الفصل الخامس

# العوامل المؤثرة فى القيمة الغذائية للخضر

تتأثر القيمة الغذائية للخضر بعديد من العوامل منها الوراثى والبيئى، ومنها العوامل السابقة للحصاد وتلك التالية له، وهى الأمور التى نناقشها فى هذا الفصل.

## العوامل الوراثية

يُعنى بالعوامل الوراثية تلك التى ترجع إلى التباين الوراثى بين أصناف النوع الواحد من الخضر فى محتواها من مختلف العناصر الغذائية، ومن الأمثلة البارزة على ذلك ما يلى:

١- تعتبر البطاطا ذات اللون الداخلى البرتقالى الداكن من أغنى الأغذية بالكاروتين، بينما تفتقر الأصناف ذات اللون الداخلى الأبيض إلى هذا الفيتامين. كما يزداد تركيز الكاروتين مع زيادة تركيز اللون البرتقالى فى أصناف الجزر والكنتالوب، والذرة السكرية.

٢- تتباين أصناف الطماطم كثيرًا فى محتواها من فيتامين ج؛ حيث تراوح فى إحدى الدراسات – على سبيل المثال – بين ١,٨ و٢٩,٣ مجم حامض أسكوربيك / ١٠٠ جم من عصير الثمار.

٣- أنتجت أصناف من الطماطم ذات ثمار برتقالية اللون تتميز بارتفاع محتواها من الكاروتين، إلا أنه لم يَشِعْ استخدامها.

٤- تباين محتوى الليكوبين فى أصناف الطماطم التى كانت منتجة تجاريًّا فى ولاية كاليفورنيا الأمريكية بين ٥٥ ، و ١٨١ مجم / كجم عصير، ولوحظ أن محتوى الليكوبين اختلف باختلاف موسم الزراعة، وموقع الإنتاج، والصنف، ودرجة النضج ( Garcia & Barrett ٢٠٠٦).

٥- تتباين أصناف الطماطم فى محتوى ثمارها من فيتامين E (الـ tocopherol الكلى)؛ فقد بلغ ١٨,٥ مجم/ كجم (وكان أعلى جوهريًّا) فى الصنف Kabiria عما كان عليه فى ثمار الصنفين SVR ، و Esperanza (١٢,٢، و١٠,٣ مجم / كجم، على التوالى). وأثّر تركيز

البوتاسيوم فى المحلول المغذى جوهريًا على محتوى الثمار من فيتامين E، كما أدت زيادته إلى زيادة محتوى الثمار من كل من المواد الصلبة الذائبة الكلية والسكريات المختزلة والحموضة المعايرة (Caretto وآخرون ٢٠٠٨).

٦- تتباين أصناف الطماطم التجارية فى مستوى نشاطها المضاد للأكسدة (أى فى محتوى ثمارها من المركبات المضادة للأكسدة). وفى دراسة قيمت فيها بعض الأصناف، كانت الأصناف New Girl ، وJet Star ، وFantastic، و First Lady أعلى دائمًا فى تلك الخاصية عن الأصناف Roma، و Early Girl ( Aldrich وآخرون ٢٠١٠).

٧- يفيد الحامض الأمينى L-citrulline بثمار البطيخ فى تنظيم ضغط الدم، إلاّ أن محتوى الثمار من هذا الحامض الأمينى يتأثر بشدة بالعوامل البيئية (من ١,٦٧ إلى ٣,١٠ مجم/ جم وزن طازج)، وبالصنف (من١,٠٩ إلى ٤,٥٢ مجم/ جم وزن طازج، وفى أصناف خاصة من ١,٢٦ – ٧,٢١ مجم/ جم وزن طازج فى الصنف كونجو، ومن ٢,٢٣ – ٤,٠٣ مجم/ جم وزن طازج فى الصنف Au-Jubilant)، ولا يوجد ارتباط بين المحتوى ولون لب الثمار (أحمر وبرتقالى وأصفر وأبيض)، أو مع طبيعة الصنف (هجين أو مفتوح التلقيح). ومن أكثر الأصناف محتوى من الـ L- citrulline كلاً من : Tom Watson ، وPI 306364، و Jubilee (Davis وآخرون ٢٠١١).

٨- تراوح محتوى الدرنات من كل من الكالسيوم والمغنيسيوم فى سلالات تربية متقدمة من البطاطس بين ٢٦٦، و ٩٤٤ ميكروجرامًا من الكالسيوم/ جرام وزن جاف، وبين ٧٨٧، و١٠٨٩ ميكروجرامًا من المغنيسيوم/ جرام وزن جاف (Brown وآخرون ٢٠١٢).

٩- يُعد فيتامين E (أو الـ tocopherol – الضرورى لصحة الإنسان) مضاد قوى للأكسدة، وهو لا يُمثَّل إلا فى الكائنات التى تقوم بعملية البناء الضوئى. ولقد دُرست احتمالات زيادة محتوى درنات البطاطس – وهى التى لا تقوم بعملية البناء الضوئى – من هذا الفيتامين بتحويلها وراثيًّا بالجين At-HPPD (وهو: *Arabidopsis thaliana* p-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase) ؛ لجعلها أكثر إنتاجًا للـ ∝-tocopherol. وقد وجد أن زيادة التعبير عن

At –HPPD فى الدرنات نتج عنها ٢٦٦٪ زيادة فى محتواها من الـ α-tocopherol. هذا إلا أن درنات النباتات المحولة وراثيًّا لم يتعد محتواها من الـ α-tocopherol ١٠٪، و ١٪ من محتوى الأوراق والبذور من الفيتامين، على التوالى (Crowell وآخرون ٢٠٠٨).

١٠- تباينت نسبة النياسين فى ٤٦ سلالة من الذرة السكرية من ١٨,٢ إلى ٦٢,١ مجم ٪ (عن Harris ١٩٧٥).

١١- تختلف أصناف وسلالات الفاصوليا الجافة فى محتوى بذورها من البروتين والأحماض الأمينية الضرورية.

ويحاول مربو النباتات الاستفادة من الاختلافات التى توجد بين أصناف وسلالات المحصول الواحد فى إنتاج أصناف جديدة تتميز بارتفاع محتواها من مختلف العناصر الغذائية.

ولتجنب إنتاج أصناف جديدة من الخضر أقل فى قيمتها الغذائية من الأصناف الشائعة فى الزراعة من نفس المحصول، أدخلت إدارة الغذاء والدواء الأمريكية Food and Drug Administration عام ١٩٧١ تعديلاً على الخضر التى يعد استهلاكها مأمونًا. وبموجب هذا التعديل استبعدت أية أغذية تحدث بها تغيرات جوهرية فى تركيبها فيما يتعلق بالعناصر الغذائية الرئيسية التى يتميز بها المحصول، أو المركبات السامة التى قد توجد فيه. ويعتبر التغيير جوهريًّا فى الحالات التى يحدث فيها نقص مقداره ٢٠٪ أو أكثر فى المحتوى الغذائى، أو زيادة مقدارها ١٠٪ أو أكثر فى محتوى المحصول من المركبات السامة (عن Kehr ١٩٧٣).

١٢- تباين المحتوى الكلى من الفلافونات (مجموع تركيزات تسعة منها) بين ٤٣٠، و٧٥٣ مجم/كجم على أساس الوزن الطازج، وتباينت – كذلك – قيم البولى فينولات ما بين ٦٠٧، و١٠٢٩ مجم/ كجم على أساس الوزن الطازج، وذلك فى عدد من أصناف البصل المختبرة (Ombódi وآخرون ٢٠١٣).

١٣- احتوت أصناف الخس التُراثية (القديمة) على تركيز أعلى من الكالسيوم (١,٩٣٪ على أساس الوزن الجاف) عما احتوته الأصناف الحديثة (١,٥٤٪)، كما احتوت الأصناف ذات الأوراق السائبة (غير المندمجة فى رأس) على أعلى تركيز من الكالسيوم (٢,٠٦٪)، وتلتها أصناف الرؤوس ذات المظهر الدهنى (١,٦٦٪)، فالأصناف الرومين (١,٤٩٪) (Meagy وآخرون ٢٠١٣).

ووجدت اختلافات كبيرة بين أصناف الخس فى محتوى أوراقها من الكالسيوم حيث تراوحت ما بين ١,٢٧٪ - و ٣,٠٥٪ على أساس الوزن الجاف، وكانت أعلى الأصناف Salad Bowl، و Red Deer Tongue، و Buttercrunch، و Bronze Mignonette بمتوسط قدره ٢,٥٪، وأقلها الأصناف Adriana، و Australe، و Costal Star، و Forellenschluss بمتوسط قدره ١,٣٣٪؛ هذا بينما لم توجد علاقة بين حجم الرأس ومحتوى الكالسيوم (Meagy وآخرون ٢٠١٣).

كما أدت زيادة تعريض الخس للإضاءة إلى زيادة محتواه من مختلف المركبات الأيضية باستثناء النترات، وذلك على أساس الوزن الطازج، وكانت تلك التغيرات أكبر عندما أجرى الحصاد بعد الظهر عنه فى الصباح. أما النترات فقد انخفض تركيزها مع توفر الإضاءة المثلى، ولم يتأثر ذلك بموعد الحصاد صباحًا، أم بعد الظهر. وبذا .. فإنه يوصى بحصاد الخس بعد الظهر بعد النمو فى إضاءة قوية حيث يكون محتواه من النترات عند أقل مستوى، ولكن مع ارتفاع محتواه من المركبات الغذائية (Gent ٢٠١٤).

## الظروف البيئية السائدة قبل الحصاد

### الضوء

يعتبر الضوء أهم العوامل البيئية التى ترثر فى محتوى الخضر من العناصر الغذائية، فتوجد علاقة مؤكدة بين شدة الإضاءة ومحتوى النباتات من فيتامين ج. وقد لوحظت هذه العلاقة بوضوح فى كل من ثمار الطماطم وأوراق اللفت. ويبدو أن الضوء هو العامل البيئى الوحيد الذى يؤثر فى محتوى الخضر من فيتامين ج. أما تأثير الضوء على باقى العناصر الغذائية، فإنه ضعيف أو معدوم (Bradley ١٩٧٢).

وليس لشدة الإضاءة تأثيرًا يذكر على فيتامينات B، ولكن مع زيادة شدة الإضاءة يزداد محتوى الخضر من فيتامين C، وينخفض محتواها من الكاروتينات الكلية (وهى بادئات لفيتامين A) والكلوروفيل.

وتُنتج الخضر السكريات بكميات أكبر مع زيادة شدة الإضاءة، مما يؤدى إلى زيادة محتواها من فيتامين C. كما تؤدى زيادة شدة الإضاءة إلى ارتفاع حرارة النباتات؛ مما يثبط تمثيل الكاروتين، وهو الذى يحمى الكلوروفيل من الفقدان (الـ bleaching) فى الضوء القوى (Kader وآخرون ٢٠٠٧).

ولقد وجد أن محتوى أوراق الخس من حامض الأسكوربيك، والسكريات، والكلوروفيل يزداد نهارًا عنه ليلاً (عن Etoh ١٩٩٤).

كما انخفض محتوى أوراق السباتخ النامية فى إضاءة منخفضة من حامض الأسكوربيك، بينما ازداد محتواها من كل من الأوكسالات والنترات ( Proietti وآخرون ٢٠٠٤).

ولقد أدت زيادة شدة الإضاءة التى تنمو فيها ثلاثة أصناف من الفلفل ذات الثمار البرتقالية اللون (من إضاءة البيوت المحمية المظللة إلى البيوت المحمية غير المظللة إلى الإنتاج الحقلى) إلى زيادة محتوى المواد الكاروتينية الكلية فى النمو الخضرى للنباتات بنحو الضعفين، بينما انخفض محتوى الثمار من الكاروتينات بمقدار ٢ – ٣ مرات، وكانت جميع الأصناف متماثلة فى استجابتها لشدة الإضاءة، على الرغم من تباينها فى محتواها من مختلف المركبات الكاروتينية (Keyhaninejad وآخرون ٢٠١٢).

ويؤدى ارتفاع حرارة سطح الثمار – بسبب تعرضها لأشعة الشمس المباشرة - أثناء تفتحها – إلى حدوث نقص جوهرى فى محتواها من الليكوبين، ولكن مع حدوث زيادة جوهرية فى محتواها من كل من البولى فينولات وحامض الأسكوربيك (Pék وآخرون ٢٠١١).

وأدى تعريض نباتات بنجر المائدة للضوء الأخضر (بنسبة ٠,٤٣ أشعة حمراء: أشعة تحت حمراء تحتوى على ٢٥,٨٪ أشعة نشطة فى البناء الضوئى، باستخدام أغشية تتحكم فى الضوء النافذ من خلالها) .. أدى ذلك إلى خفض الوزن الجاف لكل من الجذور الخازنة (٦٨٪) والأوراق (٤٢٪)، ولكن مع زيادة فى تركيز المواد الكربوهيدراتية الذائبة فى الجذور، ومحتواها من كل من البوتاسيوم والمغنيسيوم والزنك (٤٠,٠٨، و٢,٩٥، و٠,٠٢٣ مجم/ جم وزن طازج، على التوالى. وعلى خلاف ذلك .. أدى تعريض النباتات للضوء الأخضر إلى خفض محتواها من كل من تركيز الفينولات الكلى (٠,٣٣ مقابل ٠,٤٧ مجم/ جم وزن طازج) والنشاط المضاد للأكسدة (٠,٦٥ مقابل ٠,٩٤ مكافئ تروليوكس Trolox/ جم وزن طازج)، مقارنة بالكنترول. كذلك انخفض التركيز الكلى للصبغة بنحو ٢٠٪، و٤٨٪ عند التعريض لكل من الضوء الأحمر (بنسبة ١,٢٩ أشعة حمراء: تحت حمراء تحتوى على ٦٦,٩٪ أشعة نشطة فى البناء الضوئى) والأخضر، على التوالى (Stagnari وآخرون ٢٠١٤).

## درجة الحرارة

تحفز الحرارة المنخفضة تمثيل السكريات وفيتامين C فى الخضر، وتقلل فى الوقت ذاته من معدل أكسدة حامض الأسكوربيك.

وبينما يزيد إنتاج خضروات الجو الدافئ (مثل الفاصوليا والطماطم والفلفل والكنتالوب ... إلخ) من فيتامينات B فى الحرارة العالية (٢٧- ٣٠ ْم) عما فى الحرارة المنخفضة (١٠- ١٥ ْم)، فإن خضروات الجو البارد (مثل البروكولى والكرنب والسبانخ والبسلة ... إلخ) تنتج قدرًا أكبر من فيتامينات B فى الحرارة المنخفضة عما تنتجه فى الحرارة العالية.

وبالمقارنة.. فإن الحرارة المنخفضة تناسب تمثيل السكريات وفيتامين C (نظرًا لأن الجلوكوز يعد بادئًا لحامض الأسكوربيك)، وتقلل من أكسدة حامض الأسكوربيك.

ويصل البيتاكاروتين (بادئ فيتامين A) إلى أعلى محتوى له فى الطماطم فى مدى حرارى يتراوح من ١٥- ٢١ ْم، ولكنه ينخفض فى الحرارة الأقل والأعلى عن هذا المدى؛ بسبب حساسية تمثيل الليكوبين لدرجة الحرارة، وهو الذى يعد بادئًا لكل من البيتاكاروتين واللويوتين lutein (Kader وآخرون ٢٠٠٧).

وقد ازداد محتوى البيتاكاروتين فى الخس (وكذلك السبانخ) بانخفاض درجة حرارة الهواء، وبزيادة شدة الإضاءة، أو بكليهما معًا، بينما انخفض المحتوى (فى كلا المحصولين) بزيادة الوزن الطازج للنباتات (Oyama وآخرون ١٩٩٩).

وعندما زُرعت السبانخ فى مزرعة مائية مع تعريض جذورها لحرارة مقبولة مناسبة قدرها ٢٠ ْم، ثم خُفِّضت حرارة الجذور – فقط – لـ ٥ ْم قبل الحصاد بأسبوعين لمدة أسبوع واحد، فإن تلك المعاملة أحدثت زيادة جوهرية فى محتوى الأوراق من كل من السكريات وحامض الأسكوربيك والحديد، بينما خفَّضت بشدة من محتواها من النترات وحامض الأوكساليك. وربما يمكن الاستفادة من معاملة كهذه فى زيادة القيمة الغذائية للخضروات التى تُنتج فى المزارع المائية (Hidaka وآخرون ٢٠٠٨).

ويزداد تمثيل الأنثوسيانين فى الشيكوريا فى الحرارة المنخفضة (١٠/١٥ ْم)، تليها حرارة ١٥/٢٠ ْم، ثم فى ٢٠/٢٥ ْم، بينما يُثبط إنتاج تلك الصبغات بنسبة تزيد عن ٩٠٪ فى حرارة

٢٥/٣٠ ْم ؛ فيكون اللون أخضر تقريبًا. وقد توازى محتوى السكر مع تكوين الأنثوسيانين فى نفس درجات الحرارة. ويبدو أنه فى ظروف الحرارة المنخفضة ربما تلعب منظمات النمو (حامض الأبسيسك والإثيلين وحامض الجيريلك) دورًا هامًّا فى تمثيل الأنثوسيانين وفى نشاط إنزيم الـ phenylalanine ammonia-lyase (Boo وآخرون ٢٠٠٦).

## ظروف الشد البيئى

على الرغم من أن تعرض النباتات لأى من ظروف الشد البيئى يؤدى إلى زيادة محتواها من مختلف المواد المؤكسدة ومنتجات الأيض الثانوية – مما يزيد من قيمتها الطبية والصيدلانية – فإن تأثير التعرض للأشعة فوق البنفسجية UV-B على مدى واسع من منتجات الأيض (مثل الفينولات والتربينات terpenoids والقلوانيات alkaloids) أمر لم يُحسم بعد؛ إذا إن التعريض للأشعة قد يؤدى إلى زيادة فى محتوى بعضها ، ونقص فى محتوى بعضها الآخر (Jensen وآخرون ٢٠٠٨).

### شد الملوحة

من الممكن زيادة محتوى الكاروتينات الكلية والليكوبين بثمار الطماطم – مع توقع انخفاض محدود فى المحصول – بزيادة الملوحة فى مياه الرى إلى ٤,٤ ديسى سيمنز/م [٠,٢٥٪ كلوريد صوديوم (وزن/ حجم)]؛ وبذا.. يمكن زيادة محتوى مضادات الأكسدة فى الثمار (Paseale وآخرون ٢٠٠١).

كما وجد أن محتوى ثمار الطماطم من المركب gamma-aminobutyric acid – الذى يُعد من المركبات ذات التأثير المضاد لارتفاع ضغط الدم antihypertensive فى الإنسان – يزداد بمقدار ١,٤ – ٤,٧ ضعف لدى تعرض النباتات لشدِّ ملحى مقداره ٥٠ أو ١٠٠ ملى مول كلوريد صوديوم (Kushi & Matsuzoe ٢٠٠٧).

وأدى إنتاج الفراولة فى تركيز معتدل من الملوحة (٤٠ ملى مول كلوريد صوديوم / لتر من المحلول المغذى) إلى زيادة نشاط إنزيم السوبر أوكسيد دسميوتيز superoxide dismutase، ومحتوى كل من الجلوتاثيون والفينولات والأنثوسيانينات، مع انخفاض فى محتوى حامض الأسكوربيك، وذلك فى الصنف Korona الأقل حساسية للملوحة. أما فى الصنف Elsanta الحساس، فقد استجاب لمعاملة الملوحة المعتدلة بنفس طريقة استجابة

الصنف الأقل حساسية، إلاَّ أن الانخفاض فى محتوى حامض الأسكوربيك به كان أكثر وضوحًا، بينما انخفض محتواه من الأنثوسيانينات ولم يتأثر محتواه من الفينولات. وفى كلا الصنفين انخفض محتوى الجلوتاثيون بمعاملة النباتات بمستوى عالٍ من الملوحة، وصل إلى ٨٠ مللى مول كلوريد صوديوم / لتر من المحلول المغذى. ويعنى ذلك أن صنف الفراولة الأقل حساسية للملوحة يمكن إنتاجه فى ظروف ملوحة معتدلة لتحسين جودة الثمار ( Keutgen & Pawelzik ٢٠٠٧).

وأدت معاملة كلا من الخرشوف والكردون بأى من كلوريد الصوديوم أو كلوريد البوتاسيوم إلى تقليل إنتاجهما للكتلة الحيوية بنحو ٣٠٪، بينما لم تختلف الكتلة الحيوية بين معاملتى كلوريد الكالسيوم والكنترول. وفى كلا المحصولين أدت المعاملة بكلوريد البوتاسيوم إلى تحسين محتواهما من كل من الفينولات والفلافونويدات flavonoids، والنشاط المضاد للأكسدة وفينولات معينة فى الأوراق بعد ٤٨، و ٨٢، و ١٠٥ أيام من زراعة البذور، بينما تحسنت نوعية الأوراق بمعاملتى كلوريد الصوديوم وكلوريد الكالسيوم فقط بعد ٨٢، و١٠٥ أيام من زراعة البذور. وبغض النظر عن معاملات الملوحة، احتوت أوراق الكردون على كميات أكبر من الفينولات والفلافونويدات، والنشاط المضاد للأكسدة، وفينولات معينة عما احتوته أوراق الخرشوف (Borgognone وآخرون ٢٠١٤).

### شد الجفاف

يمكن للنباتات تمثيل بعض مضادات الأكسدة، ومنها حامض الأسكوربيك والبولى فينولات، استجابة للشدِّ البيئى. تقوم مضادات الأكسدة بوقف الفعل السام للعناصر النشطة فى الأكسدة فى النباتات، كما أن لها فائدتها لصحة الإنسان. وقد وجد أن خفض مستوى الماء فى المزارع المائية للخس قبل حصاده – مما يعرضها لشدٍّ جفافى – أدى إلى زيادة محتوى النباتات من كل من حامض الأسكوربيك، والبولى فينولات، والسكر بنسبة ٢٤٪، و ٥٠٪، و١٧٪، على التوالى، مع خفض لمحتواها من النيتروجين النتراتى بنسبة ١٨٪ دون التأثير على المحصول. ويمكن الاستفادة من تلك التقنية – التى أفادت فى زيادة محتوى حامض الأسكوربيك فى أربعة خضر ورقية أخرى – فى زيادة القيمة الغذائية للخضر الورقية دون التأثير على محصولها (Koyama وآخرون ٢٠١٢).

كما أدى تعريض نباتات الفراولة لشدٍّ جفافى جزئى إلى زيادة محتوى الثمار من المركبين الرئيسيين لمضادات الأكسدة، وهما: حامض الأسكوربيك ascorbic acid، وحامض الإلاَّجك ellagic acid (Dodds ولآخرون ٢٠٠٧).

وأدى تقليل معدل الرى وزيادة ملوحة مياه الرى إلى تحسين صفات جودة ثمار الفلفل الأخضر والأحمر، وتمثل ذلك فى زيادة محتوى المادة الجافة والمواد الصلبة الذائبة والحموضة المعايرة. كذلك أدى خفض معدل الرى إلى زيادة محتوى الثمار الخضراء من فيتامين C بنسبة ٢٣٪، بينما لم يكن لذلك الخفض تأثيرًا على فيتامين C فى الفلفل الأحمر. وبالمقارنة .. ازداد محتوى الكاروتينات الكلية وبادئ فيتامين A فى الثمار الحمراء فقط بنسبة ٣٠٪، و١٥٪ - على التوالى – نتيجة لتقليل معدل الرى (Marin وآخرون ٢٠٠٩).

وفى المقابل .. أحدث توفير الرطوبة الأرضية للبصل (بالرى فى الزراعات التى تعتمد على المطر) زيادة جوهرية فى محتوى الأبصال من الفلافونات الكلية والبولى فينولات الكلية، وذلك فى السنوات التى قلت فيها الأمطار، كما ازداد محصول الأبصال بنسبة بلغت ٣٣٪ إلى ١٦٠٪ حسب سنة الدراسة (Ombódi وآخرون ٢٠١٣).

وعلى الرغم من أن زيادة الشد الرطوبى لمحصول بنجر السكر إلى ٥٠٪، و٣٠٪ من الرطوبة عند السعة الحقلية قللت محصول الجذور ومحتواها من المادة الجافة، وإلى تقليل توصيل الثغور، فإن شد الجفاف هذا أحدث زيادة جوهرية فى محتوى الجذور من كل من الفينولات الكلية (زيادة ٨٦٪)، والبيتالانات betalanis (٥٢٪ زيادة فى الـ betacyanin، و٧٠٪ زيادة فى الـ betaxanthin)؛ ومن ثم زيادة فى النشاط المضاد للأكسدة فيها. كذلك ازداد فى الجذور التى تعرضت لشد الجفاف تركيز عناصر المغنيسيوم والفوسفور والزنك والحديد، ولكن مع حدوث انخفاض فى محتوى الجذور من السكريات الكلية (Stagnari وآخرون ٢٠١٤).

## المعاملات الزراعية وطرق الإنتاج

يتأثر محتوى الخضر من مختلف العناصر الغذائية بعديد من المعاملات الزراعية كالتسميد والمعاملات الكيميائية وطرق الإنتاج، كما يتبين من المناقشة التالية.

## معاملات التسميد

### التسميد بالنيتروجين

أجريت محاولات لزيادة محتوى النباتات من البروتين بزيادة معدلات التسميد الآزوتى. ففى الذرة أمكن زيادة نسبة البروتين فى الحبوب من ٧,٨٪ إلى ١٠,٤٪ فى موسم زراعى واحد، إلا أن ذلك كان مصحوبًا بزيادة فى نسبة البروتين زيين Zein، ونقص فى نسبة الحامض الأمينى ليسين Lysine من ٣,٠٪ إلى ٠,٩٩٪، وبذلك انخفضت قيمته الغذائية. وقد حدث نفس الشئ فى القمح؛ حيث أدت زيادة التسميد الآزوتى إلى زيادة نسبة البروتين الكلية، مع انخفاض نسبة الحامض الأمينى ليسين.

كما أدت زيادة التسميد الآزوتى إلى إحداث زيادة جوهرية فى نسبة البروتين فى الأجزاء المستعملة فى الغذاء من كل من الخس، والمسترد، والكولارد، والكرنب، والبنجر، والذرة السكرية، والطماطم، والفلفل، والفاصوليا، إلا أن ذلك كان مصحوبًا غالبًا بنقص فى محتوى الخضر من فيتامين ج. وقد يمكن إرجاع ذلك إلى زيادة النمو الخضرى التى صاحبت زيادة التسميد الآزوتى، وما أدى إليه ذلك من ضعف فى شدة الإضاءة، وكما سبق الذكر .. توجد علاقة مؤكدة بين شدة الإضاءة ومحتوى النباتات من فيتامين ج (Splittstoesser وآخرون ١٩٧٤، وHarris ١٩٧٥).

وانخفض كذلك محتوى أوراق الخس من كل من المادة الجافة، والسكريات (الجلوكوز والفراكتوز)، وحامض الاسكوربيك بزيادة مستوى التسميد الآزوتى من ٥٠ إلى ٢٠٠ كجم N للهكتار (٢١ إلى ٨٤ كجم N للفدان)، بينما ازداد محتوى النترات. كما وجد أن محتوى الأوراق من المادة الجافة وحامض الاسكوربيك، والنترات ينخفض بالاتجاه نحو الأوراق الداخلية، بينما يزداد محتوى السكريات.

وأدت زيادة تركيز النيتروجين فى المحلول المغذى للبقدونس فى مزرعة مائية – تدريجيًا – من ٦,٠ إلى ١٠٥,٠ مجم N / لتر إلى ما يلى:

١- زيادة الكتلة الحيوية.

٢- زيادة محتوى الأوراق من النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم.

٣- زيادة محتوى الأوراق من الـ lutein – zeaxanthin، والبيتا كاروتين، والكلوروفيل.

٤- انخفاض محتوى الأوراق من الحديد والمنجنيز والموليبدنم.

٥- زيادة تربيعية quadratic فى محتوى الأوراق من كل من الكالسيوم والمغنيسيوم والكبريت والبورون والنحاس والزنك (Chenard وآخرون ٢٠٠٥).

ولقد أدى تسميد السبانخ بنترات الكالسيوم بمعدل يعادل التسميد بـ ١٣٠ أو ١٥٠ كجم N للهكتار (٣١ – ٦٣ كجم/ فدان) من نترات الأمونيوم إلى إحداث زيادة جيدة فى بعض العناصر الكبرى الهامة للإنسان، مثل الكالسيوم والبوتاسيوم والفوسفور، لكن تلك المعاملة لم يكن لها تأثير على محتوى السبانخ من الجلوكوز والفراكتوز والسكروز والمغنيسيوم (Stagnari وآخرون ٢٠٠٧).

وأدت إضافة سماد اليوريا للكرنب فى دفعات – بدلاً من إضافتها فى دفعة واحدة – إلى زيادة استجابته للكبريت، ومن ثم زيادة محتواه من الجلوكوسينولات، وذلك من ٥٨٣٦ ميكروجرام / جم وزن جاف فى حالة التسميد فى دفعة واحدة إلى ٧٢٠٨ ميكروجرام / جم وزن جاف عند التسميد على دفعات، ومن ٤٣٥١ إلى ٧٢٠٨ ميكروجرام/ جم وزن جاف عند زيادة التسميد بالكبريت مع التسميد باليوريا على دفعات (Groenbaek & Kristensen ٢٠١٤).

وتؤدى المحافظة على مستوى عالٍ من الأمونيوم خلال مراحل النمو إلى إحداث خفض واضح فى محتوى الأوكسالات بالخضر المنتجة فى المزارع المائية، إلاّ أن التعرض للأمونيوم لفترة طويلة يُحدث تسممًا بالنباتات؛ ومن ثم يقلل من إنتاج الكتلة البيولوجية. هذا إلاّ أن التعريض للأمونيوم لفترة قصيرة قبل الحصاد فى المزارع المائية يعد بديلاً جيدًا لخفض محتوى الأوكسالات فى السبانخ مع الحد من نقص المحصول الذى يُحدثه التسمم بالأمونيا. وقد ثبت ذلك بالفعل عندما نُميت النباتات فى محلول مغذٍ يحتوى على ٨ ملى مول $NO^-_3$/ لتر حتى قبل الحصاد بستة أيام، ثم نقلت النباتات إلى محلول مغذٍ يحتوى على ٤ ملى مول $NO^-_3$ / لتر، و٤ ملى مول $NH^+_4$/ لتر؛ حيث أدى ذلك إلى خفض تراكم الأوكسالات وزيادة مستوى عديد من المركبات المضادة للأكسدة، وزيادة نشاطها المضاد للأكسدة فى الأجزاء المأكولة من نبات السبانخ، دون التأثير على إنتاج الكتلة البيولوجية (Lin وآخرون ٢٠١٤).

## التسميد بالبوتاسيوم

ازداد محتوى ثمار الطماطم من الليكوبين خطيًا مع زيادة تركيز البوتاسيوم فى المحلول المغذى من ١٥٠ إلى ٤٥٠ مجم K/ لتر، وكان محتوى الليكوبين أعلى فى ثمار صنفين مصنفين على أنهما عاليين فى صبغة الليكوبين – وهما: SVR، وKabiria – عما فى ثمار الصنف العادى فى الليكوبين: Esperanza (Serio وآخرون ٢٠٠٧).

ويرتبط محتوى ثمار الطماطم من البوتاسيوم خطيًا (من ١٢٣٦ إلى ١٩٩١ مجم/ كجم وزن طازج) مع زيادة مستوى التسميد بالبوتاسيوم (من صفر إلى ٣٧٢ كجم K/ هكتار) (Taber وآخرون ٢٠٠٨).

تتباين أصناف الطماطم فى محتوى ثمارها من الليكوبين، وفى مدى تأثر ذلك المحتوى بمستوى التسميد بالبوتاسيوم كما أسلفنا. وفى دراسة أجريت على هذا الموضوع وُجد أن الهجين العالى فى الليكوبين Fla 8153 يزيد فيه محتوى الثمار من الليكوبين بمقدار ٩,٥ مجم/ كجم وزن طازج عما فى ثمار الصنف Mountain Spring. وبينما لم يتأثر محتوى الليكوبين (٤٤,٢ مجم/ كجم) بمستوى التسميد البوتاسى (من صفر إلى ٣٧٢ كجم K/ فدان) فى الصنف الأخير، فإن محتوى الليكوبين ازداد فى ثمار الهجين Fla 8153 بمقدار ٢١,٧٪ (من ٥١,٧ إلى ٦٢,٩ مجم / كجم وزن طازج) بزيادة مستوى التسميد البوتاسى. ولقد ارتبط محتوى ثمار الهجين Fla 8153 من البوتاسيوم – جوهريًا – مع محتواها من كل من الكاروتينات: phytoene، و phytofluene؛ بما قد يدل على دور محتمل للبوتاسيوم فى عمل أحد الإنزيمات التى تُمثّل الـ phytoene (Taber وآخرون ٢٠٠٨).

كذلك وجد أن زيادة نسبة البوتاسيوم إلى الكالسيوم فى المحلول المغذى أدت إلى زيادة محتوى ثمار الفلفل الخضراء والحمراء من كل من فيتامين C، وبادئ فيتامين A، والفينولات الكلية (Marin وآخرون ٢٠٠٩).

ومن المعلوم أن المرضى المصابون بأمراض الكلى المزمنة يتعين عليهم الحد من استهلاك الأغذية الغنية فى البوتاسيوم، مثل الكنتالوب؛ وبذا .. فإنه لا يمكنهم التمتع باستهلاك الكنتالوب مع باقى أفراد الأسرة؛ إذا إن استهلاك الكنتالوب يعد حلمًا بالنسبة لمرضى الفشل الكلوى (dialysis).

ولقد وجد أن خفض تركيز البوتاسيوم – على صورة نترات بوتاسيوم – فى المحاليل المغذية للكنتالوب بدءًا من تفتح الزهرة حتى الحصاد أدى إلى خفض محتوى الثمار من البوتاسيوم – ازداد بزيادة مستوى الخفض فى البوتاسيوم فى المحلول المغذى – دون حدوث تأثير جوهرى على محصول الثمار. كذلك لم يتأثر النمو النباتى كثيرًا بخفض مستوى البوتاسيوم فى المحلول المغذى، باستثناء حدوث انخفاض فى الوزن الجاف للنمو الجذرى. كما أدى خفض مستوى التسميد بالبوتاسيوم إلى حدوث انخفاض جوهرى فى محتوى حامض الستريك فى ثمار بعض الأصناف وفى محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية فى أحد مواسم الزراعة.

وعمومًا .. فقد أدى خفض مستوى البوتاسيوم فى المحلول المغذى إلى رُبع تركيزه العادى إلى خفض محتوى الثمار من البوتاسيوم بنسبة ٣٩٪، مقارنة بالمحتوى فى ثمار النباتات التى أعطيت محلول مغذٍ قياسى (Asao وآخرون ٢٠١٣).

## التسميد بالفوسفور

درس Peck وآخرون (١٩٨٠) تأثير التسميد بالفوسفور والزنك على مستوى كل من: الفوسفور، والزنك، وحامض الفيتيك phytic acid، وحامض الأوكساليك Oxalic acid فى الأجزاء المستعملة فى الغذاء من كل من: البسلة والفاصوليا (بذور خضراء وجافة) والكرنب، والبنجر، وقد أضافوا الفوسفور بمعدلات: صفر، و ١٣,٨، و٢٥,٢، و٥٠,٤ كجم للفدان، وسمدوا بالزنك فى صورة كبريتات زنك أو كلوريد زنك بمعدلات: صفر، و٢,١، و٨,٤، و٣٣,٦ كجم للفدان، وكان التسميد فى خنادق وقت الزراعة. وقد وجدوا أن زيادة معدلات التسميد الفوسفاتى أدت إلى:

١- زيادة المحصول.

٢- زيادة مستوى الفوسفور فى الجزء المستعمل فى الغذاء من كل محصول.

٣- زيادة حمض الفيتيك فى بذور البسلة الخضراء والجافة، وبذور الفاصوليا الجافة.

٤- نقص مستوى حامض الأوكساليك فى البنجر.

كما أدت زيادة التسميد الفوسفاتى بدون التسميد بالزنك إلى نقص مستوى الزنك فى النباتات، لكن زيادة معدل التسميد الفوسفاتى مع التسميد بالزنك أدت إلى زيادة مستوى الزنك.

ولم يؤثر التسميد بالزنك سلبيًا على المحصول، حتى فى المستويات المرتفعة التى استخدمت فى هذه الدراسة.

## التسميد بالكالسيوم

أدى غمر جذور الخس (فى مزرعة مائية) فى تركيزات مختلفة من الكالسيوم (٢٥,٠ أو ٣٧,٥ مللى مولار) لمدد مختلفة (١٦، أو ٣٢، أو ٤٨ ساعة) إلى زيادة محتوى الأوراق من الكالسيوم، وتناسبت تلك الزيادة طرديًا مع مدة غمر الجذور، كما كانت الزيادة أكبر عند استعمال ملح كلوريد الكالسيوم منها عند استعمال نترات الكالسيوم. كذلك كانت الزيادة فى الكالسيوم أكبر فى الأوراق الداخلية عنها فى الأوراق الخارجية. هذا ولم تكن لمعاملة غمر الجذور أى تأثير سلبى على الوزن الطازج للنبات، أو على مظهر الأوراق او محتواها من البوتاسيوم والمغنيسيوم، ولذا .. فإن هذه الطريقة يمكن اتباعها لزيادة محتوى أوراق الخس من الكالسيوم (Inoune وآخرون ١٩٩٥).

كذلك أدت معاملة الخس – النامى فى مزرعة مائية على ٢٨ ْم – بمحلول مغذٍ يحتوى على ٣٠٠ جزء فى المليون من الكالسيوم (مقارنة بـ ١٠٠ أو ١٥٠ جزء فى المليون) إلى زيادة محتوى الأوراق الطازجة من الكالسيوم من ١٧٩ مجم/ ١٠٠جم إلى ٢٢٩ مجم/ ١٠٠جم، علمًا بأن تلك الزيادة لم تحدث عندما كان الخس ناميًا فى حرارة ٢١ ْم (Nesser وآخرون ٢٠٠٧).

## التسميد بالحديد

أدى غمر جذور السبانخ فى محلول يحتوى على ٥٠ مجم/ لتر من الحديد فى صورة سترات الحديد الأمونيومية ammonium ferric citrate على pH ٣,٠ لمدة ٢٤ ساعة إلى زيادة محتوى الأوراق من الحديد – دون أضرار – إلى ١٠٢,٧ ± ١٢,٥ مجم/ كجم، وهو تركيز يعادل حوالى ١٠ أضعاف تركيز الحديد بأوراق نباتات الكنترول (Inoue وآخرون ١٩٩٧).

## التسميد بالزنك

دُرس تأثير زيادة معدلات التسميد بالزنك فى أكثر من ٢٠ نوعًا من الخضر على محتواها من العنصر فى محاولة للاستفادة من ظاهرة الاستهلاك الترفى فى زيادة القيمة الغذائية لتلك

الخضر، ووجد أن زيادة معدلات التسميد تؤدى بالفعل إلى زيادة مستوى الزنك فيها عن التركيز الطبيعى. وبينما تساوت معدلات الزيادة فى كل من الأنسجة الحديثة والمسنة، فإنها تباينات بين مختلف الأعضاء النباتية، حيث تركز الزنك بدرجة أكثر فى الجذور، فالسيقان، فالأوراق، فالثمار (Wu وآخرون ١٩٩٥).

وبناء على ما تقدم بيانه .. فإنه يمكن زيادة محتوى الخضر من الزنك بزيادة التسميد بالعنصر فى الأصناف التى يمكن أن تستجيب لتلك الزيادات، ويتراكم فيها الزنك فى الأجزاء المأكولة منها. وتُعد البطاطس أحد المحاصيل الهامة لهذا الغرض نظرًا لكونها تُستهلك بكميات كبيرة نسبيًّا. وباختبار ٢٣ صنفًا وسلالة من البطاطس وجدت اختلافات جوهرية بينها فى تركيز الزنك بالدرنات، وكان المتوسط العام ١٠,٨ مجم زنك/ كجم مادة جافة، وبلغت النسبة بين أقل وأعلى تركيز للزنك بالدرنات فى تلك الأصناف ١,٧٦. كما وجد أن تركيز الزنك بالدرنات يمكن زيادته بالتسميد الورقى بالعنصر، وبلغ أقصى تركيز بالدرنات ٣٠ مجم زنك/ كجم مادة جافة عند معدل تسميد قدره ١,٠٨ جم زنك/نبات. ومع زيادة معدل التسميد بالزنك إلى ٢,١٦ جم/نبات ازداد تركيز العنصر بالأوراق بمقدار ٤٠ ضعف؛ بينما ازداد التركيز بالدرنات بمقدار الضعف فقط، وذلك مقارنة بالتركيز عندما كان التسميد بمعدل ١,٠٨ جم زنك/ نبات (White وآخرون ٢٠١٢).

وأدى رش نباتات البسلة فى مرحلة تهيئة تكوين البراعم الزهرية بكبريتات الزنك بتركيز ٠,٥٪ إلى زيادة محتوى البذور من كل من الزنك والمواد الكربوهيدراتية (السكريات) والبروتين ( Pandey وآخرون ٢٠١٣).

## التسميد بالسيلينيم

يدخل السيلينيم selenium فى تركيب الـ selenoprpteins؛ ولذا .. يعد العنصر ضروريًّا لصحة الإنسان. ويحصل الإنسان على حاجته من هذا العنصر من الخضروات التى يتوقف محتواها منه على مدى توفره فى التربة . ولقد وجد أن زراعة الكرنب والخس والسلق فى بيت موس مزود بالسيلينيم على صورة المنتج التجارى Selecto Ultra، أو $Na_2SeO_3$، أو $Na_2SeO_4$ إلى زيادة محتوى الخضروات إلى ما بين ٠,١ مجم Se/ كجم، و٣٠ مجم Se/كجم

فى تلك التى زودت فيها بيئة الزراعة بالـ Selecto Ultra، وإلى ما بين ٠,٤ مجم Se، و١٦٠٦ مجم Se/ كجم فى تلك التى زودت فيها بيئة الزراعة بالسيلينيم المعدنى. وقد ازداد محتوى السيلينيم فى النباتات بزيادة السيلينيم المضاف لبيئة الزراعة، إلاّ أن التركيزات العالية من العنصر يمكن أن تضر بالنباتات أو توقف نموها، وكان الكرنب أكثرها تحملاً للعنصر (Funes-Collado وآخرون ٢٠١٣).

ومن المعروف أن السيلينيم يمكن أن يؤدى إلى زيادة المكونات الغذائية كالكربوهيدرات، والسيلينينم العضوى، والبروتينات، والأحماض الأمينية فى البطاطس. وقد دُرس تأثير العنصر على محتوى الفينولات الكلى فى البطاطس القرمزية، وهى التى تتكون من حامض الكلوروجنك chlorogenic acid، وحامض الكافيك caffeic acid، والـ malvidin-5-glu-3-dirhamonose-glucose، والـ caffeic acid-acetylrhamnose ester، والـ caffeic acid-prenyltrhamnose ester. وقد وجد أن تلك الفينولات الأساسية يزداد تركيزها جوهريًّا بالمعاملة بالسيلينيم، فضلاً عن زيادة المعاملة لمحصول الدرنات (Lei وآخرون ٢٠١٤).

ولقد أدت معاملة نباتات البطاطس تحت ظروف الحقل بسيلينيت الصوديوم sodium selenite بمعدل ٥٠جم سيلينيوم للهكتار (٢١ جم/ فدان) إلى زيادة محتوى الدرنات من العنصر من حوالى ٠,٠١٢ ميكروجرام / جم إلى ٠,٠٦٠ ميكروجرام/ جم، وعندما كانت المعاملة بـ ١٥٠ جم من السيلينيم للهكتار (٦٣ جم/فدان) ازداد تركيز العنصر بالدرنات إلى < ٠,١ ميكروجرام/جم (Poggi وآخرون ١٩٩٩).

كما وجد أن كل ١٠٠ جم من ثمار الطماطم المنتجة فى مزرعة مائية مزودة بالسيلينيم تحتوى على ٥٨ ميكروجرامًا من العنصر، وذلك دون التأثير على محصول الثمار (Pezzarossa وآخرون ٢٠١٤).

وعلى الرغم من أن اليود والسيلينيم ليسا من العناصر الضرورية للنبات، إلاّ أنهما يلعبان أدوارًا هامة فى كل من الإنسان والحيوان. وقد دُرس تأثير المعاملة باليود والسيلينيم فى صورة $KIO_3$، و $Na_2SeO_4$، على التوالى، وذلك بطريقتى الرش الورقى والإضافة للمحاليل المغذية، وتبين أن معاملة الرش كانت أكثر فاعلية عن الإضافة للمحاليل المغذية فى زيادة

محتوى أوراق الخس من كلا العنصرين، وأدت المعاملة الورقية باليود والسيلينيم معًا إلى زيادة امتصاص الأوراق للسيلينيم، مقارنة بامتصاص الأوراق للعنصر عند رشها به منفردًا (Smolen وآخرون ٢٠١٤).

## التسميد بالكبريت وعلاقته بمحتوى السيلينيم

أوضحت دراسات Randle & Bussard (١٩٩٣) على ٦٢ صنفًا من البصل زرعت تحت ظروف المستويات المرتفعة (٤,٠ مللى مكافئ / لتر) والمنخفضة (٠,١ مللى مكافئ / لتر) من التغذية بالكبريت وجود اختلافات جوهرية بين الأصناف – عند مستويى الكبريت – فى محتوى أوراقها وأبصالها من الكبريت، وفى حامض البيروفيك pyruvate (المسئول عن الحرافة pungency) الذى ينتج إنزيميا فى أنسجة الأبصال.

ووجد أن زيادة محتوى البصل من السيلينيم تتطلب إحداث خفض نسبى فى مستوى توفر الكبريت للنبات (Barak & Goldman ١٩٩٧).

وكما هو معروف .. فإن توفر السيلينيم يؤدى إلى زيادة امتصاص النباتات للكبريت، ولكن على الرغم من توفر الكبريت فإن لوجود السيلينيم تأثير سلبى على إنتاج جلوكوسينولات معينة بالنبات (Toler وآخرون ٢٠٠٧ أ). ومع زيادة توفر الكبريت للنبات يزداد محتواها من الجليكوسينولات عما فى النباتات التى تُعامل بالسيلينيم (Toler وآخرون ٢٠٠٧ ب).

## تركيز المحاليل المغذية

دُرس تأثير تركيز المحلول المغذى لإنتاج الكردون والخرشوف فى مزرعة مائية على محتوى الأوراق من البولى فينولات الرئيسية، ووجد أن التركيزات المنخفضة من العناصر السمادية أدت إلى تحسين جودة الأوراق بزيادة محتواها من كل من الفينولات الكلية، والأحماض الفينولية، والفلافونات، ولكن ذلك كان على حساب كمية محصول الأوراق التى تستخدم فى الأغراض الطبية والغذائية (Rouphael وآخرون ٢٠١٢).

## المعاملة بالميكوريزا

أدى تلقيح نباتات الخس بالميكوريزا وزراعتها فى غير فصل الشتاء الأكثر مناسبة لنموها إلى إنتاجها لكتلة بيولوجية مماثلة لتلك التى تنتجها شتاءً، أو أكبر منها، كما أدت الميكوريزا إلى تراكم

الحديد والبروتينات والمركبات الكاروتينية والأنثوسيانينية فى كل من فصلى الشتاء والربيع، كما ازداد فى نباتات الخس الملقحة بالميكوريزا والنامية فى فصلى الصيف والخريف تراكم الأنثوسيانينات. كذلك أدى التلقيح بالميكوريزا فى فصلى الشتاء والربيع إلى زيادة تراكم البوتاسيوم وحامض الأسكوربيك، وإلى زيادة تراكم المغنيسيوم والنحاس فى فصلى الشتاء والصيف، وإلى زيادة تراكم النحاس والزنك والسكريات فى فصل الربيع، والمنجنيز فى الخريف (Baslam وآخرون ٢٠١٣).

## تأثير التطعيم

أدى تطعيم البطيخ على أصل هجين من الكوسة إلى زيادة محتوى الثمار من كل من: الليكوبين بنسبة ٤٠,٥٪، والدايهيدروأسكوربيت dehydroascorbate بنسبة ١٣٪، وحامض الأسكوربيك بنسبة ٧,٣٪ عما فى ثمار النباتات غير المطعومة (Simona وآخرون ٢٠٠٨).

## المعاملات الكيميائية

### الجليسين بيتين

أدى رش نباتات الفراولة بأى من الجليسين بيتين betaine glycine، أو الـ benzothiadiazole فى مرحلة النمو المبكرة للبادرات (٣-٤ أوراق) إلى تحفيز مستوى عديد من المركبات الفينولية الهامة لصحة الإنسان بأوراق النباتات، وخاصة كلا من: ellagi-tannin، وellagic acid، ومشتقات الـ gallic acid من الـ quercetin والـ kaempferol (Karjalainen وآخرون ٢٠٠٢).

### حامض الأسكوربيك

دُرس تأثير غمر جذور بعض الخضر الورقية (الخس والبصل الأخضر والسبانخ) لمدة ١٢ ساعة فى محلول من حامض الأسكوربيك L-ascorbic acid بتركيز ٣٠٠٠ جزء فى المليون، ووجد أن نباتات الخس امتصت كل كمية حامض الأسكوربيك المذابة، بينما امتصت نباتات السبانخ والبصل أكثر من ٩٠٪ من كمية الحامض. وقد ترتب على المعاملة زيادة تركيز الـ L-ascorbic acid فى الأوراق من ٣٨,٩ إلى ٢٠١-٢٢١ مجم/١٠٠ جم فى الخس، ومن ٧٦,٥ إلى ١٩٦-٢٢٥ مجم/١٠٠ جم فى السبانخ، ومن ٤٦,٧ إلى ١٣٤- ١٤٤ مجم/١٠٠ جم فى البصل الأخضر. وقد احتفظت تلك الخضر بمحتواها من حامض الأسكوربيك لدى تخزينها لمدة سبعة أيام على ٤°م، لكن ليس على ٢٥°م (Inoue وآخرون ١٩٩٨).

## معاملات منظمات النمو

### حامض الجيريلك

للخرشوف أهمية طبية نظرًا لمحتواه من المركبات الفينولية، مثل السينارين cynarin وحامض الكلورجنك chlorogenic acid. والسينارين- وهو: 1,5-dicaffeoylquinic acid - ويشتق من حامض الكافيك caffeic acid، وله تأثيرات على أمراض الكبد والقنوات المرارية hepatobillary diseases، وارتفاع مستوى الدهون فى الدم hyperlipidaemia ، والاستسقاء dropsy، والروماتيزم rheumatism، وأيض الكوليسترول cholesterol metabolism.

ولقد أحدثت معاملة نباتات الخرشوف بحامض الجيريلك بتركيز ٦٠ جزءًا فى المليون بعد ٤ أسابيع من الشتل زيادة جوهرية فى محتوى الأوراق من حامض الكلوروجنك بينما ظل محتوى السينارين ثابتًا كما فى نباتات الكنترول. وعندما كانت زراعة الخرشوف بالبذرة مباشرة أدت المعاملة بحامض الجيريلك إلى تبكير الإزهار، ولكنها لم تؤد إلى زيادة محتوى حامض الكلوروجنك أو السينارين بالأوراق أو بالقنابات الزهرية (الجزء المأكول) إلا عندما كانت المعاملة بالحامض بعد ٦ أو ٨ أسابيع من زراعة البذور (Sharaf-Eldin ٢٠٠٧).

### حامض الجاسمونك

يحتوى صنف الكرنب Ruby Perfection على جلوكوسينولات بتركيزات أعلى جوهريًا عما يحتويه الصنف Qusto. وبدراسة تأثير معاملة الرش الورقى بحامض الجاسمونك jasmonic acid بتركيز ٠,١، و٠,٢ مللى مول على تركيز الجلوكوسينولات فيهما، وجد أنها احدثت زيادة ثابتة فى كل من الـ sinigrin، و الـ gluconapin، والـ glucoiberin فى كل من الصنفين فى سنتى الدراسة، وكذلك زيادة فى كل من الـ progoitrin والجلوكوسينولات الكلية، إلا أن ذلك التأثير لم يكن ثابتًا بين سنتى الدراسة والصنفين (Fritz وآخرون ٢٠١٠).

وعندما عوملت نباتات خمسة أصناف من البروكولى قبل حصادها بأربعة أيام – وهى فى مرحلة اكتمال التكوين للاستهلاك – رشًّا بالمثيل جاسمونيت methyl jasmonate بتركيز ٢٥٠ ميكرومول .. وجد أن المعاملة لم تؤثر على محتوى البروكولى من كل من الفينولات الكلية

والفلافونويدات والنشاط المضاد للأكسدة، لكن تلك المكونات تباينت كثيرًا باختلاف الأصناف وتأثرت بالظروف البيئية التى سادت خلال موسمى الدراسة (Ku & Juvik ٢٠١٣).

## عمر النبات عند الحصاد

انخفض محتوى حامض الأسكوربيك فى ١٠ من أصناف الزراعات المحمية لخس الرؤوس ذات المظهر الدهنى بنسبة ٥١٪ بين مرحلتى بداية تكوين الرؤوس واكتمال تكوينها، بينما ازدادت السكريات المختزلة خلال الفترة ذاتها بنسبة ٤٤٪ (Drews وآخرون ١٩٩٦).

كما وجد أن محتوى خس الرؤوس ذات الأوراق الغضة المتقصفة من حامض الأسكوربيك ينخفض مع تقدم النباتات فى العمر عند الحصاد (Sorensen وآخرون ١٩٩٤).

## الزراعة العضوية

من المؤكد أن الغذاء العضوى ليس أعلى فى القيمة الغذائية عن الغذاء المنتج تقليديًّا. وإن الدراسات التى أجريت لسنوات عديدة لم تجد أى تفوق فى محتوى الأغذية العضوية – من مختلف العناصر المغذية – عن الأغذية المنتجة تقليديًّا، وذلك بخلاف زيادات عرضية بسيطة لوحظت فى فيتامين ج فى البرتقال والبطاطس والخضر الورقية؛ الأمر الذى ربما يكون قد حدث بسبب انخفاض المحتوى الرطوبى للمنتج العضوى من تلك المحاصيل، وهو ما أدى إلى زيادة تركيز فيتامين ج. كذلك قد يتراكم فيتامين ج جراء زيادة تعرض النباتات للشدّ التأكسدى، الذى يحدث لها نتيجة للتعرض للإصابة بالأمراض.

ولقد أظهرت دراسة على الفراولة والذرة أن المنتج العضوى احتوى على تركيزات أعلى من الفينولات عن المنتج التقليدى. وإنه لمن المعروف أن النباتات تُنتج الفينولات استجابة للتعرض للإصابات الحشرية كنوع من المبيدات الطبيعية.

ومن نحو ١٥٠ دراسة يستدل على أن محتوى المنتجات العضوية من النترات والبروتينات تقل قليلاً عما فى المنتجات التقليدية، ولقد كان الفارق فى المحتوى البروتينى واضحًا فى البطاطس، ووصل إلى ٣٪ فى الذرة. كذلك أظهرت عديد من الدراسات أن الأغذية العضوية المصنعة تحتوى على مستويات أعلى من الدهون والسكر والملح، وجميعها ضارة بالصحة.

ولهذه الأسباب .. فإن سلطة مقاييس الدعاية بالمملكة المتحدة UK Advertising Standards Authority أعلنت رفضها لأى إدعاءات بتفوق الأغذية العضوية (عن Pacanoski ٢٠٠٩).

وإن لمن المعروف أنه إلى جانب نواتج التمثيل الغذائى الأولية التى ترتبط بنمو وتطور النباتات فإن النباتات تُمثِّل عديدًا من المركبات الأخرى الثانوية secondary metabolites التى لا يُعرف لها دور أساسى فى العمليات الأيضية. ويعتقد أن هذه المركبات تلعب دورًا فى حماية النباتات لنفسها من الإصابات المرضية والحشرية، وفى تحملها للظروف البيئية القاسية، وجميعها أمور تزداد فرصة تعرض النباتات لها فى ظل الزراعة العضوية. وتقدر هذه المركبات بعشرات الآلاف، ومن المؤكد أنها تؤثر فى الإنسان سلبًا أو إيجابًا. وقد عرفت التأثيرات المفيدة لبعضها والتأثيرات الضارة لبعضها الآخر.

وقد وجد أن حوالى ٥٠٪ من مركبات الأيض الثانوية التى تم اختبارها أحدثت سرطانات متنوعة فى فئران التجارب. ويقدر العلماء أن أكثر من ٩٩٪ من المركبات الكيميائية المحدثة للسرطان – التى نتناولها فى طعامنا – هى مركبات طبيعية، أو تتكون عند طهى الطعام، وليست مخلقة صناعيًّا (عن Chrispeels & Sadava ١٩٩٤ – صفحة ٣٤٥).

إن معظم الدراسات التى قورن فيها المحتوى الغذائى للمنتجات العضوية بالمنتجات التقليدية لم تُظهر اختلافات ثابتة فى هذا الشأن، خاصة فيما يتعلق بالفيتامينات والعناصر. هذا إلاّ أن الدلائل تشير إلى تفوق المنتجات العضوية فى محتوى مركبات الأيض الثانوية على المنتجات التقليدية. ومع ذلك .. فلم تُجر دراسات على العوامل التى يمكن أن تكون مؤثرة فى هذا الشأن. ويبدو أن المشاكل الخاصة بتصميم مثل هذا النوع من الدراسات هى التى تُضعف صحة المقارنات (Zhao وآخرون ٢٠٠٦).

ولم تظهر أدلة مؤكدة على تفوق الأغذية المنتجة عضويًّا فى الفيتامينات والمعادن على الأغذية المنتجة بالطرق التقليدية، أو فى كونها أفضل منها طعمًا؛ فبينما توجد أبحاث تؤكد التفوق، فإنه توجد أبحاث أخرى تنفى أى فروق بينهما (عن Stockdale ٢٠٠١).

ولقد قامت Worthington (٢٠٠١) بعمل حصر للبحوث المنشورة التى قورن فيها محتوى العناصر الغذائية فى المنتجات العضوية بالمحتوى فى المنتجات التقليدية العادية، وكانت نتائج الدراسة كما يلى:

١- كان محتوى المنتجات العضوية أعلى جوهريًا عن المنتجات التقليدية فى كل من فيتامين ج، والحديد، والمغنيسيوم، والفوسفور، وأقل منها جوهريًا فى النترات.

٢- ظهر اتجاه غير معنوى للمحتوى البروتينى المنخفض فى المنتجات العضوية، ولكن بجودة أعلى.

٣- ظهرت زيادة معنوية فى محتوى المنتجات العضوية من العناصر المعدنية، مع محتوى أقل من العناصر الثقيلة.

ووجد عند مقارنة الزراعة العضوية بالزراعة التقليدية عدم تأثر محتوى القنبيط من المواد المضادة للأكسدة أو محتواه من النترات بطريقة الإنتاج، وفى الهندباء ازداد محتواها من المواد المضادة للأكسدة عند إنتاجها عضويًا، وفى الكوسة الزوكينى ازداد تراكم البوتاسيوم فيها فى ظروف الإنتاج العضوى فى التربة الطينية (Maggio وآخرون ٢٠١٣).

**ونلقى – فيما يلى – مزيدًا من الضوء على تأثير الزراعة العضوية – مقارنة بالزراعة التقليدية – على بعض محاصيل الخضر كمًا ونوعًا.**

### الخس

كان تراكم الكالسيوم فى أوراق الخس أعلى (١,٩٠٪ على أساس الوزن الجاف) عندما استعملت الأسمدة التقليدية (N٢٠ – P٤,٤ -K١٦,٦)، عما كان عليه الحال عندما استخدم سماد عضوى (N٣ – P٠,٧ - K٣,٣)، حيث كان ١,٥٨٪. وأدى تزويد المحلول المغذى بالكالسيوم إلى زيادة محتوى الأوراق من العنصر من ١,٥٦٪ عند تركيز كالسيوم قدره ٥٠ مجم/لتر إلى متوسط قدره ١,٨٢٪ عند تركيز ١٠٠ مجم/لتر، و٢٠٠ مجم/لتر (Meagy وآخرون ٢٠١٣).

### الفلفل

وجد أن محصول الفلفل الناتج من الزراعة العضوية تساوى أو زاد عن محصول الزراعة التقليدية حينما تم توفير النيتروجين للزراعة العضوية من الكومبوست، بمعدل ٥٦ أو ١٢٢

كجم نيتروجين للهكتار (٢٣,٥ أو ٤٧ كجم نيتروجين للفدان). ولم تظهر فروق معنوية بين محصولى الزراعة العضوية والزراعة التقليدية فى نسبة الفقد فى الثمار بعد ستة أسابيع من التخزين (Delate وآخرون ٢٠٠٨).

كما وجد أن الفلفل المنتج عضويًا (بالاعتماد على الكومبوست فى التسميد) كان – مقارنة بالفلفل المنتج بالطريقة التقليدية – أعلى محصولاً، وأفضل فى صفات الثمار المورفولوجية التى كانت أعلى محتوى فى كل من حامض الأسكوربيك، والفلافونات الكلية، والبولى فينولات، والبيتاكاروتين، وذلك عندما أجرى تحليل الثمار وهى فى مرحلة النضج الأحمر. وتجدر الإشارة إلى أن جميع هذه المركبات هى من مضادات الأكسدة التى تلعب دورًا هامًّا فى منع الإصابة بالأمراض، وأن بعضها مثل الفلافونات تعد مضادة للأكسدة antioxidants، ومضادة للسرطان anticanceroid، ومضادة للنزف antihemorrhagic، ومضادة للالتهابات antiinflamatory (Azafirowska & Elkner ٢٠٠٨).

وقد تميزت ثمار الفلفل الحلو الناضجة المنتجة عضويًّا بارتفاع محتواها من المركبات الفينولية ونشاط كل من البيروكسيديز peroxidase والكابسيديول capsidiol (del Amor وآخرون ٢٠٠٨).

وبالمقارنة .. وجد أن محتوى ثمار الفلفل من السكريات، والمركبات الفينولية، وحامض الأسكوربيك، ونشاط مضادات الأكسدة كان أعلى عندما كان الإنتاج فى مزارع لا أرضية، مقارنة بمحتوى الثمار فى الإنتاج العضوى (Flores وآخرون ٢٠٠٩ أ).

كما لم تكن للزراعة العضوية أى تأثير على المحتوى المعدنى لثمار الفلفل الحلو مقارنة بالزراعة التقليدية (Flores وآخرون ٢٠٠٩ ب).

وقد تميز الفلفل المنتج عضويًّا بارتفاع محتواه من كل من فيتامين ج، والفينولات، والكاروتينات عن الفلفل المنتج بطريقة الزراعة التقليدية، كما كان احمرار ثماره أكثر شدة؛ الأمر الذى كان مُصاحبًا بزيادة فى قيم *L، و *a، و*b، و*C، و $H_{ab}$ عما فى الفلفل المنتج تقليديًّا (Perez – López وآخرون ٢٠٠٧).

وكانت ثمار الفلفل المنتجة عضويًا أعلى جوهريًا فى محتواها من المادة الجافة، وفيتامين ج، والكاروتينات الكلية، والبيتاكاروتين، والألفاكاروتين، والـ cis-β-carotene، والفينولات الكلية، وحامض الجاليك gallic acid، وحامض الكلوروجنك chlorogenic acid، والفلافونات (الـ quercetin D-glucoside، والـ quercetin، والـ kaempferol) عن الثمار المنتجة فى الزراعة العادية (Hallmann & Rembialkowska ٢٠١٢).

## الطماطم

أظهرت دراسة أجريت على أربعة أصناف من الطماطم أن محصول الزراعة العضوية كان ٦٣٪ من محصول الزراعة التقليدية، ولكن كان للزراعة العضوية تأثيرات إيجابية على الثمار من حيث محتواها من المواد الصلبة الذائبة، والـ pH، والحموضة لمعايرة، والصلابة، وذلك فى بعض الأصناف دون غيرها (Riahi وآخرون ٢٠٠٨).

كما وجد لدى مقارنة الطماطم المنتجة عضويًا بتلك المنتجة بالطريقة التقليدية أن ثمار الأخيرة بدت بالفحص العينى أكثر نضجًا وقت الحصاد عن نظيرتها التى أنتجت عضويًا. هذا بينما كانت الثمار العضوية أعلى محتوى من المواد الصلبة الكلية والذائبة، وكان عصيرها أعلى لزوجة. وبينما لم تظهر أى فروق معنوية بين نوعى الثمار فى محتواهما من العناصر المغذية، فإن الطماطم المنتجة تقليديًا كانت أعلى محتوى فى نسبة كل من الجلوتاميت glutamate، والجلوتامين glutamine، والتيروزين tyrosine، والأمونيوم، والنيتروجين الكلى (Piper & Barrett ٢٠٠٩).

كذلك أوضحت الدراسات زيادة مستويات الفلافونات: كورستين quercetin، وkaempferol aglycones جوهريًا فى الطماطم المنتجة عضويًا عما فى تلك المنتجة بالطرق التقليدية، بنسبة بلغت – فى متوسط عشر سنوات من الإنتاج – ٧٩٪، و٩٧٪ فى نوعى الفلافونات، على التوالى. ولقد لوحظ أن محتوى الفلافونات فى ثمار الطماطم المنتجة عضويًا يزداد – تدريجيًا من الحقول المخصصة للإنتاج العضوى سنة بعد أخرى، بينما لم يتباين ذلك المحتوى من سنة لأخرى فى الإنتاج العادى. وقد توافقت تلك الزيادات - فى حالة الإنتاج العضوى – مع زيادة كمية المادة العضوية المتراكمة فى القطع العضوية، واستمرت

الزيادات حتى مع خفض معدلات إضافة السماد الحيوانى بعد أن وصل محتوى التربة من المادة العضوية إلى حالة توازن (Mitchell وآخرون ٢٠٠٧).

وفى المقابل .. أظهرت دراسة قورنت فيها الطماطم المنتجة عضويًا بتلك المنتجة بالطريقة التقليدية عدم وجود أى فروق بين طريقتى الإنتاج فى صفات الثمار الفيزيائية، والكيميائية، والتشريحية، فضلاً عن خصائصها الأكلية (Ordonez-Santos وآخرون ٢٠٠٩).

كذلك أظهرت دراسة أجريت على كل من الطماطم والباك شوى أن الإنتاج العضوى لا يترتب عليه أى اختلافات يعتد بها فى الخصائص الأكلية، مقارنة بخصائص المنتج التقليدى (Talavera-Bianchi وآخرون ٢٠١٠).

## البطاطس

أمكن باختبارات التذوق التمييز بين البطاطس المنتجة بالطريقة التقليدية والبطاطس المنتجة بالزراعة العضوية. وأوضحت التحاليل أن الجليكوألكالويدات كانت أعلى مستوى فى البطاطس العضوية، التى ازداد محتواها – كذلك – من كل من البوتاسيوم والمغنيسيوم والفوسفور والكبريت والنحاس فى كل من جلد الدرنة ولبها عما فى البطاطس العادية، بينما كان محتوى جلد الدرنات العادية أعلى محتوى من الحديد والمنجنيز عن جلد درنات البطاطس العضوية (Wszelaki وآخرون ٢٠٠٥).

وقد ازداد تركيز فيتامين $B_1$ فى درنات البطاطس التى أنتجت عضويًا عما فى تلك التى أنتجت بالطريقة التقليدية. وعندما كان الإنتاج بالطريقة التقليدية، وجد ارتباط سلبى جوهرى بين تركيز فيتامين C بالدرنات وكمية المحصول، وذلك فى ٢٠ تركيب وراثى من البطاطس (Skrabule وآخرون ٢٠١٣).

واحتوت البطاطس المنتجة عضويًا على تركيزات أعلى من الفوسفور عما فى تلك التى أنتجت بالطريقة العادية (٢,٨ مقابل ٢,٣ جم/كجم مادة جافة)، وتركيزات متقاربة من كل من المغنيسيوم (٢٥٠ مجم/كجم مادة جافة)، والنحاس (٢,٦ مجم/كجم مادة جافة). هذا .. إلا أن البطاطس التى

أنتجت عضويًا كان محتواها من كل من البوتاسيوم والكالسيوم والحديد والصوديوم والمنجنيز أقل مما فى البطاطس التى أنتجت بالطريق العادية (Lombardo وآخرون ٢٠١٤).

## الكنتالوب

احتوت ثمار الكنتالوب المنتجة عضويًا على تركيز أعلى جوهريًا من حامض الأسكوربيك – بصورة منتظمة – عما فى الثمار المنتجة بالطريقة العادية، بينما كان محتواها من الفينولات الكلية أعلى فى أحد سنتى الدراسة فقط، إلا أن نسبة المادة الجافة الكلية ونسبة المواد الصلبة الذائبة بالثمار لم تتأثرا بطريقة الإنتاج. وجدير بالذكر أن محتوى الثمار من مضادات الأكسدة تباين – كثيرًا – باختلاف الأصناف التى شملتها الدراسة، ومن بين عشرة أصناف تمت دراساتها، كان أعلاها فى مضادات الأكسدة: Savor، و6 # Sweetie، وEarly Queen، وEdonis، و Rayan(Salandanan وآخرون ٢٠٠٩).

وفى المقابل .. لم تظهر أى فروق معنوية بين الإنتاج العضوى والإنتاج العادى للكنتالوب فى المحصول أو محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية أو السكر الذائب، إلا أن محتوى لب الثمار من النترات انخفض فى حالة الإنتاج العضوى ما بين ١٢٪ فى العروة الربيعية، و١٦٪ فى العروة الخريفية (Song وآخرون ٢٠١٠).

## الكرنب

كان لمختلف الأسمدة العضوية تأثيرات إيجابية على محتوى أوراق الكرنب من المواد المضادة للأكسدة (Bimová & Pokluda ٢٠٠٩).

وبالمقارنة .. أوضحت دراسات أخرى أجريت على كل من الجزر والكرنب لمدة ثلاث سنوات أن المحصول ومحتوى الفيتامينات لم يختلف جوهريًا فى المحصولين بين الإنتاج العضوى والإنتاج التقليدى (Warman & Havard ١٩٩٧).

## القنبيط والجزر والبصل

تبين لدى مقارنة عدة أصناف من كل من القنبيط والبصل والجزر فى ظروف كل من الزراعة العضوية والتقليدية، ما يلى:

١- لم يختلف ترتيب الأصناف تبعًا للمحصول والقابلية للإصابة بالحشرات والأمراض الفطرية بين نظامى الزراعة.

٢- كان محصول القنبيط والبصل أعلى بمقدار ٢٠٪، و٤٥٪ - على التوالى – عندما زرعا بالطريقة التقليدية.

٣- لم توجد فروق معنوية فى محصول الجزر أو فى نسبة المستبعد منه بين نظامى الزراعة، إلاَّ أن أسباب الاستبعاد تباينت بين النظامين. ففى الزراعة العضوية كانت أضرار القواقع هى السبب الرئيسى للاستبعاد حيث بلغت ٩٪، بينما كانت "الساق الجوفاء" hollow stem العيب الأكثر شيوعًا فى الزراعة التقليدية وشكلت ٧٪.

٤- لم توجد فروق جوهرية فى نسبة أبصال البصل المستبعدة بين نظامى الزراعة.

٥- أضير الجزر المزروع بالطريقة التقليدية بذبابة جذور الجزر بدرجة أكبر مما حدث فى الزراعة العضوية، وكانت نسبة الجذور المستبعدة جراء ذلك ٥٪، على الرغم من أن الذبابة كانت متواجدة – كذلك – فى الزراعة العضوية.

٦- على عكس ذلك .. كانت التشوهات المورفولوجية أعلى فى الجزر المزروع عضويًّا، بدرجة أدت إلى استبعاد ٢٩٪ من المحصول.

وقد أُرجع نقص محصول الزراعة العضوية إلى ممارسات مكافحة الحشائش والآفات بالإضافة إلى عدم تيسر العناصر المغذية بشكل كافٍ خلال المراحل المبكرة لنمو القنبيط والبصل (Dresboll وآخرون ٢٠٠٨).

## الإنتاج فى البيوت المحمية

يسود تواجد فينولات خاصة فى الخس، من أهمها: حامض الكلوروجنك chlorogenic acid وجلوكوسيدات الكورستين quercetin glycosides، وتتباين الأصناف فى محتواها من الفينولات؛ فهى تزيد فى الصنف Red Sails عما فى الصنف Kalura. وبينما لم يختلف التسميد العضوى (كمبوست + مسحوق السمك) عن التسميد المعدنى فى تأثيرهما على

محتوى الخس من الفينولات، فإن الإنتاج فى البيوت المحمية قلل من محتوى الخس من الفينولات مقارنة بالمحتوى فى الإنتاج الحقلى (Zhao وآخرون ٢٠٠٧).

ولمزيد من التفاصيل عن تأثير العوامل الجوية، وموقع الزراعة، ونوع التربة، والتسميد، وقوة النمو النباتى، ودرجة النضج على محتوى النباتات من مختلف العناصر الغذائية، يمكن الرجوع إلى Harris (١٩٧٥).

## ظروف الحصاد والتداول والتخزين

من المعروف أن عمليات الحصاد والتداول يترتب عليها حدوث بعض الخدوش التى تزيد من النشاط الإنزيمى، ويؤدى ذلك إلى نقص القيمة الغذائية.

ومن أبرز التغيرات التى تحدث بعد الحصاد تلك التى تحدث فى محتوى الفيتامينات – وخاصة حامض الأسكوربيك – وفى محتوى المواد الكربوهيدراتية.

**فنجد أن محتوى الخضر من حامض الأسكوربيك يتأثر بمختلف العوامل التى يتعرض لها بعد الحصاد، كما يلى:**

١- درجة الحرارة والرطوبة النسبية التى يتعرف لها المنتج:

يؤدى التأخير فى تبريد المنتج أوليًا إلى انخفاض محتواه من حامض الأسكوربيك، ويحدث الأمر ذاته مع استمرار التخزين فى حرارة الغرفة بدلاً من التخزين المبرد. وفى المقابل .. فإن الإصابة بأضرار البرودة تخفض هى الأخرى من محتوى حامض الأسكوربيك فى المنتجات الحساسة للبرودة، وذلك قبل ظهور أية أعراض لأضرار البرودة.

كذلك فإن كل الظروف التى تزيد من ذبول المنتجات – وخاصة انخفاض الرطوبة النسبية – تؤدى إلى فقد سريع فى محتواها من حامض الأسكوربيك. ويؤدى التغليف – الذى يقلل من الفقد الرطوبى – إلى تقليل الفقد فى الفيتامين.

٢- الجروح والتقليم والتقطيع

ينخفض دائمًا محتوى الخضر من حامض الأسكوربيك لدى تجريحها أو خدشها أو تقطيعها بأى طريقة كانت، وتزداد الحالة سوءًا – بطبيعة الحال – فى الخضر التى تجهز

للمستهلك fresh-cut. ولذا .. فإن استعمال الشفرات الحادة فى التقطيع التى تقل معها الجروح، يقل معها – كذلك – الفقد فى حامض الأسكوربيك.

٣- المعاملات الكيميائية

يزداد محتوى الثمار من حامض الأسكوربيك عندما تعامل ببعض المركبات الكيميائية مثل كلوريد الكالسيوم، والـ cystein hydrochloride، والإثيلين.

٤- التعريض للإشعاع

يقل – أحيانًا – معدل الفقد فى حامض الأسكوربيك فى الخضر المعاملة بالإشعاع.

٥- مدة التخزين

يحدث انخفاض تدريجى فى محتوى الخضر والفاكهة من حامض الأسكوربيك أثناء التخزين (Lee &Kader ٢٠٠٠).

إن التخزين يصاحبه فقد كبير فى بعض العناصر الغذائية، خاصة فيتامين ج. ففى خلال يوم واحد من التخزين فى حرارة ٢١ °م يفقد نحو ٥٠٪ من محتوى البروكولى من فيتامين ج، ونحو ٤٠٪ من محتوى كل من السبانخ والأسبرجس، ونحو ٢٠٪ من محتوى الفاصوليا الخضراء من هذا الفيتامين (Nelson ١٩٧٢).

وأكدت دراسات Watada & Tran (١٩٨٧) انخفاض فيتامين ج فى الخضر المخزنة، إما بصورة حادة، وإما بصورة تدريجية. وبالمقارنة ازداد تركيز الثيامين – أثناء التخزين – فى صنف الفاصوليا الخضراء Tendergreen، وانخفض فى صنف البطاطس BelRus، بينما انخفض تركيز الريبوفلافين فى الفاصوليا (نفس الصنف السابق ذكره)، وارتفع فى صنف البطاطس Superior.

وقد وجد أن السبانخ تفقد ١٣٪، و٤٦٪ من محتواها الابتدائى من الثيامين خلال التخزين لمدة أسبوع واحد وثلاثة أسابيع – على التوالى – على ٤- ٦ °م. واحتفظت البسلة الخضراء بقدر أكبر من الثيامين، حيث فقدت ٢٣٪ منه بعد التخزين لمدة ثلاثة أسابيع على ٤ °م. أما الريبوفلافين فقد فُقد بعد ٣ أسابيع من التخزين على ٤ °م بنسبة ٣٩٪ فى السبانخ و٢٤٪ فى البسلة. هذا .. ويزداد معدل الفقد عندما يكون التخزين فى حرارة الغرفة (Rickman وآخرون ٢٠٠٧ أ).

**ومن أمثلة التغيرات غير المرغوبة فى المواد الكربوهيدراتية ما يلى:**

١- تحول النشا إلى سكر فى البطاطس المخزنة على حرارة أقل من ٥ °م، حيث تتراكم السكريات تحت هذه الظروف. ويؤدى ذلك إلى اكتساب البطاطس لونًا بنيًّا داكنًا، بدلاً من اللون الأصفر الذهبى المرغوب فيه عند القلى فى الزيت بسبب احتراق السكريات. ويرجع ذلك التغير فى اللون إلى السكريات المختزلة فقط، وتختلف الأصناف فى مدى قابليتها لتراكم السكريات المختزلة عند التخزين فى درجات الحرارة المنخفضة.

٢- تحول السكر إلى نشا فى بعض الخضروات – كالبسلة، والذرة السكرية – عند تخزينها فى حرارة مرتفعة، فتفقد الذرة السكرية ٦٠٪ من محتواها من السكر خلال يوم واحد من التخزين فى حرارة ٣٠ °م، بالمقارنة بـ ٦٪ فقط عند التخزين فى الصفر المئوى. ويصاحب فقدان السكر انخفاض كبير فى صفات الجودة.

٣- يتراكم فى الخرشوف حوالى ٥٠ – ٧٠ جم من السكر لكل كيلوجرام من وزنه الرطب على صورة فُركتان الإنيولين (inulin – type fructan). ويؤدى تخمر الأنيولين إلى زيادة إنتاج الغازات بالأمعاء؛ مما يثير حالة من عدم الراحة لدى بعض الأفراد. ولقد وجد أن تخزين الخرشوف على ١٨ °م أو ٤ °م أدى إلى تقليل محتواه من الإنيولين، مع زيادة فى محتواه من الفراكتوز الحر والسكروز، من خلال انخفاض فى بلمرة الإنيولين؛ وبذا يمكن استهلاك الخرشوف دون توقع تحفيزه لإنتاج الغازات بالأمعاء (Leroy وآخرون ٢٠١٠).

وقد وجد أنه أثناء التخزين ينخفض محتوى أوراق الخس من المادة الجافة، والسكريات، وحامض الأسكوربيك بزيادة فترة التخزين بينما يزداد محتوى النترات (Sorensen وآخرون ١٩٩٤، وPoulsen وآخرون ١٩٩٥).

كذلك فُقدت نسبة كبيرة من الفينولات فى البروكولى الطازج بعد التخزين البارد لمدة ١٠ أيام، بلغت ٤٤٪ - ٥١٪ فى مشتقات الـ sinapic acid، و٥٩٪ - ٦٢٪ فى الفلافونات الكلية، و٧٣٪ - ٧٤٪ فى مشتقات الـ caffeoylqunic acid (Rickman وآخرون ٢٠٠٧أ).

## ظروف التصنيع وإعداد الطعام

يتأثر محتوى الخضروات من العناصر الغذائية بعمليات التصنيع أو الإعداد للطعام كالتالى:

١- الغسيل: ربما يؤدى الغسيل إلى فقد جزء من الفيتامينات القابلة للذوبان فى الماء.

٢- المعاملة بالحرارة: تجرى المعاملات الحرارية بالبخار أو بالماء الساخن، وتؤدى إلى فقد معنوى فى بعض العناصر. ويقل الفقد من الفيتامينات القابلة للذوبان فى الماء باستخدام حرارة أعلى لفترة أقل.

٣- التقشير: قد يؤدى التقشير إلى فقد بعض العناصر الغذائية. فمثلاً .. قشرة الجزر أغنى بالنياسين من باقى الجذر، وأنسجة ثمرة الطماطم تحت الجلد مباشرة أغنى بفيتامين ج من باقى الثمرة.

٤- التعقيم: تؤدى عملية التعقيم إلى فقد نسبة كبيرة نسبيًا من بعض العناصر.

٥- التعبئة والتخزين: يزداد الفقد فى فيتامين ج وبعض الفيتامينات الأخرى فى العبوات التى تسمح بنفاذ الأكسجين، وكذلك عند ارتفاع درجة حرارة التخزين وزيادة فترة التخزين . لذلك ينصح دائمًا بأن يكون التخزين على أقل درجة حرارة ممكنة، وهى - ١٨ ْم للأغذية المجمدة، و ٢٤ ْم للأغذية المعلبة والمجففة. كما يجب استهلاك الأغذية المجهزة فى أسرع وقت ممكن.

## التغيرات فى محتوى حامض الأسكوربيك

لقد وجد أن الخضر الطازجة تحتوى – دائمًا – قدرًا اكبر من فيتامين C (حامض الأسكوربيك) مقارنة بالخضر المعلبة أو المجمدة. هذا .. إلاّ أن حامض الأسكوربيك يبدأ فى التحلل بعد الحصاد مباشرة. فعلى سبيل المثال .. تفقد البسلة الخضراء ٥١,٥٪ من محتواها من حامض الأسكوربيك خلال الـ ٢٤ – ٤٨ ساعة الأولى بعد القطف. كما أن حامض الأسكوربيك يتحلل بانتظام خلال فترات التخزين الطويلة، على الرغم من أن التبريد يمكن أن يبطئ من معدل التحلل. وهذا الفقد فى حامض الأسكوربيك الذى يحدث بين القطف والاستهلاك يقود إلى الاعتقاد بأن التصنيع يمكن أن يُفيد فى حفظ القيمة الغذائية لبعض الخضر. فمثلاً ..

ينخفض مستوى حامض الأسكوربيك فى كل من البسلة الطازجة والسبانخ الطازجة المخزنة على ٤ ْم إلى أقل من مستواهما فى المنتج المجمد بعد ١٠ أيام من التخزين. كما يزداد الفقد فى المنتج المخزن فى حرارة الغرفة. فمثلاً .. تفقد السبانخ المخزنة على حرارة الغرفة كل محتواها من فيتامين C فى خلال أربعة أيام من التخزين.

إن عمليات تعليب وتجميد الخضر تؤدى إلى حفظ محتواها الغذائى من الفقد، بينما يؤدى التخزين والطهى إلى إحداث فقد كبير فى محتواها الغذائى. إن المعاملة الحرارية الأولى للمنتجات المصنعة يمكن أن تُحدث نقصًا فى العناصر الغذائية القابلة للذوبان فى الماء وتلك التى تفقد أهميتها بالأكسدة مثل فيتامين C ومجموعة فيتامينات B. هذا إلاّ أن المتبقى منها يظل ثابتًا خلال فترة التخزين المعلَّب بسبب غياب الأكسجين آنذاك. وتفقد المنتجات المجمدة قدرًا أقل من العناصر المغذية فى بداية التصنيع نظرًا لقصر فترة التسخين الابتدائية التى تلزم معها، لكنها تفقد كميات أكبر من العناصر المغذية أثناء التخزين بسبب عمليات الأكسدة. كذلك فإن المركبات الفينولية تعد قابلة للذوبان فى الماء وتتأثر بالأكسجين، إلاّ أن التغيرات التى تحدث فيها خلال التصنيع والتخزين والطهى يبدو أنها تتباين كثيرًا باختلاف محصول الخضر (Rickman وآخرون ٢٠٠٧أ).

ويبين جدولا (٥-١)، و(٥-٢) نسبة الفقد فى فيتامين C فى بعض الخضر نتيجة لعمليتى التعليب والتجميد.

جدول (٥-١)

الفقد (٪) فى فيتامين C فى بعض الخضر نتيجة لعمليتى التعليب والتجميد.

| الخضر | التعليب | المعاملة بالماء الحار ثم التجميد |
|---|---|---|
| البروكولى | ٨٤ | ٥٠ – ٥٥ |
| الجزر | ٩٠ | صفر – ٣٥ |
| الفاصوليا الخضراء | ٦٣ | ٢٨ |
| البسلة الخضراء | ٧٣ | ٥١ |
| السبانخ | ٦٢ | ٦١ |

جدول (٥-٢)

نسبة الفقد فى محتوى بعض محاصيل الخضر من فيتامين C (جم/كجم) نتيجة للتعليب.

| الخضر | الطازجة | المعلبة | الفقد (٪) |
|---|---|---|---|
| البروكولى | ١,١٢ | ٠,١٨ | ٨٤ |
| الذرة السكرية | ٠,٠٤٢ | ٠,٠٣٢ | ٠,٢٥ |
| الجزر | ٠,٠٤١ | ٠,٠٠٥ | ٨٨ |
| البسلة الخضراء | ٠,٤٠ | ٠,٠٩٦ | ٧٣ |
| السبانخ | ٠,٢٨١ | ٠,١٤٣ | ٦٢ |
| الفاصوليا الخضراء | ٠,١٦٣ | ٠,٠٤٨ | ٦٣ |
| البنجر | ٠,١٤٨ | ٠,١٣٢ | ١٠ |

## التغيرات فى فيتامينات B

تتضمن فيتامينات B كلاً من الثيامين ($B_1$)، والريبوفلافين ($B_2$)، والنياسين ($B_3$)، والبيوتين biotin، وحامض البانثوثينك panthothenic acid، و$B_6$، وحامض الفوليك folate، و$B_{12}$. ونظرًا لقابليتها للذوبان فى الماء فإنها تكون عرضة للفقد أثناء الطهى والتصنيع. كما أن الكثير منها يعد حساسًا للتحلل أثناء التصنيع. وبعد فيتامين C، فإن الثيامين هو الأقل ثباتًا – من بين مجموعة فيتامينات B – جراء التعرض للحرارة أثناء التصنيع. هذا .. إلا أن الخضر لا تُعد من المصادر الجيدة للثيامين. ولا يعد الريبوفلافين ثابتًا فى الضوء؛ ولذا .. فإن ظروف التصنيع والتخزين تلعب دورًا فى الاحتفاظ به. وبالمقارنة .. يتوفر البيوتين وحامض البانثوثينك فى عديد من الأغذية، كما يتواجد فيتامين $B_{12}$ – أساسًا – فى المصادر الحيوانية؛ ولذا .. فإن التغيرات فى محتوى الخضر منها مع التخزين والتصنيع لم تحظ بقدر وافر من الاهتمام (Rickman وآخرون ٢٠٠٧أ).

## التغيرات فى فيتامينى E ، وA

يُعد فيتامينى E، وA – والكاروتينات الأخرى – قابلة للذوبان فى الدهون وأقل تأثرًا عن المكونات الغذائية القابلة للذوبان فى الماء بعمليات التصنيع مثل الغسيل والمعاملات الحرارية

المصاحبة للتصنيع. وعلى الرغم من قابلية فيتامينى E، وA للأكسدة فإنها أقل حساسية للأكسدة من فيتامين C ومجموعة فيتامينات B.

## التغيرات فى العناصر والألياف

تُعد العناصر والألياف أكثر ثباتًا ولا تتأثر بالتخزين أو بمعاملات التصنيع (Rickman وآخرون ٢٠٠٧ ب).

## التغيرات فى محتوى الفينولات

تؤدى عملية التعليب إلى إحداث نقص فى محتوى الفينولات يختلف باختلاف محصول الخضر، كما يتبين من جدول (٥-٣) (Rickman وآخرون ٢٠٠٧ب).

جدول (٥–٣)

تأثير التعليب على محتوى بعض الخضر من الفينولات الكلية (جم مكافئات حامض جالّك gallic acid/ كجم وزن رطب).

| الخضر | المنتج الطازج | المنتج المعلب المصفى | التغير نتيجة التعليب (٪) |
|---|---|---|---|
| البنجر | ١,٢٠ | ١,٣٠ | + ٥ |
| الفاصوليا الخضراء | ٠,٧٨ | ٠,٥٣ | – ٣٢ |
| الذرة الصفراء | ٠,٧٢ | ٠,٦٨ | – ٥ |
| الطماطم | ٠,١٤٢ | ٠,١٤٩ (مع سائل التعليب) | – |
| المشروم | ١,٨٠ | ٠,١٦٢ | – ٩١ |

## الثبات النسبى للعناصر الغذائية فى الظروف المختلفة

تختلف العناصر الغذائية فى مدى ثباتها فى الظروف البيئية المختلفة؛ مثل درجة الحموضة أو القلوية، ودرجة الحرارة، ووجود أو غياب الأكسجين أو الضوء. ويوضح جدول (٥- ٤) درجة الثبات النسبى للفيتامينات والأحماض الدهنية والأحماض الأمينية والمعادن تحت هذه الظروف (Nelson ١٩٧٢، وKlein & Kurlich ٢٠٠٠).

جدول (٥-٤)

الثبات النسبى لمختلف العناصر الغذائية فى الظروف المختلفة.

| العنصر الغذائى | الوسط الحامضى | الوسط المتعادل | الوسط القلوى | توفر الأكسجين | التعرض للضوء | الحرارة المرتفعة |
|---|---|---|---|---|---|---|
| فيتامين أ | غير ثابت | ثابت | ثابت | غير ثابت | غير ثابت | غير ثابت |
| فيتامين ج | ثابت | غير ثابت | غير ثابت | غير ثابت | غير ثابت | غير ثابت |
| الكاروتينات | غير ثابت | ثابت | ثابت | غير ثابت | غير ثابت | غير ثابت |
| فيتامين ب١ | ثابت | غير ثابت | غير ثابت | غير ثابت | غير ثابت | غير ثابت |
| فيتامين ب٢ | ثابت | ثابت | غير ثابت | غير ثابت | غير ثابت | غير ثابت |
| الأحماض الدهنية الضرورية | ثابت | ثابت | غير ثابت | غير ثابت | غير ثابت | ثابت |
| الأحماض الامينية الضرورية | ثابت | ثابت | ثابت | ثابت | ثابت | وسط |
| المعادن | ثابت | ثابت | ثابت | ثابت | ثابت | ثابت |

**هذا ويُعد فيتامين A، والكاروتينات، وفيتامينات B قابلة للذوبان فى الدهون، بينما يُعد حامض الأسكوربيك (فيتامين ج) وبعض صور المعادن قابلة للذوبان فى الماء.**