوسط الحرارة الحرجة للارتباع فى الخس يقدر بنحو ١٤°م. وبينما ازداد النمو الخضرى بارتفاع درجة الحرارة، فإن النموات الجانبية قل عددها عندما ارتفعت الحرارة كثيرًا (Roelofse & Hand ١٩٩٠).

هذا .. وتحفز الحرارة العالية نمو الساق الزهرية فى النباتات التى تكون قد حصلت على حاجتها بالفعل من الحرارة المنخفضة، ولكنها لا تكون أبدًا سببًا فى الحنبطة دونما ارتباع مسبق، وذلك على خلاف ما قد يبدو عمليًا من أن الحنبطة تحدث عند ارتفاع درجة الحرارة.

الحداثة

الحداثة juvenility هى تلك الفترة الأولى من حياة النبات التى لا يستجيب خلالها النبات لمعاملة الارتباع.

تمتد فترة الحداثة فى الكرفس حتى تكوين ١٧–٢٠ ورقة (متضمنة مبادئ الأوراق) وذلك حسب الصنف، وبعد ذلك تستجيب النباتات فى إزهارها لمعاملة الحرارة المنخفضة دون أن يكون لعمر النبات أى تأثير. هذا .. ويزداد معدل تكوين الأوراق فى الكرفس بارتفاع الحرارة بين ٣، و ٢٢,٨°م، ثم يقل بعد ذلك المدى بارتفاع الحرارة من ٢٢,٨ إلى ٣٧,٤°م. ويتطلب الكرفس حوالى ٧٣١ درجة حرارة يومية أعلى من ٣°م لكى يكمل النبات نموه من بداية بزوغ الجذير حتى تكوين الـ ١٧ ورقة الأولى (Ramin & Atherton ١٩٩١ب).

إلغاء أثر الارتباع

يؤدى تعرض النباتات لحرارة عالية بعد معاملتها بالبرودة مباشرة إلى تخليصها من تأثير الارتباع (أى يحدث لها devernalization)؛ حيث لا تزهر، بينما يؤدى تعرض النباتات لحرارة عالية قبل معاملتها بالبرودة إلى إبطاء ارتباعها (يحدث antivernalization) فتتأخر بداية الإزهار وتقل شدته (عن Pressman ١٩٩٧).

التفاعل بين الفترة الضوئية والارتباع وتأثيره فى الإزهار

يؤدى تعريض نباتات الكرفس لفترة ضوئية قصيرة مدتها ٤ ساعات – أثناء ارتباعها – إلى إسراع تهيئتها للإزهار وحنبطتها على خلاف الفترة الضوئية الطويلة التى تحدث تأثيرًا عكسيًّا؛ ولذا .. فإن الكرفس يصنف على أنه نبات يحتاج إلى البرودة لتهيئته للإزهار ولكنه يستجيب كميًّا للنهار القصير. وبالمقارنة فإن التعرض للظلام التام أثناء الارتباع – ولو حتى بعد ٩ أسابيع على ٥°م – يمنع التهيئة للإزهار والحنبطة كليًّا، بينما يؤدى خفض مستوى الإضاءة بشدة إلى زيادة الفترة التى تلزم لتتم التهيئة للإزهار وإلى خفض نسبة النباتات التى تتهيأ لذلك (Ramin & Atherton ١٩٩٤).

ويؤدى قطع فترة الظلام الطويلة بفترات قصيرة من الإضاءة (وهو ما يعنى –

فسيولوجيًا - جعل الفترة الضوئية طويلة) إلى إحداث التأثير ذاتـه الـذى تحدثـه الفـترة الضوئية الطويلة عند تعريض النباتات للحرارة المنخفضة. ويستفاد مـن ذلـك فـى إمكـان تثبيط ارتباع الشتلات التى تنتج فى الحـرارة المنخفضـة (خـلال الربيـع) فـى الزراعـات المحمية فى المنـاطق البـاردة الشـمالية، وذلـك بقطـع فـترة الظـلام بفـترات قصـيرة مـن الإضاءة.

أما بعد ٩ أسابيع من التعريض للبرودة على حرارة ٥°م فإن الفـترة الضوئيـة الطويلـة تسرع الحنبطـة والإزهـار، بينمـا تحـدث الفـترة الضوئيـة القصـيرة تأثـيرًا عكسـيًا (عـن Rubatzky وآخرين ١٩٩٩).

ويسـتفاد ممـا تقـدم بيانـه أن الكرفـس يعتـبر Short-long day، وذات احتياجـات للبرودة خلال الفترة الضوئية القصيرة (عن Pressman ١٩٩٧).

التفاعل بين شدة الإضاءة والارتباع فى الإزهار

يتوقف تأثير مستوى الإضاءة أثناء الارتبـاع علـى مخـزون المـواد الكربوهيدراتيـة فـى جذور النباتات المعاملة، حيث تقل الحاجة للإضاءة أثناء الارتباع كلما قل مخزون المـواد الكربوهيدراتية. ومما يؤكد ذلك أن الجزر لا يحتاج إلى الضوء لكـى يتـهيأ للإزهـار عنـد ارتباعه.

ارتباع البذور

على الرغم من الدراسات التى أكدت على وجود فترة حداثة فى الكرفس لا تستجيب خلالها النباتات لمعاملة البرودة، فإن دراسات أخرى أظهرت اسـتجابة البـذور المتشـربة بالماء لتلك المعاملة، ولكن لم يثبت وجود استجابة من هـذا النـوع خـلال مرحلـة تكويـن البذور وهى مازالت على النبات. فقد وجد أن تعريض بذور الكرفس المتشـربة بالمـاء مـن صنف New Dwarf White لحرارة ٥°م لمدة ٦ أو ٨ أسابيع أدى إلى إزهار نحو ٥٠٪ من النباتات التى نُمّيت بعد ذلك فى حرارة كان حدها الأدنى ١٥°م، وحـدث الإزهـار بعـد تكوين عدد أقل من الأوراق عندما كانت المعاملة لمدة ٨ أسابيع، وذلـك مقارنـة بالمعاملـة لفترة أقل. هذا .. ولم تكن لمعاملة البذور بالبرودة تأثيرًا على الإزهار إلا عندما كان الحد

الأدنى لحرارة النمو النباتى بعد الزراعة ١٥°م، حيث لم يحدث أى إزهار عندما كان الحد الأدنى لحرارة النمو النباتى ٢٠°م. كذلك لم تكن معاملة البذور بالبرودة مؤثرة فى الصنف Celebrity.

هذا إلاّ أن تعريض البذور خلال مراحل مختلفة من تكوينها - وهى مازالت على النبات - لحرارة ٥°م لمدة ٤ أو ٨ أسابيع فى حجرات النمو لم يكن مؤثرًا فى ارتباعها، بينما كان لتلك المعاملات تأثيرًا سلبيًّا على نسبة إنبات البذور المنتجة وقوة إنباتها. كما كان لتلك المعاملات تأثيرات سلبية أخرى على محصول البذور وحجم البذرة ووزنها، وفقدت البذور قدرتها على الإنبات عندما أجريت معاملة التعريض للبرودة بعد تفتح الأزهار بعشرة أيام (Ramin & Aherton ١٩٩١أ).

معاملات الحد من ظاهرة الإزهار المبكر

يمكن الحد من ظاهرة الإزهار المبكر فى حقول الكرفس بمراعاة ما يلى:

١ - اختيار الموعد المناسب للزراعة بحيث لا تتعرض النباتات لدرجة حرارة شديدة الانخفاض فى المراحل المبكرة من نموها.

٢ - عدم محاولة أقلمة الشتلات بتعريضها لدرجة حرارة منخفضة.

٣ - زراعة الأصناف الأقل ميلاً نحو الإزهار المبكر.

النكهة

تمكن Gold & Wilson (عن Stevens ١٩٧٠) من استخلاص نحو ١٠ مل من المركبات القابلة للتطاير Volatile Substances من خمسة أطنان من الكرفس، وقاما بعزل وتحديد هوية ٣٧ مركبا منها، كما يلى:

Formaldehyde	Carvone
Acetaldehyde	Diacetyl
Propionaldehyde	
Hexanol	Ethyl isovalerate
Heptanol	Cis-3-Hexen-1-yl pyruvate
Octanol	Decyl acetate