وقد وجد ارتباط عال بين قدرة بذور أصناف الخس المختلفة على إنتاج الإثيلين وإنباتها فى محلول ٠,١ مول كلوريد صوديوم (-٠,٤٩ ميجا باسكال) على ٢٥°م، أو -٠,٣ ميجا باسكال بوليثيلين جليكول، أو فى الماء على حرارة ٣٢ أو ٣٥°م. وأدى شق الغلاف الثمرى إلى زيادة امتصاص البذور للماء وتحسين الإنبات فى وجود الشدّ الأسموزى (Prusinski & Khan ١٩٩٣).

التأثير الفسيولوجى لفقد التربة

أدى تعرض بادرات الخس لظروف الفقد إلى زيادة نشاط الإنزيم alcohol dehydrogenase وزيادة تركيز الكحول الإثيلى عما فى البادرات التى لم تعرض لتلك الظروف. وقد ارتفع مستوى نشاط الإنزيم وتركيز الكحول فى خلال ٤٨ ساعة من التعرض لظروف الفقد إلى ٣,٢، و ٧,٠ أمثال وضعهما فى البادرات التى لم تتعرض للفقد على التوالى (Kato-Noguchi & Saito ٢٠٠٠).

التأثير الفسيولوجى للعوامل الجوية على النمو والمحصول

بصورة عامة .. فإنه مع توفر مستويات مناسبة من الرطوبة والعناصر المغذية فى التربة، فإن ارتفاع درجة الحرارة بين ١٠، و ٣٠°م، وزيادة الإضاءة بين ١، و ٢٦ ميجا جول/م^{٢}/يوم يسرع معدل تكوين الأوراق فى وحدة الوقت؛ الأمر الذى يعنى زيادة النمو والمحصول.

تأثير درجة الحرارة

مع نمو الخس .. فإن درجة الحرارة المثلى لتراكم المادة الجافة تزداد (عن Etoh ١٩٩٤).

وتعد حرارة ٢١°م - كمتوسط على مدى ٢٤ ساعة - هى الحد الأقصى لنمو الخس، بينما تعد حرارة ٤°م هى الحد الأدنى. وتؤدى الحرارة الأعلى عن ٢١°م إلى تحفيز نمو الشماريخ الزهرى، وتكوين رؤوس هشة ومرة الطعم، وزيادة ظهور العيوب الفسيولوجية الداخلية (عن Sanchez وآخرين ١٩٨٩).

وتقل صلابة الرؤوس وتكون قليلة الكثافة puffy عندما يرتفع متوسط درجة الحرارة اليومى عن ٢١°م، أو عندما ترتفع الحرارة العظمى عن ٢٧°م (عن Wurr وآخرين ١٩٩٢).

وقد وجد أن تكوين الرؤوس الصلبة (عالية الكثافة) ارتبط بدرجة الحرارة المنخفضة خلال المراحل الأولى للنمو حتى بداية تكوين الرؤوس، ومع الإضاءة القوية خلال فترة تكوين الرؤوس ذاتها. هذا .. بينما ازداد حجم الرؤوس مع انخفاض درجة الحرارة خلال المراحل الأولى للنمو حتى بداية تكوين الرؤوس، وصغر حجمها بارتفاع درجة الحرارة خلال الفترة ذاتها (Wurr وآخرون ١٩٩٢).

إن معدل النمو النسبى لخس الرؤوس ذات الملمس الدهنى - معبرًا عنه فى صورة الزيادة فى الوزن بالجرام/جم/يوم - يزداد بارتفاع درجة الحرارة فى مراحل النمو الأولى، ولكن تلك الزيادة تنخفض مع تقدم النبات فى العمر. كذلك يوجد تفاعل بين عمر النبات ودرجة الحرارة فى التأثير على معدل النمو النسبى؛ فنجد أن درجة الحرارة المثلى لمعدل النمو النسبى تنخفض من ٢٣°م عند الشتل إلى ١٠°م عند الحصاد (عن Ryder ١٩٩٩).

كذلك ازداد الوزن الطازج لرؤوس الخس (من ١٢٢,٥ إلى ٢٢٨,١، و ٢٧٥,٣ جم) والجاف (من ٧,٢ إلى ١٣,٧، و ١٣,٨ جم) برفع درجة حرارة المحلول المغذى (فى البيوت المحمية غير المدفأة فى اليونان) من ١٠ إلى ١٥، و ٢٠°م على التوالى، بينما انخفض الوزن الجاف للمجموع الجذرى من ٤,٣ إلى ٢,٥، و ٢,٢ جم/نبات مع ارتفاع درجة الحرارة على التوالى. كذلك فإن عدد أوراق النبات ازداد جوهريًا بارتفاع درجة الحرارة من ٢١,٦ إلى ٢٥,٧ ثم إلى ٣٥,٧ ورقة/نبات على التوالى (Economakis ١٩٩٧).

تأثير الإضاءة

أظهرت عديد من الدراسات حدوث زيادة فى كل من الوزن الطازج والوزن الجاف لنباتات الخس بزيادة طول الفترة الضوئية، وبزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الذى تنمو فيه النباتات.

وقد تبين من عديد من الدراسات حساسية خس الرؤوس ذات الأوراق المتقصفة للإضاءة الضعيفة ابتداء من مرحلة الورقة الرابعة، مع وجود تأثير سلبى واضح للإضاءة الضعيفة على المحصول، خاصة أثناء تكوين الرؤوس (عن Wurr & Fellows ١٩٩١).

وأدى استعمال إضاءة إضافية صناعية (فى كندا) إلى زيادة المادة الجافة الكلية معنويًا بنسبة لا تقل عن ٢٧٠٪، وزيادة صلابة الرؤوس، وخفض فترة النمو حتى الحصاد بنحو ٣٠٪، ولكن مع حدوث زيادة فى معدل الإصابة باحتراق الأوراق، وكانت تلك المعاملة شديدة الفاعلية خلال الشهور التى انخفض فيها مستوى الإضاءة الطبيعية (Gaudreau وآخرون ١٩٩٤).

وعندما نميت نباتات الخس فى ظروف مختلفة من شدة الإضاءة والفترة الضوئية كانت أنسب الظروف للنمو والنوعية الجيدة هى إضاءة قوتها ٤٠٠-٤٢٠ ميكرومول/ثانية/م^{٢} لمدة ٨ ساعات يوميًا (Ishii وآخرون ١٩٩٥).

وتبعًا لإحدى الدراسات .. فإن الظروف الضوئية المثلى لإنتاج الخس، هى: فترة ضوئية ٢٠ ساعة، ونسبة ١٠ : ١ من الضوء الأحمر إلى الأزرق، ونسبة ١ : ٢ من الضوء الأحمر إلى الأشعة تحت الحمراء (Ryder ١٩٩٩).

وقد وجد أن تظليل الخس بصورة دائمة من الخف حتى الحصاد أدى إلى نقص معدل النمو النباتى بدرجة تناسبت مباشرة تقريبًا مع درجة الخفض فى شدة الإضاءة. وازدادت حساسية الخس للانخفاض فى شدة الإضاءة خلال مراحل النمو النباتى السريع، فخلال الفترة من الزراعة إلى مرحلة الورقة الثامنة لم يتأثر الخس بالانخفاض القليل فى شدة الإضاءة، ولكنه تأثر كثيرًا بدرجة الحرارة. وقد كان معدل تمثيل ثانى أكسيد الكربون خلال تلك المرحلة من النمو منخفضًا على أية حال ولم يتأثر ذلك بمعاملة التظليل. أما من مرحلة الورقة الثامنة حتى مرحلة النمو السابقة لتكوين الرأس preheading stage فقد انخفض معدل نمو النباتات حتى مع معاملة التظليل البسيطة التى سمحت بمرور ٧٥٪ من الأشعة الساقطة. ولم يتأثر محصول الخس بالتظليل البسيط خلال مرحلة النمو السابقة لتكوين الرأس، إلاّ أن التظليل - أيًا كانت شدته - خلال مرحلة تكوين الرأس أدى إلى تقليل النمو والمحصول. وتبلغ درجة التشبع

الضوئى للخس خلال تلك المرحلة الأخيرة من النمو ٨٠٠ ميكرومول/ثانية/م^{٢} (Sanchez وآخرون ١٩٨٩).

إن الوزن الجاف للنموات القمية للخس يتناسب طرديًا بصورة خطية مع كمية الإشعاع الكلية التى تتلقاها نباتات الخس، ولا تتغير تلك العلاقة بتغير الفصول. وتعتمد الزيادة اليومية فى الوزن الجاف على كمية الإشعاع اليومية وعلى كفاءة استخدام ذلك الإشعاع Radiation Use Efficiency، وهى نسبة إنتاج المادة الجافة إلى كمية الإشعاع الساقطة. هذا وتتناسب الزيادة اليومية فى الوزن الجاف مع المساحة التى يشغلها النمو الخضرى المنظور من أعلى Vertically Projected Area (اختصارًا: VPA) إلى أن تصل تلك المساحة إلى حدها الأقصى المتمثل فى حاصل ضرب المسافة بين الخطوط فى المسافة بين النباتات فى الخط وبعد ذلك فإن أى زيادة فى الـ VPA ليس لها تأثير على الإنتاجية (Okada وآخرون ١٩٩٧).

ومع زيادة الإشعاع النشط فى عملية البناء الضوئى يزداد الوزن الجاف لنباتات الخس، ونسبة المادة الجافة، وعدد أوراق النبات، بينما تنخفض نسبة الوزن الجاف للنمو الخضرى إلى الوزن الجاف للجذور، ونسبة طول الأوراق إلى عرضها، والمساحة الورقية الخاصة، كذلك وجدت تأثيرات مماثلة لـ daily light integral (حاصل ضرب الإشعاع النشط فى عملية البناء الضوئى × الفترة الضوئية) على الصفات ذاتها (Kitaya وآخرون ١٩٩٨).

تعرف الأشعة الضوئية المؤثرة فى عملية البناء الضوئى باسم photosynthetic photon flux (تعطى الرمز PPF وتقاس بالميكرومول/م^{٢}/ثانية)، والأفضل أن يعبر عنها بالـ daily light integral (يعطى الرمز DLI)، وهو حاصل ضرب PPF فى الفترة الضوئية.

ولقد وجد أنه مع زيادة الـ PPF ازدادت كمية المادة الجافة، ونسبتها، كما ازداد عدد الأوراق المتكونة، بينما انخفض كلا من: نسبة الوزن الجاف للنمو الخضرى إلى الجذور، ونسبة طول الأوراق إلى عرضها، والمساحة الورقية الخاصة، وطول السويقة الجنينية السفلى. وعند المستوى ذاته من الـ PPF .. ازدادت المادة الجافة بنسبة ٢٥٪-١٠٠٪ بزيادة الفترة الضوئية من ١٦ إلى ٢٤ ساعة، وبنسبة ١٠٪-١٠٠٪ بزيادة

تركيز ثانى أكسيد الكربون من ٤٠٠ إلى ٨٠٠ ميكرومول/مول. كذلك ازدادت المادة الجافة الكلية، ونسبة المادة الجافة، وعدد الأوراق المتكونة خطيًا بزيادة الـ DLI، بينما انخفض كلا من: نسبة الوزن الجاف للنمو الخضرى إلى الجذور، ونسبة طول الأوراق إلى عرضها، وطول السويقة الجنينية السفلى بزيادة الـ DLI عند كل مستوى من تركيز ثانى أكسيد الكربون. وقد تأثر طول السويقة الجنينية السفلى بكل من الـ PPF والفترة الضوئية ولكن ليس بتركيز ثانى أكسيد الكربون. وعند المستوى ذاته من الـ DLI فإن الفترة الضوئية الأطول حفزت النمو فى المستوى المنخفض من ثانى أكسيد الكربون، ولكن ليس فى المستوى المرتفع. وقد عوضت الفترة الضوئية الطويلة، أو التركيز العالى من ثانى أكسيد - أو كلاهما معًا - التأثير السلبى للنقص فى الـ PPF على النمو النباتى (Kitaya وآخرون ١٩٩٨).

تأثير التداخل بين حرارة الهواء والفترة الضوئية

تباينت الفترة التى لزمت لاكتمال نمو نباتات الخس - حسب درجة الحرارة والفترة الضوئية - كما يلى:

الفترة الضوئية (ساعة)	الحرارة (نهاراً/ليلاً م)	الفترة التى لزمت لاكتمال النمو (يوم)
١٠	١٠/٢٤	٦٣
١٤	١٠/٢٤	٥٤
١٠	١٦/٢٩	٥٧
١٤	١٦/٢٩	٤٤

وعمومًا .. فقد انخفضت نسبة المادة الجافة مع ارتفاع درجة الحرارة، ولكنها ازدادت مع زيادة الفترة الضوئية.

وقد تبين وجود تفاعل بين: الصنف، والحرارة، والفترة الضوئية فيما يتعلق بالتعريق ribbiness (زيادة العرق الوسطى فى السمك وهى صفة غير مرغوب فيها فى خس الرؤوس)؛ فأيًا كان الصنف .. انخفضت شدة التعريق مع زيادة الفترة الضوئية فى الحرارة المنخفضة، بينما ازدادت مع زيادة الفترة الضوئية فى الحرارة العالية، ولكن تباين مدى تلك الاستجابة باختلاف الأصناف (Burdine & Sanchez ١٩٩٠).

وقد وجدت ارتباطات إيجابية معنوية بين وزن الرأس (فى صنف خس الرؤوس ذات الأوراق المتقصفة Saladin) وبين متوسط الإشعاع الشمسى ابتداء من قبل بداية تكوين الرأس بخمسة أيام وحتى ١١ يومًا بعد بداية تكوين الرأس. كذلك وجدت ارتباطات سلبية معنوية عالية بين وزن الرأس وبين متوسط درجة الحرارة ابتداء من قبل بداية تكوين الرأس بثلاثة عشر يومًا وحتى ١٠ أيام بعد بداية تكوين الرأس. ويعنى ذلك أن وزن الرأس عند اكتمال نموه يزداد بالإضاءة القوية خلال فترة محدودة تبدأ قبل تكوين الرأس مباشرة، وبالحرارة المنخفضة خلال فترة أطول تمتد حتى تكوين الرأس. وبينما ارتبط معدل النمو النسبى relative growth rate معنويًا بكل من الإشعاع الشمسى عند بداية تكوين الرؤوس وبعده، وبدرجة الحرارة عند تكوين الرؤوس، فإنه – أى معدل النمو النسبى – لم يرتبط معنويًا بوزن الرأس. ويعنى ذلك أن وزن الرأس – الذى لم يرتبط بقدرة النباتات على تراكم المادة الجافة عند تكوين الرؤوس – ربما يتأثر بفعل تأثير العوامل البيئية على مورفولوجى النبات – وخاصة شكل الأوراق – عند مرحلة تكوين الرؤوس (Wurr & Fellows ١٩٩١).

وفى الزراعات المحمية تبين أنه خلال الفترة التى تمر بين الإنبات حتى تغطية أوراق النباتات لسطح التربة بنسبة ١٠٠٪ أن الضوء كان أكثر أهمية لإنتاج المادة الجافة عن درجة حرارة الهواء، بينما كانت حرارة الهواء هى الأكثر أهمية لتكوين الأوراق، وبعد أن غطت أوراق النباتات سطح التربة بصورة تامة كان الضوء هو الأكثر أهمية لكليهما. ولذا .. يوصى عند إنتاج الخس فى الزراعات المحمية فى المناطق البادرة شتاء رفع درجة الحرارة حتى تتم تغطية سطح التربة بالنمو النباتى سريعًا، ثم خفض درجة الحرارة بعد ذلك للتقليل فى تكاليف التدفئة (Ryder ١٩٩٩).

تأثير التحكم البيئى فى المناطق الاستوائية

أولاً: التحكم فى درجة حرارة المحاليل المغذية

يمكن فى المناطق الاستوائية – التى ترتفع فيها درجة الحرارة – دفع النباتات إلى تكوين الرؤوس بالتحكم فى حرارة المحاليل المغذية فى المزارع المائية. ففى دراسة أجريت على صنفى الخس Chieftain Zero، و Empire تراوحت درجة حرارة الجذور

اليومية – بصورة طبيعية – بين ٢٤، و ٣٠°م، وأدى خفض حرارة الجذور إلى ١٥°م على مدى الـ ٢٤ ساعة إلى تكوين الخس لرؤوس مندمجة، وأمكن تأجيل بداية تبريد الجذور إلى حين تكوين النباتات لخمس أوراق. ولكن عندما خفضت فترة التبريد إلى ٢٠ ساعة فقط يوميًا فإن نباتات الخس إما أنها كونت رؤوسًا غير منتظمة، وإما أنها اتجهت نحو الإزهار. وبالمقارنة .. فإن نباتات أربعة أصناف أخرى شملتها الدراسة أيضًا (هي: Early Giant، و Gorga، و Honcho II Zero، و Rajah) إما أنها كونت رؤوسًا غير منتظمة، وإما أنها أزهرت حتى مع خفض حرارة جذورها إلى ١٥°م لمدة ٢٤ ساعة يوميًا. أما نباتات الكنترول من جميع الأصناف، وكذلك تلك التى بردت جذورها إلى ٢٠°م فقط فإنها لم تكون رؤوسًا وأزهرت بعد نحو ٢٥ يومًا من الشتل (Lee & Cheong ١٩٩٦).

وأدى خفض حرارة المحلول المغذى إلى ٢٤°م إلى إنتاج خس ذى نوعية مناسبة للتسويق عندما كانت حرارة الهواء ٣١°م، وكان أعلى إنتاج من المادة الجافة عندما كانت حرارة المحلول المغذى ٢٤°م (مقارنة بحرارة ١٧، و ٣١°م) وحرارة الهواء ٢٤°م (Thompson وآخرون ١٩٩٨).

وتحت ظروف الحرارة العالية فى سنغافورة أدى تبريد المحاليل المغذية إلى ٢٥ أو ٢٠ أو ١٥°م إلى إحداث زيادة فى الحد الأقصى اليومى لمعدل البناء الضوئى مقارنة بمعاملة الشاهد، بينما أدى تظليل النباتات بما يسمح بنفاذ ١٠٠٪ (كنترول)، أو ٧٠٪، أو ٤٠٪ من الأشعة الشمسية (حيث بلغ الحد الأقصى للإشعاع الساقط على النباتات فى منتصف النهار فى الأيام المشمسة ١٨٠٠، و ١٢٥٠، و ٧٢٠ ميكرومول فوتونات على كل متر مربع فى الثانية على التوالى) .. أدى ذلك إلى حدوث انخفاضات تدريجية فى معدل البناء الضوئى (Jie & Kong ١٩٩٨).

ثانيًا: التظليل

فى الظروف الاستوائية – حيث الحرارة العالية والإضاءة شديدة – لا يكوّن الخس رؤوسًا جيدة، بينما تكون أوراقه ملتوية، ويتجه النبات مبكرًا نحو الإزهار.

وقد أدى تظليل الخس بنسبة ٣٠-٤٧٪ تحت الظروف الاستوائية إلى زيادة

المحصول بنسبته ٣٦٪ مقارنة بعدم التظليل، علمًا بأن أقصى معدل للبناء الضوئى حدث فى إضاءة ١٥٠٠ ملى مول/ثانية/م^{٢}، وهى تبلغ – ثلثا شدة الإضاءة الطبيعية تحت هذه الظروف (Wolff & Coltman ١٩٩٠).

تأثير الرطوبة النسبية

أدت الرطوبة النسبية العالية إلى تحفيز نمو الخس عندما كانت شدة الإضاءة عاليةً، وربما كان مرد ذلك إلى أنها ساعدت النباتات فى التغلب على الشدِّ المائى (عن Etoh ١٩٩٤).

وأدى إنتاج الخس فى رطوبة نسبية عالية (٩٢٪ نهارًا مع ١٠٠٪ ليلاً) إلى زيادة المساحة الورقية، ونسبة النموات القمية إلى الجذرية، والوزن الجاف عما فى حالة إنتاجه فى رطوبة نسبية منخفضة (٦٢٪ نهارًا مع ٨٢٪ ليلاً) (Bradbury & Ahmad ١٩٩٦).

التأثير الفسيولوجى للميكوريزا

أدى تلقيح نباتات الخس بأى من فطرى الميكوريزا *G. mosseae*، أو *G. fasciculatum* إلى ارتفاع محتواها من الفوسفور أيًّا ما كانت درجة ملوحة التربة، وكذلك أدت إلى زيادة تحمل النباتات لملوحة التربة. ويبدو أن زيادة تحمل النباتات للملوحة التى اكتسبها الخس بعد المعاملة بهذين الفطرين كان مردها إلى ما أحدثته المعاملة من زيادة فى كل من معدل تبادل النباتات لغاز ثانى أكسيد الكربون، ودرجة توصيل الثغور، وكفاءة استخدام المياه، وليس إلى زيادة امتصاص النباتات لأى من عنصرى النيتروجين أو الفوسفور (Ruiz-Lozano وآخرون ١٩٩٦).

كذلك أدى التلقيح بأى من الفطريات *G. deserticola*، أو *G. fasciculatum*، أو *G. mosseae* إلى زيادة قدرة نباتات الخس على تحمل ظروف الجفاف من خلال خفضها لمدى النقص الذى تحدثه ظروف الجفاف فى نشاط الإنزيم nitrate reductase (Ruiz-Lozano & Azcón ١٩٩٦).