الثانية بنسبة رؤوس لا تتجاوز ١٠٪ لا تكون مطابقة للرتبة، ولكنها تكون صالحة للاستهلاك.

ويسمح فى جميع الرتب بنسبة ١٠٪ من الرؤوس – بالعدد فى العبوة الواحدة – تكون مخالفة فى الحجم، ولكنها تكون فى حدود الحجم الأكبر أو الأصغر مباشرة لحجم رؤوس العبوة. ويجب ألا يقل حجم الرأس فى أصغر الأحجام عن ١٠ سم فى القطر أو ١٢ سم فى القوس.

وفى جميع الحالات يجب ألاّ تزيد نسبة التجاوزات الكلية عن ١٠٪ فى رتبة الإكسترا، وعن ١٥٪ فى الرتبتين الأولى والثانية.

البروكولى

الظروف والظواهر السابقة للحصاد المؤثرة فى الجودة

الرى

يؤدى تعرض البروكولى لظروف نقص الرطوبة الأرضية قبل الحصاد (0.4 MPa) إلى زيادة محتواه من الزياتين zeatine، والزياتين ريبوز zeatine ribose، وإلى تأخير اصفراره بعد الحصاد؛ الأمر الذى يُعتقد بأن مرده إلى الزيادة فى محتواه من السيتوكينينات .. على الأقل تلك التى تم تقديرها (Zaicovski وآخرون ٢٠٠٨).

العيوب الفسيولوجية السابقة للحصاد

تظهر بالبروكولى بعض العيوب الفسيولوجية، بسبب تعرضه لظروف معينة قبل الحصاد، وهى عيوب تؤثر فى جودة المنتج، ومن بينها ما يلى:

التكوين المبكر للرؤوس Premature Heading:

يعتبر التكوين المبكر للرؤوس حالة فسيولوجية شبيهة بظاهرة التزريع فى القنبيط، حيث تتكون رؤوس طرفية صغيرة غير اقتصادية. وقد تبين من دراسات Baggett & Mack (١٩٧٠) على تسعة أصناف من البروكولى أن استخدام شتلات كبيرة الحجم فى

الزراعة أدى إلى زيادة نسبة النباتات التى اتجهت – مبكرًا – نحو تكوين رؤوس صغيرة الحجم.

البراعم البنية:

تظهر حالة البراعم البنية Brown buds حينما تبلغ رؤوس البروكولى حجمًا مناسبًا للتسويق، حيث لا تكمل بعض الزهيرات نموها وتموت ويتغير لونها من الأخضر إلى الأصفر، فالبنى، ويلى ذلك تحلل البراعم التى ظهرت بها الإصابة، ثم موتها وسقوطها تاركة وراءها منفذًا للإصابة بالبكتيريا المسببة للأعفان من جنسى *Erwinia*، و *Pseudomonas*. وتتباين أصناف البروكولى فى مدى حساسيتها للإصابة بتلك الحالة.

وكثيرًا ما تظهر هذه الحالة الفسيولوجية حينما تأتى فترة من الحرارة العالية والنمو السريع مع الرطوبة الأرضية العالية، وخاصة أثناء تكوين البراعم. وقد يسهم فى ظهور هذه الحالة – كذلك – التباين الشديد فى الرطوبة النسبية ونقص البورون (Pascual وآخرون ١٩٩٦).

وقد أظهرت دراسات Pascual وآخرون (١٩٩٦) أن تركيز الكالسيوم فى رؤوس البروكولى المتأثرة بحالة البراعم البنية كان دائمًا أعلى عما فى الرؤوس السليمة، كما كانت نسبة البوتاسيوم إلى الكالسيوم + المغنيسيوم أعلى فى الرؤوس السليمة عما فى تلك المصابة.

الرؤوس المتورقة:

تحدث ظاهرة نمو الأوراق فى الرؤوس Leafy Heads عند ارتفاع درجة الحرارة مع توفر ظروف محفزة للنمو الخضرى الغزير، مثل زيادة الرطوبة والتسميد الآزوتى.

وفى دراسة أجريت على أربعة أصناف من البروكولى (هى: Baccus، و Citation، و Packman، و Southern Comet) .. وجد أن توريق الرأس (ظهور الأوراق بها) لم يكن حساسًا لأى من متوسط درجة الحرارة الصغرى خلال موسم النمو (التى تراوحت بين ٧,٠، و ٢٣,٥°م)، أو متوسط درجة الحرارة العظمى (التى تراوحت بدورها بين ١٧,٥ و ٣٢,٥°م) (Dufault ١٩٩٦).

الساق الأجوف:

تبدو حالة الساق الأجوف على صورة تجوف بحامل النورة عند مكان القطع، قد يتغير لونه بعد القطع. وتلك حالة تتأثر بالصنف والظروف التى تحفز النمو السريع.

اصفرار الزهيرات floret yellowing:

قد يعود الاصفرار إلى التأخير فى الحصاد، أو التخزين فى حرارة مرتفعة، أو التعرض للإثيلين. ويعنى اصفرار الزهيرات بأى درجة انتهاء الصلاحية للتسويق.

ويجب عدم الخلط بين اصفرار الزهيرات الذى يرجع إلى الشيخوخة، وبين اللون الأخضر الضارب للصفرة للزهيرات التى لم تتعرض لضوء الشمس أثناء نموها (Cantwell & Suslow ٢٠٠٧).

اكتمال التكوين للحصاد، والحصاد

ينضج البروكولى بعد ٦٠-٩٠ يومًا من الشتل، ويتوقف ذلك على الصنف والظروف الجوية السائدة. ويحصد البروكولى على مدى فترة زمنية طويلة؛ نظرًا لأن النبات يكون رؤوسًا جانبية فى آباط الأوراق بعد حصاد الرأس القمية. يتراوح قطر الرأس الطرفية من ٨-١٥ سم، والرؤوس الجانبية من ٣-١٠ سم، وتحصد الرؤوس بنحو ٢٠-٢٥ سم من الساق. ويؤدى تأخير الحصاد عن الموعد المناسب إلى تفكك الرؤوس وتفتح البراعم تدريجيًا، ويتراوح المحصول بين ٥ و ٧ أطنان للفدان.

يجب حصاد رؤوس البروكولى وبراعمها مازالت صغيرة ومغلقة جيدًا، وقبل أن تبدأ أجزاء الرأس فى الانفصال عن بعضها البعض، وقبل أن تظهر بالنورة بتلات صفراء اللون، فتكون بلون أخضر داكن أو لامع. كما يجب أن تحصد النورات بحامل نورى بطول مناسب ومقطوع قطعًا نظيفًا.

ويؤدى تأخير الحصاد مع ارتفاع درجة الحرارة إلى إحداث زيادة غير مقبولة فى نمو البراعم أو تفتحها، وهى الحالة التى تعرف باسم coarse buds. وتختلف الأصناف فى

أحجام براعمها فى مرحلة النضج المناسبة للحصاد، وكذلك فى مدى قدرة براعمها على البقاء بحالة جيدة قبل حصادها.

وقد أدى الحصاد الآلى مرة واحدة للحقل (لحصاد الرؤوس الأولية القمية فقط) إلى نقص المحصول بنسبة ٤٩٪-٦٠٪. أما الجمع بين الحصاد اليدوى للرؤوس القمية والحصاد الآلى للنورات الجانبية فقد أسهم فى تقليل النقص فى المحصول إلى ٢٣٪ فقط.

التنبؤ بموعد الحصاد

وجدت ارتباطات جوهرية سالبة بين عدد الأيام حتى تكوين البراعم وكل من: درجة الحرارة الدنيا التى تعرضت لها النباتات خلال الأيام العشرة الأولى بعد الشتل، ودرجة حرارة الهواء القصوى بعد ٢٠، و ٣٠، و ٤٠ يومًا من الشتل، ومتوسط درجة حرارة الهواء بعد ١٠، و ٢٠، و ٣٠ يومًا من الشتل. كذلك ارتبط تكوين البراعم جوهريًا مع درجة حرارة التربة بعد ٢٠ يومًا من الشتل. وكانت معظم هذه التأثيرات لدرجتى حرارة الهواء والتربة مرتبطة جوهريًا – كذلك – بموعد الحصاد (Fujime & Okuda ١٩٩٤).

وكانت أفضل طريقة للتنبؤ بموعد حصاد البروكولى بأقل قيمة لمعامل الاختلاف Coefficient of variation هى بجمع الفرق بين متوسط درجة حرارة موسم النمو growing season mean temperature – خلال الفترة من الزراعة إلى الحصاد – ودرجة حرارة أساس مقدارها ٧,٢°م. وإذا كان متوسط درجة الحرارة القصوى خلال موسم النمو يزيد عن ٢٦,٧°م .. يحسب متوسط درجة حرارة عظمى معدل بطرح ٢٦,٧°م من متوسط درجة الحرارة العظمى الفعلى، ثم يطرح الناتج من متوسط درجة الحرارة لموسم النمو، ويلى ذلك حساب مجموع درجات حرارة النمو اليومية بطرح درجة حرارة الأساس ومقدارها ٧,٢°م من درجة الحرارة العظمى المعدلة خلال موسم النمو. أعطت هذه الطريقة معامل اختلاف قدره ٣,٩٦ مقارنة بمعامل اختلاف قدره ٤,١٣ حُصل عليه عند اتباع الطريقة القياسية بجمع الفرق اليومى بين متوسط درجة الحرارة (اليومى) ودرجة حرارة

أساس مقدارها ٤,٤°م. وكانت الطريقة الأفضل من الطريقتين السابقتين هى بجمع الفرق بين متوسط درجة الحرارة العظمى خلال موسم النمو (من الزراعة إلى الحصاد) ودرجة حرارة أساس مقدارها ٧,٢°م، ولكن إذا كان متوسط درجة الحرارة العظمى خلال الموسم أعلى عن ٢٩,٤°م، فإن درجة حرارة الأساس تطرح من ٢٩,٤ وليس من متوسط درجة الحرارة العظمى الفعلية. أعطت هذه الطريقة معامل اختلاف قدره ٣,٧١، مقارنة بمعامل اختلاف قدره ٤,١ عند اتباع الطريقة القياسية بجمع الفرق اليومى بين متوسط درجة الحرارة (اليومى) ودرجة حرارة أساس مقدارها ٤,٤°م (Dufault ١٩٩٧).

كذلك أمكن التوصل لى معادلة تربيعية quadratic تربط بين لوغاريتم قطر الرأس ومجموع الحرارة الأعلى من حرارة أساس مقدارها صفر°م بسقف حرارى مقداره ١٧°م بداية من مرحلة تهيئة الرأس للتكوين (حينما يبلغ قطر القمة الميرستيمية ٠,٦ مم) .. هذه العلاقة فسّرت ٩٧,٣٪ من الاختلافات فى قطر الرأس فى بيانات ٦٨ زرعة بروكولى. وأدى أخذ الكثافة النباتية والصنف المزروع فى الحسبان إلى تحسين ملاءمة العلاقة التربيعية جوهريًا (R^2 = ٠,٩٨١٩). كذلك أدى أخذ الإشعاع الشمسى المتراكم بداية من مرحلة تهيئة الرأس للتكوين أو شهر الزراعة فى الاعتبار .. أدى ذلك إلى تحسين مدى ملاءمة العلاقة التربيعية (R^2 = ٠,٩٨٧٣، و ٠,٩٨٤٧ على التوالى). ويمكن استعمال العلاقة البسيطة بين قطر رأس البروكولى والحرارة المتجمعة من بداية مرحلة تهيئة الرأس للتكوين .. يمكن استعمالها فى معادلة للتنبؤ بموعد وصول الرأس إلى حجم معين، وأظهر تطبيق تلك المعادلة اختلافات فى موعد التنبؤ فى حدود ٤-٥ أيام عن الموعد الملاحظ. هذا .. ولم تبدأ أبدًا تهيئة رأس البروكولى للتكوين قبل ظهور مالا يقل عن ٧ أوراق، أو قبل ظهور وتهيئة تكوين مالا يقل عن ١٤ ورقة. وقد فسّرت علاقة خطية بين عدد الأوراق الظاهرة والعدد الكلى للأوراق التى تهيأت للتكوين .. فَسَّرَت ٩٥٪ من التباينات. ولذا .. فإن عدد الأوراق الظاهرة يمكن اتخاذه كأساس للتنبؤ بأبكر موعد محتمل لأخذ عينات للتنبؤ بموعد الحصاد، ولكن ليس للتنبؤ بحجم الرأس بسبب اعتماد الحجم على الحرارة (Grevsen ١٩٩٨).

التنفس وإنتاج الإثيلين

يتباين معدل تنفس البروكولى حسب درجة الحرارة، كما يلى:

الحرارة (°م)	معدل التنفس (ملليلتر ثانى أكسيد كربون/كجم/ساعة)
صفر	١٠-١١
٥	١٦-١٨
١٠	٣٨-٤٣
١٥	٨٠-٩٠
٢٠	١٤٠-١٦٠

ويقل كثيرًا إنتاج البروكولى من الإثيلين إلى أقل من ٠,١ ميكروليتر/كجم فى الساعة على ٢٠°م.

هذا إلا أن البروكولى شديد الحساسية للإثيلين الذى يمكن أن يتعرض له من مصادر خارجية، وأبرز مظاهر تلك الحساسية اصفرار الزهيرات. ويؤدى التعرض للإثيلين بتركيز جزأين فى المليون على ١٠°م إلى تقصير فترة الصلاحية للتخزين بنسبة ٥٠٪.

ويستدل من دراسات Kato وآخرين (٢٠٠٢) أن مجرد عملية قطع ساق البروكولى (الحامل النورى) يؤدى إلى تمثيل الـ ACC والإثيلين؛ مما قد يحفز نشاط الـ ACC oxidase وزيادة وفرة شفرة هذا الإنيزم بالزهيرات.

التداول

التقليم والتدريج

تقلم سيقان الرؤوس بعد الحصاد؛ بحيث تكون متساوية وبطول ١٥ سم، ثم تربط فى حزم، وقد يدرج المنتج قبل التعبئة.

التبريد الأولى

تفقد براعم البروكولى عند الحصاد حوالى ١٪ من محتواها من المادة الجافة – بالتنفس – فى كل ساعة. وبالمقارنة .. فإن تنفس السيقان (الحوامل النورية) يكون أبطأ من ذلك وثابت نسبيًا. ولذا .. فإن التبريد المبدئى السريع للبروكولى بعد الحصاد يعد أمرًا حتميًا للمحافظة على جودته (عن Pogson & Morris ١٩٩٧)، مع ضرورة تخزينه على درجة الصفر المئوى بعد ذلك لحين عرضه فى الأسواق.

يناسب التبريد الأولى للبروكولى طريقة الدفع الجبرى للهواء على أن تكون رطوبة الهواء مرتفعة، كما يناسبه طريقة التبريد تحت تفريغ، والتبريد بالثلج.

وقد كان التبريد الأولى بالماء المثلج hydrocooling أفضل وسيلة لسرعة تبريد البروكولى قبل تخزينه على ٢°م، وذلك مقارنة بطريقتى تبريد الغرفة room cooling (أى ترك المنتج فى غرفة مبردة إلى أن تنخفض حرارته إلى الدرجة المطلوبة) والتبريد بطريقة إضافة الثلج المجروش إلى المنتج المعبأ فى الحقل ice topping، كما احتفظ البروكولى المبرد مبدئيًا بهذه الطريقة برطوبته بصورة أفضل. هذا علمًا بأن البروكولى المبرد بأى من طريقتى الماء البارد أو إضافة الثلج احتفظ بلونه وصلابته بصورة أفضل من المبرد بطريقة الغرفة. وأدى تبريد البروكولى مبدئيًا بالماء المثلج ثم تعبئته فى أغشية مثقبة إلى تقليل فقده للرطوبة وزيادة احتفاظه بلونه وصلابته عن معاملات إضافة الثلج، وتبريد الغرفة، والتبريد المبدئى باستعمال الماء المثلج ولكن بدون تغليف (Gillies & Toivonen ١٩٩٥).

ولا يحتاج البروكولى إلى خلطة بالثج المجروش أو إلى وضع بدائل الثلج (مثل الـ gel packs) فى الكراتين أثناء التخزين والشحن، بشرط تبريده أوليًا بشكل جيد، مع المحافظة على سلسلة التبريد بعد ذلك (Klieber وآخرون ١٩٩٣).

معاملات يعطاها البروكولى لزيادة قدرته على التخزين

إن من بين أهم المعاملات التى يعطاها البروكولى – بعد الحصاد – لزيادة احتفاظه بجودته وقدرته على التخزين، ما يلى:

المعاملة بالحرارة

● أدى غمس البروكولى فى الماء الساخن على ٤٥°م لمدة ١٤ دقيقة إلى تأخير الاصفرار بمقدار يومين إلى ثلاثة أيام على ٢٠°م، وإلى إبطاء فقد البروتينات الذائبة وحامض الأسكوربيك، وتقليل سرعة التنفس ومعدل إنتاج الإثيلين (عن Forney ١٩٩٥).

● كذلك أدى غمس البروكولى فى الماء الساخن على ٤٢°م إلى تأخير الاصفرار بنحو يوم أو يومين، بينما أدى غمسه على حرارة ٤٥، أو ٤٨، أو ٥٠، أو ٥٢°م إلى منع الاصفرار لمدة لم تقل عن سبعة أيام. كذلك أدى الغمر فى الماء الساخن إلى تقليل الإصابة بالأعفان على ٢٠°م، وكان الغمر على ٥٠ أو ٥٢°م لمدة دقيقتين أكثر المعاملات فاعلية فى مكافحة الإصابة بالعفن. ولم تختلف نوعية البروكولى فى معاملتى الكنترول والنقع فى الماء الساخن وذلك بعد ثمانية أيام من التخزين على الصفر المئوى. وكانت أفضل معاملات الغمر فى الماء الساخن هى الغمر على حرارة ٥٠°م لمدة دقيقتين، حيث كانت أكثر المعاملات كفاءة فى تقليل الاصفرار والعفن، فى الوقت الذى لم تؤدى فيه إلى تكوين روائح غير مرغوب فيها أو تسرع من الفقد فى الوزن (Forney ١٩٩٥).

● كما وجد أن غمر البروكولى – بعد الحصاد مباشرة – فى الماء الساخن على ٤٧°م لمدة ٧,٥ دقيقة – قبل تخزينه لمدة ٥ أيام على ٢٠°م – أعطى أفضل نتيجة فيما يتعلق بتقليل الاصفرار (Tian وآخرون ١٩٩٦).

● ومقارنة بمعاملة الكنترول .. فإن غمر البروكولى فى الماء على حرارة ٤٥°م أدى إلى تأخير الاصفرار، وخفض سرعة التنفس ومعدل إنتاج الإثيلين، ولكن لفترة محدودة استمرت لمدة ٢٤ ساعة بالنسبة لإنتاج الإثيلين، ولمدة ٤٨ ساعة بالنسبة للتنفس (فى الظلام على ٢٠°م) عادت بعدها سرعتا التنفس وإنتاج الإثيلين مثلما فى الكنترول. وبالمقارنة .. لم تحدث تلك العودة إلى معدل التنفس أو إنتاج الإثيلين العاديين عندما كان الغمر فى الماء الساخن على ٤٧°م. وقد أحدث الغمر على ٤٧°م لمدة ٧,٥ دقيقة نقصًا شديدًا فى تنفس الأزهار، وفى محتواها من النشا، والسكروز. والبروتين الذائب خلال العشرة ساعات إلى الأربع وعشرين ساعة الأولى بعد

الحصاد، ولكن سبق ذلك زيادة كبيرة فى محتوى البراعم من السكروز (Tian وآخرون ١٩٩٧).

● وقد أدى غمر رؤوس البروكولى فى ماء ساخن على حرارة ٤٥°م لمدة ١٠، أو ١٥، أو ٢٠ دقيقة، أو على حرارة ٥٢°م لمدة دقيقة واحدة، أو دقيقتين، أو ثلاث دقائق إلى منع اصفرار البراعم. هذا .. إلاّ أن المعاملة بحرارة ٥٢°م لمدة ٣ دقائق أسرعت تكوين الروائح غير المرغوبة، وأحدثت أضرارًا ظاهرة بالبراعم الزهرية. ولقد زادت معاملات الغمر فى الماء الساخن من إنتاج المركبات المتطايرة التالية:

enthanol	1-propanol
1-hexanol	cis-3-hexen-1-ol
hexy acetate	cis-3-hexenyl acetate
dimethy sulfide	dimethyl disulfide
dimethyl trisulfide	methyl thiocyanate

● ويمكن التعرف على أضرار معاملة الغمر فى الماء على حرارة ٥٢°م لمدة ٣ دقائق — بعد ساعتين من المعاملة — بوجود زيادة مقدارها ٣٧٠ ضعفًا فى إنتاج الإيثانول، وأخرى مقدارها ٢٧ ضعفًا فى إنتاج المركب cis-3-hexen-1-ol. وفى هذه الدراسة كانت المركبات cis-3-hexen-1-ol، و dimethyl trisulfide، و dimethyl disulfide هى المسئولة عن الرائحة الكريهة التى أعقبت معاملة الغمر فى الماء على حرارة ٥٢°م لمدة ٣ دقائق (Forney & Jordan ١٩٩٨).

● أدت معاملة البروكولى بالحرارة على ٥٠°م لمدة ساعة قبل تخزينها على ١٥°م إلى خفض تحلل الكلوروفيل بسبب تثبيط المعاملة للإنزيمات المحللة للكلوروفيل (Funamoto وآخرون ٢٠٠٢).

● أدت معاملة البروكولى بالحرارة العالية قبل التخزين إلى تثبيط التعبير عن الجينات التى تشفر لتمثيل الإثيلين (Suzuki وآخرون ٢٠٠٥).

● أدت معاملة البروكولى بالحرارة (هواء على ٤٨°م) لمدة ثلاث ساعات مع التعريض

للأشعة UV-C بجرعة ٨ كيلوجول/م^{2} قبل تخزينها فى الظلام على ٢٠°م إلى المحافظة على لونها الأخضر وخصائصها الأكلية، حيث انخفض فيها تحلل الكلوروفيل، واحتفظت بمحتواها من البروتين بصورة أفضل مما فى معاملة الكنترول (Lemoine وآخرون ٢٠٠٨).

● أدت معاملة البروكولى بالهواء الحار على ٤٨°م لمدة ٣ ساعات قبل تخزينه على الصفر المئوى إلى تأخير اصفراره، حيث ازداد محتواه من الكلوروفيل – بعد ٢١ يومًا من التخزين – بمقدار ٤٠٪ عن المحتوى فى الكنترول. ولم تؤثر المعاملة على الفقد فى الوزن أو النشاط التنفسى، ولكنها حدَّت من التسرب الأيونى؛ بما يعنى أن المعاملة حافظت على سلامة الأنسجة. وقد أدت المعاملة الحرارية إلى خفض المحتوى الفينولى وقدرة تضادية الأكسدة خلال الأسبوعين الأول والثانى من التخزين، ولكنها ازدادت بعد أسبوع آخر ووصلت إلى قيم مماثلة للقيم فى معاملة الكنترول. هذا .. وقد احتوى البروكولى المعامل بالحرارة على مستويات أعلى من كل من السكريات والبروتينات الذائبة – بعد ثلاثة أسابيع من التخزين – عما فى معاملة الكنترول (Lemoine وآخرون ٢٠٠٩).

المعاملة بالأشعة فوق البنفسجية

عندما عُومل البروكولى الطازج المجهز للاستهلاك minimally processed بالأشعة الـ UV-C (بجرعة ٨ كيلوجول/م^{2} 8 kJ m^{-2})، ثم خُزِّن لمدة ٢١ يومًا على حرارة ٤°م. أدت معاملة الأشعة إلى تأخير الاصفرار وتحلل الكلوروفيل أثناء التخزين. وأظهرت زهيرات florets البروكولى المعامل درجة أقل من التسرب الأيونى والنشاط التنفسى، مع زيادة فى محتواها الفينولى ومن حامض الأسكوربيك، وكذلك زيادة فى نشاطها المضاد للأكسدة. وفى محتواها من السكريات الذائبة، كما أثرت المعاملة سلبيًّا على أعداد البكتيريا والفطريات المسببة للأعفان. ويعنى ذلك أن المعاملة بالـ UV-C تحفظ البروكولى المجهز جزئيًّا والمخزن على ٤°م من التدهور والنمو الميكروبى وتحفظ له قيمته الغذائية (Lemoine وآخرون ٢٠٠٧).

وقد أفاد تعريض البروكولى لجرعة مقدارها ٨,٨ كيلو جول kJ – لكل متر مربع – من الأشعة فوق البنفسجية بى UV-B أثناء التخزين على ١٥°م فى تأخير اصفرار الزهيرات وتحلل الكلوروفيل؛ وبالتالى المحافظة على لونها الأخضر أثناء التخزين (Aiamla-or ٢٠٠٩).

التبخير بالإيثانول (الكحول الإثيلى)

أدى تعريض رؤوس البروكولى لأبخرة الكحول الإثيلى بتركيز ٥٠٠ أو ١٠٠ أو ٢٥٠٠ جزءًا فى المليون (± ١٠٪-١٥٪) إلى احتفاظها بلونها الأخضر بدرجة أكبر مما حدث فى الكنترول، وذلك بعد ٦ أيام من التخزين على حرارة ١٣°م ورطوبة نسبية ١٠٠٪. وأدت المعاملة – تحت هذه الظروف – إلى خفض الإصابات المرضية – فى نهاية فترة التخزين – إلى ٢٨,٦٪، و ٢٥,٠٪، وصفر٪ فى معاملات تركيزات الكحول الإثيلى الثلاث، على التوالى. كذلك أدت المعاملة بأبخرة الإيثانول إلى تقليل الفقد فى الوزن، إلاّ أنها ساعدت فى تكوين روائح كريهة، ربما بسبب تراكم الإيثانول والأسيتالدهيد بالأنسجة. وقد استخلص من هذه الدراسة أن معاملة البروكولى بأبخرة الإيثانول قبل تخزينه فى حرارة معتدلة (١٣°م) يزيد من قدرته التخزينية (Corcuff وآخرون ١٩٩٦).

ويستفاد مما تقدم بيانه أن معاملة البروكولى بأبخرة الكحول الإثيلى بعد الحصاد تؤدى إلى تأخير الشيخوخة. ومن المعلوم أن المركبات التى تتفاعل مع الأكسجين reactive oxygen species (اختصارًا: ROS) ترتبط بشدة مع جودة المنتجات البستانية بعد الحصاد، وأن دورة الـ ascorbate-glutathione تلعب دورًا حاسمًا فى التحكم فى مستوى الـ ROS. وقد وجد أن نشاط الـ ascorbate peroxidase فى البروكولى المعامل بالإيثانول كان ثابتًا أثناء التخزين، بينما انخفض النشاط فى البروكولى غير المعامل بصورة خطية تقريبًا. كذلك وجد أن نشاط الـ glutathione reductase فى البروكولى المعامل بالإيثانول كان أعلى عما فى الكنترول بعد خمسة أيام من التخزين. أما نشاط الـ dehydroascorbate reductase فى البروكولى المعامل بالإيثانول فقد انخفض تدريجيًّا.

وقد أستنتج أن المعاملة بأبخرة الإيثانول ربما تثبط الانخفاض فى المواد المختزلة والأنشطة الإنزيمية ذات الصلة بدورة الـ ascorbete-glutathione لخفض الشدّ التأكسدى من خلال التخلص الفعال من فوق أكسيد الأيدروجين، وأن هذا التثبيط ربما يُسهم جزئيًا فى تثبيط الشيخوخة فى البروكولى المعامل بأبخرة الإيثانول (Mori وآخرون ٢٠٠٨).

وقد وجد أن معاملة البروكولى ببخار الإيثانول من مسحوق الكحول أدت إلى إطالة فترة صلاحية التخزين بتثبيطه لإنتاج الإثيلين من خلال منع نشاط الـ ACC oxidase (Suzuki وآخرون ٢٠٠٤).

وقد وجد أن تعرض البروكولى لمصدر خارجى من الإثيلين يُسرع اصفرار الزهيرات ويحفز إنتاج البروكولى ذاته للإثيلين، كما يحفز الكلايمكتيرك التنفسى، وقد ثبطت تلك التأثيرات التى يُحدثها الإثيلين بالمعاملة ببخار الإيثانول، وهى المعاملة التى ثبطت – كذلك – الزيادة فى نشاط الإنزيمات التى تحدث بفعل المعاملة بالإثيلين، وهى إنزيمات:

1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC)

ACC oxidase

والإنزيمات التى تُستحث على النشاط بفعل المعاملة بالإثيلين، وهى:

BO-ACO1

BO-ACO2

BO-ACS1

ويعنى ذلك أن معاملة البروكولى ببخار الإيثانول بعد الحصاد يثبط الشيخوخة من خلال تثبيط الاستجابات للإثيلين، وكذلك تثبيط تمثيل الإثيلين (Asoda وآخرون ٢٠٠٨).

كما وجد أن معاملة البروكولى بأبخرة الإيثانول بعد الحصاد تؤدى إلى تأخير

اصفراره؛ بسبب إبطاء المعاملة لعملية تحلل الكلوروفيل. وقد تبين أن المعاملة بأبخرة الإيثانول تثبط التعبير الجينى الخاص بالجينات المتحكمة فى هدم الكلوروفيل، وفى نشاط تلك الإنزيمات، مثل إنزيمات الـ chlorophyllase، والـ Mg-dechelatase، والـ Chl-degrading peroxidase (Fukasawa وآخرون ٢٠١٠).

المعاملة بمضادات الإثيلين AVG، و MCP

وجدأن معاملة نورات البروكولى بالمركب المضاد لتمثيل الإثيلين aminoethoxyvinyl glycine (اختصارًا: AVG) تؤخر اصفرار البراعم (عن Fan & Mattheis ٢٠٠٠).

كذلك أدت معاملة نورات البروكولى بالمركب المضاد لنشاط الإثيلين 1-methylcyclopropene (اختصارًا: MCP) بتركيزات منخفضة تراوحت بين ٠,٠٢، و ١,٠ ميكروليتر/لتر لفترات تراوحت بين ساعة واحدة، وست ساعات فى هواء يحتوى على إثيلين بتركيز ٠,١ ميكروليتر/لتر إلى إحداث تأخير معنوى فى بداية اصفرار البراعم على حرارة ٥، و ٢٠°م، وفى سرعة ظهور الأعفان على حرارة ٥°م. وقد تأثر مدى التأخير فى بداية الاصفرار بكل من التركيز المستعمل من الـ MCP وحرارة التخزين؛ فمثلاً .. عندما كان التخزين على ٢٠°م .. ازدادت فترة صلاحية البروكولى للتخزين بأكثر من ١٠٠٪ عندما كان التعريض للمركب MCP بتركيز ١ ميكروليتر/لتر لمدة ٦ ساعات، بينما كانت الزيادة ٥٠٪ فقط عندما كانت المعاملة لمدة ساعة. وعندما كان التخزين على ٥°م كانت المعاملة بالمركب أكثر فاعلية فى زيادة فترة الصلاحية للتخزين؛ حيث أعطت المعاملة بتركيز ١ ميكروليتر/لتر لمدة ٦ ساعات على حرارة ٢٠°م زيادة مقدارها ٢٥٠٪، مقارنة بزيادة مقدارها ٢٠٠٪ عندما كانت المعاملة على ٥°م (Ku & Wills ١٩٩٩). وفى دراسة أخرى وجد أن اصفرار البروكولى يحدث بفعل الإثيلين، وأن المعاملة بالـ MCP بتركيز ١ ميكروليتر/لتر لمدة ١٢ ساعة يمنع الاصفرار ويقلل التنفس حتى ولو تعرض البروكولى للإثيلين بصورة دائمة بعد ذلك لمدة ١٢ يومًا على حرارة ١٠°م (Fan & Mattheis ٢٠٠٠).

وقد أدت المعاملة بالـ 1-MCP بتركيز ١٢ حجمًا فى المليون (12 ul/l) لمدة ١٦ ساعة إلى زيادة فترة صلاحية البروكولى للتخزين على ١٠°م أكثر من ٢٠٪، ولكن تلك المعاملة لم تزد فترة صلاحية أوراق الباك شوى (*Brassica rapa* var. *chinensis*) للتخزين تحت نفس الظروف سوى بنسبة ١٠٪–٢٠٪. وكان من الضرورى إجراء تلك المعاملة بعد الحصاد مباشرة كى تكون مؤثرة. وقد وفرت تلك المعاملة – كذلك – حماية للبروكولى والباك شوى من المعاملة – التالية لها – بالإثيلين بتركيز ٠,١ إلى ١,٠ حجم فى المليون؛ بما يعنى أنها يمكن أن تفيد عند شحنهما مختلطين بغيرهما من المنتجات المنتجة للإثيلين (Able وآخرون ٢٠٠٢).

وفى دراسة أخرى .. أدت معاملة البروكولى بالـ 1-MCP بتركيز ١ ميكروليتر/لتر لمدة ١٤ ساعة – قبل التخزين على ١٢°م – إلى تأخير اصفرار الزهيرات عما حدث فى زهيرات الكنترول، كما أحدثت المعاملة خفضًا فى تنفس الزهيرات لمدة خمسة أيام. وحافظت على مستوى عالٍ من فلورة الكلوروفيل لمدة ١٢ يومًا من التخزين؛ وخفضت إنتاج الـ dimethyl trisulfide الذى يُسهم فى تكوين الروائح غير المرغوب فيها فى الزهيرات.

ومقارنة بالكنترول .. فإن الزهيرات التى خزنت على ١٢°م فى ٢٠٠ نانوليتر/لتر من الأوزون أصيبت بالعفن بدرجة أقل واصفرَّت بصورة أبطأ، ولكن لم تكن بينهما أى فروق فى التنفس وإنتاج الإثيلين، كذلك كانت الزهيرات التى خزنت فى ٧٠٠ نانوليتر/لتر أكثر اخضرارًا عن أى من تلك التى خزنت فى الهواء أو فى ٢٠٠ نانوليتر/لتر، ولكن فلورة الكلوروفيل فيها انخفضت جوهريًّا، حيث كانت القراءة بعد ١٢ يومًا من التخزين ٣٠٪ عما كانت عليه عند البداية. كذلك أدى التخزين فى التركيز المرتفع من الأوزون إلى تحفيز إنتاج الإثيلين والتنفس فى الزهيرات بعد يوم واحد من التخزين، وأحدث أضرارًا فيزيائية تمثلت فى زيادة الفقد فى الوزن وتلون نهاية سيقان الزهيرات بالبنى.

وعمومًا أدت معاملة البروكولى بالـ 1-MCP منفردًا أو مع التخزين فى ٢٠٠

نانوليتر/لتر من الأوزون إلى المحافظة على جودة الزهيرات وزيادة فترة احتفاظها بصلاحيتها للتخزين (Forney وآخرون ٢٠٠٣).

المعاملة بمنظمات النمو

يعتبر فقدان الكلوروفيل من البراعم الزهرية وارتفاع معدل التنفس بها أهم العوامل التى تؤدى إلى سرعة تدهور رؤوس البروكولى أثناء التخزين. وقد وجد أن معاملة الرؤوس بعد الحصاد بالسيتوكينين ABG 3062 (إنتاج Abbott Lab)، ثم تعبئتها فى أكياس بوليثيلين مثقبة وتخزينها فى حرارة ١٦°م أدت إلى خفض معدل التنفس بنسبة ٥٠٪، ومنع تحلل واختفاء الكلوروفيل، وزيادة القدرة التخزينية للرؤوس بمقدار ٩٠٪ بالمقارنة بالرؤوس غير المعاملة (الكنترول) التى ازداد فيها إنتاج الإثيلين بمقدار ٤٠٪، ونقص محتواها من الكلوروفيل (أ، ب) بنسبة ٦٠٪ (Rushing ١٩٨٨).

كذلك أدت معاملة رؤوس البروكولى المخزنة فى أكياس من البوليثيلين على حرارة ١٦°م بالسيتوكينينات cytokinins (الزياتين zeatin، والبنزيل أدينين benzyladenine) بتركيز ١٠ أو ٥٠ جزءًا فى المليون إلى خفض معدل التنفس بنسبة ٥٠٪، وإنتاج الإثيلين بنسبة ٤٠٪ خلال الأربعة أيام الأولى من التخزين مقارنة بالكنترول. وبينما انخفض المحتوى الكلوروفيلى بنسبة ٦٠٪ فى معاملة الكنترول، فإنه لم يتأثر فى معاملة السيتوكينين التى ازدادت فيها القدرة التخزينية للرؤوس بنسبة ٩٠٪ مقارنة بالكنترول. وقد ازداد التأثير بزيادة التركيز المستعمل، وكان البنزيل أدنين أفضل تأثيرًا عن الزياتين (Rushing ١٩٩٠).

هذا .. ويلعب كل من الإثيلين والبنزيل أدنين دورًا رئيسيًّا فى اصفرار البروكولى بعد الحصاد. وقد أدى غمس رؤوس البروكولى فى البنزيل أدنين إلى تحفيز إنتاج الإثيلين، ونقص معدل التنفس، وتأخير اصفرار البراعم، ولم توجد علاقة ثابتة بين معدل الإنتاج الأوّلى للإثيلين، ومعدل اصفرار البراعم (Tian وآخرون ١٩٩٥).

وقد كان اصفرار البراعم الموجودة فى حافة الرأس أسرع من تلك التى توجد فى وسطها. وأدت المعاملة بالبنزيل أدنين بتركيز ٢,٢١ × ١٠$^{-٤}$ مولار إلى تأخير بداية تحلل

الكلوروفيل. كذلك يستفاد من تأثير معاملة البراعم بالـ ACC، وبأيون الفضة أن الإثيلين ربما كان له دور فى التحكم فى تحلل الكلوروفيل. وقد ألغت معاملة السيتوكينين التأثير المحفز للشيخوخة الذى أحدثته معاملة الـ ACC (Clarke وآخرون ١٩٩٤).

كما أدت المعاملة بالبنزيل أدنين بتركيز ٢٠ جزءًا فى المليون إلى: إبطاء تحلل الكلوروفيل والبروتين، وزيادة نشاط الإنزيمين superoxide dismutase، و catalase، وتقليل محتوى الـ malondialdehyde، وتأخير أكسدة الدهون، وتقليل التسرب الأيونى؛ مما أدى إلى تأخير شيخوخة البراعم (Ye وآخرون ١٩٩٦).

هذا .. إلاّ أن غمس البراعم الزهرية للبروكولى فى البنزيل أدنين بتركيز ٥٠ جزءًا فى المليون لمدة ٦٠ ثانية لم يمنع حدوث فقد سريع فى السكروز، حيث وصل الفقد خلال الساعات الست الأولى بعد الحصاد إلى حوالى ٥٠٪ فى كل من البروكولى المعامل بالسيتوكينين وفى الكنترول. هذا .. إلاّ أن معاملة منظم النمو أخّرت بنحو ٤٨ ساعة الزيادة الكبيرة فى محتوى الأسباراجين والجلوتامين التى حدثت فى الكنترول (Downs وآخرون ١٩٩٧).

التخزين المبرد العادى

تؤدى عمليات حصاد وتداول البروكولى إلى تجريحه، وفصله عن مصادر الغذاء والهرمونات، وفقده للرطوبة. وكنسيج غير مكتمل النمو .. فإن البروكولى لا يكون بعد حصاده قادرًا على الاستمرار فى المحافظة على حيوية أنسجته بصورة ذاتية؛ مما يؤدى إلى سرعة دخوله فى مرحلة الشيخوخة.

ويراعى عند تخزين البروكولى أن أزهاره تستمر فى النمو النشط بعد الحصاد؛ مما يجعلها غير صالحة للتسويق. ويعتبر البروكولى من أشد الخضروات حساسية لظروف التخزين السيئة؛ نظرًا لأنه من أكثر الخضروات فى معدل التنفس، وهو يتشابه فى هذا الشأن مع كل من: الأسبرجس، والفاصوليا الخضراء، والذرة السكرية.

لا يخزن البروكولى عادة إلا لفترات قصيرة عند وجود مشاكل فى التسويق. وأفضل ظروف لتخزينه، هى: درجة حرارة الصفر المئوى، مع رطوبة نسبية >٩٥٪. والتهوية

الجيدة حول العبوات لمنع تراكم الحرارة، حيث يبقى بحالة جيدة — تحت هذه الظروف — لمدة ١٤-٢١ يومًا، وتحدث بعد ذلك تغيرات فى اللون، وتسقط بعض البراعم، وتفقد الأنسجة صلابتها (Lutz & Hardenburg ١٩٦٨). وتزداد سرعة هذه التحولات عند التخزين فى درجة حرارة أعلى من الصفر المئوى؛ حيث لا تزيد فترة التخزين عن ١٠ أيام على ٥°م، وعن ٥ أيام على ١٠°م.

وقد وُجِدَ أن فلورة الكلوروفيل فى البروكولى تكون مستقلة عن مدى اكتمال نمو الرؤوس؛ مما يعنى إمكان استعمال تلك الخاصية كدليل على الحالة الفسيولوجية للرأس — ومن ثم مدى صلاحيتها للتخزين — دونما اعتبار لمرحلة النمو والتكوين (Toivonen & DeEll ١٩٩٨).

ويجب عدم تخزين البروكولى مع الثمار المنتجة للإثيلين، مثل: الكنتالوب، والتفاح، والكمثرى؛ وذلك لأن هذا الغاز يسرع اصفرار البراعم.

ويعد اصفرار براعم البروكولى — الذى يحدث فى خلال ثلاثة أيام على حرارة الغرفة — نتيجة لإنتاج الإثيلين — أهم مشاكل تخزين المحصول (عن Rangavajhyala وآخرين ١٩٩٨).

كذلك فإن من أهم المشاكل الأخرى التى تظهر عند تخزين البروكولى: تفتح البراعم، وصلابة الحوامل النورية، وتكون روائح غير مرغوبة، وحدوث العفن الطرى والأعفان المرضية الأخرى.

هذا .. وتتباين أصناف البروكولى كثيرًا فى قدرتها على التخزين والبقاء بحالة جيدة. ومن أكثرها قدرة الأصناف Galaxy، و Marathon، و Mercedes، و Permium Crop (عن Cantwell & Suslow ٢٠٠٧).

ويتعرض البروكولى للتجمد إذا تعرض لحرارة تقل عن -١°م. تبدو المساحات المفككة بعد التجمد داكنة اللون بشفانية، وقد تكتسب لونًا بنيًّا، وتكون شديدة القابلية للإصابة بالتحلل البكتيرى.

التخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته

● تزداد فترة احتفاظ البروكولى بجودته – فى حرارة تزيد عن ٥°م – إذا ما خزن فى هواء يحتوى على ١٠٪ ثانى أكسيد الكربون، و ١٪ أكسجين. تؤدى نسبة ثانى أكسيد الكربون المرتفعة إلى تأخير اصفرار الرؤوس وصلابتها، ولكن زيادتها إلى ١٥٪ يترتب عليها تكوين روائح غير مرغوب فيها. ويؤدى خفض نسبة الأكسجين إلى ١٪ إلى تأخير اصفرار الرؤوس، ولكن الانخفاض بنسبته إلى ٠,١٪–٠,٢٥٪ يمكن أن يترتب عليه أضرار شديدة، مع ظهور طعم ورائحة غير مقبولين فى البروكولى عند طهيه.

● وأظهرت دراسات Makhlouf وآخرون (١٩٨٩) أن فقد الكلوروفيل من نورات البروكولى المخزنة قلّت حدته عندما كان التخزين فى جو متحكم فى مكوناته يحتوى على تركيز عال من ثانى أكسيد الكربون، كما ساعدت تلك الظروف – كذلك – فى خفض شدة الإصابة بالعفن الطرى والإصابات المرضية الأخرى. هذا .. إلاّ إنه بعد ستة أسابيع من التخزين فى جو يحتوى على ١٠٪ أو أكثر من ثانى أكسيد الكربون ازداد معدل التنفس، وتكونت روائح غير مرغوب فيها، وحدثت أضرار فسيولوجية. وكانت أفضل الظروف لتخزين البروكولى على ١°م هى جو يحتوى على ٦٪ ثانى أكسيد كربون، و ٢,٥٪ أكسجين، حيث احتفظت الرؤوس بجودتها لمدة ثلاثة أسابيع على الأقل دون أن تظهر بها أية أضرار فسيولوجية.

● وقد ساعد تخزين البروكولى فى هواء تقل فيه نسبة الأكسجين وتزيد نسبة ثانى أكسيد الكربون إلى زيادة احتفاظ المنتج بلونه فى حرارة ١٠°م، ولكنها لم تكن مؤثرة فى حرارة صفر أو ٥°م. وبينما أدت ظروف الأكسجين المنخفض وثانى أكسيد الكربون المرتفع إلى تقليل التلون البنى والإصابة بالعفن الطرى، فقد تكونت رائحة كريهة عندما كان تركيز الأكسجين ٠,٢٥٪ أيًا كانت حرارة التخزين، أو ٠,٥٪ فى حرارة ١٠°م. وقد كانت أفضل الظروف للتخزين هى ٠,٥٪ أكسجين + ١٠٪ ثانى أكسيد كربون على حرارة صفر أو ٥°م، و ١٪ أكسجين + ١٠٪ ثانى أكسيد كربون على حرارة ١٠°م (Izumi وآخرون ١٩٩٦).

● وأوصى Saltveit (١٩٧٧) بتخزين وشحن البروكولى على حرارة صفر إلى ٥°م فى هواء يحتوى على ١٪-٢٪ أكسجين، و ٥٪-١٠٪ ثانى أكسيد الكربون، علمًا بأن تلك التوصيات تطبق بالفعل فى الولايات المتحدة على نطاق واسع. هذا .. إلاّ أن أى ارتفاع فى حرارة الشحن أو التخزين عن ٥°م يؤدى إلى ظهور روائح غير مرغوب فيها.

● وقد قام Ishikawa وآخرون (١٩٩٨) بدراسة التغيرات التى تحدث فى بعض مكونات البروكولى لدى تخزينه فى جو متحكم فى مكوناته، والذى تراوحت فيه نسبة الأكسجين بين صفر ٪، و ١٠٪، ونسبة ثانى أكسيد الكربون بين ٢٪، و ٢٠٪. وقد أوضحت الدراسة أن تركيز الجلوتاثيون glutathione انخفض فى التركيزات المنخفضة من الأكسجين، بينما انخفض المحتوى الكلوروفيللى، وتركيز حامض الأسكوربيك جوهريًا فى الهواء الذى احتوى على تركيز مرتفع من الأكسجين وتركيز منخفض من ثانى أكسيد الكربون. وكانت أنسب الظروف للمحافظة على الصبغات، وحامض الأسكوربيك، والجلوتاثيون هى التخزين فى هواء يحتوى على ٢٪ أكسجين مع ٤٪-١٠٪ ثانى أكسيد كربون. وقد أمكن تحقيق هذا الهدف — بالحصول على جو معدل يحتوى على ٢٪ أكسجين، و ٥٪ ثانى أكسيد كربون — بالتعبئة فى أغشية ذات معدل نفاذية يومى مقداره ١٠٠٠ مل أكسجين/ضغط جوى.

● وأدى تخزين البروكولى فى تركيز منخفض من الأكسجين (٠,١٢٥٪ إلى ٠,٥٪)، أو تركيز مرتفع من ثانى أكسيد الكربون (٢٠٪ ثانى أكسيد كربون)، أو بالمعاملتين معًا إلى تأخير اصفرار الزهيرات على ١٠°م عما فى معاملة الكنترول. وقد ازداد تركيز الأسيتالدهيد والإيثانول مع انخفاض تركيز الأكسجين، سواء أكان ذلك مع زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون أم بدون تلك الزيادة. هذا إلا أن تهوية البروكولى لمدة يومين خفضت من تركيز الأسيتالدهيد والإيثانول (Hansen وآخرون ٢٠٠١).

التخزين فى الجو المعدل

● أدى تخزين البروكولى فى عبوات من أغشية شبه منفذة للغازات إلى تكون جو

معدل modified atmosphere بداخلها ساعد فى زيادة محتوى المنتج من كل من الكلوروفيل والأحماض الدهنية غير المشبعة (C-18 PUFA) بعد ٩٦ ساعة من التخزين. مقارنة بالقيم الأولية، هذا بينما انخفض محتوى المنتج غير المعبأ فى كل من الكلوروفيل والأحماض الدهنية غير المشبعة والبروتين الذائب. أما فى العبوات المهواه vent packages فقد بقى فيها المحتوى الكلوروفيللى ثابتًا تقريبًا، بينما انخفض فيها محتوى المنتج من الأحماض الدهنية غير المشبعة والبروتين الذائب (Zhuang وآخرون ١٩٩٤). وقد بدا واضحًا وجود علاقة طردية بين أكسدة الدهون وشيخوخة براعم البروكولى، وأن ارتفاع درجة حرارة التخزين من ٢ إلى ٢٣°م يسرع كلا من أكسدة الدهون وشيخوخة البراعم (Zhuang وآخرون ١٩٩٥).

● وقد حافظ التغليف فى تلك الأغشية المُحَّورَة لمكونات هواء العبوة modified atmosphere packaging – مقارنة بالأغشية المثقبة للتهوية، والتعريض المتقطع للرذاذ الدقيق automatic misting – حافظ بصورة أفضل على محتوى المنتج من كل من الكاروتين الكلى وحامض الأسكوربيك خلال فترة ٦ أيام على ٥°م، مقارنة بفقد – فى المعاملات الأخرى – تراوح بين ٤٢٪، و ٥٧٪ فى الكاروتينات الكلية. وبين ١٤٪، و ٤٦٪ فى حامض الأسكوربيك. كذلك حافظت تلك الأغشية على اللون والمحتوى الرطوبى للبروكولى بصورة أفضل (Barth & Zhuang ١٩٩٦).

● كذلك فإن كلا من أغشية البوليثيلين القليل الكثافة بسمك ١٥ ميكرون، وأغشية البولى مثيل بنتين polymethylpentene بسمك ٣٤ ميكرون كانتا أفضل الأغشية – من عشرة أنواع تم اختبارها – لحفظ نوعية البروكولى المخزن بحالة جيدة. ولقد حافظ هذان الغشاءان على جو معدل احتوى على ٢٪-٥٪ أكسجين، و ٣٪-٦٪ ثانى أكسيد كربون بداخل العبوات، كما ثبطا اصفرار البراعم وتكوين الروائح الكريهة، وقللا من فقد حامض الأسكوربيك (Nakanishi وآخرون ١٩٩٦).

● وأمكن حفظ البروكولى لمدة ٨ أيام بحالة صالحة للتسويق بتعبئته فى غشاء من البوليثيلين بسمك ٣٠ ميكرون ثم تخزينه على ١٠°م (Yamashita وآخرون ١٩٩٣).

● كذلك وجد أنه فى خلال ٢٤ ساعة من تعبئة البروكولى فى عبوات المستهلك على حرارة ٢٠°م ورطوبة نسبية ٦٠٪ انخفض تركيز الأكسجين إلى ٢,٥٪. بينما ارتفع تركيز ثانى أكسيد الكربون إلى ٨٪، وبقيت تلك النسب ثابتة تقريبًا لمدة ٩٦ ساعة. وقد أدت تعبئة البروكولى تحت تلك الظروف لمدة ٩٦ ساعة — مقارنة بتخزينه فى الهواء العادى — إلى تقليل الفقد فى حامض الأسكوربيك، والرطوبة، وخفض نشاط إنزيم البيروكسديز، وتقليل فقد الكلوروفيل (Barth وآخرون ١٩٩٣).

● وتستعمل فى تعبئة البروكولى عدة أنواع من تلك الأغشية التى تسمح بتعديل الجو الداخلى للعبوة فى خلال ساعات قليلة (نتيجة لاستهلاك الأكسجين بالتنفس وإنطلاق ثانى أكسيد الكربون) تعرف باسم modified atmosphere packages (اختصارًا: MAP)، ومن أمثلتها أغشية Cryovac، التى يتوفر منها عدة أنواع. وقد وُجد أن النوع Cryovac PD941 كان أفضلها لتخزين البروكولى، حيث احتفظ بجودته العالية لمدة لا تقل عن أربعة أسابيع فى حرارة الصفر المئوى. وبالمقارنة كان النوعان Cryovac B900 و Cryovac PD961EZ: أقل كفاءة حيث لم يكونا منفذين للغازات بالقدر الكافى الذى يلزم لتعويض النقص الحاد فى الأكسجين الذى حدث نتيجة لتنفس البروكولى؛ مما أدى إلى تكوين روائح منفرة، وخاصة فى الحرارة الأعلى عن الصفر (Cabezas & Richardson ١٩٩٧).

● وعندما كان تخزين البروكولى لمدة ٣ أيام فقط على ١°م فإن أيًّا من التبريد الأوّلى بالماء المثلج أو التغليف بأغشية ذات ثقوب دقيقة كان كافيًا للمحافظة على صلابة وجودة المنتج على حرارة ١٣°م — بعد ذلك — خلال فترة العرض للبيع. هذا إلا أن التخزين لمدة ١٠ أو ١٧ يومًا تطلب الجمع بين التبريد الأوّلى والتغليف للمحافظة على جودة المنتج. وقد كان الاصفرار خلال خمسة أيام على ١٣°م أشدّ فى البروكولى الذى كان قد سبق تخزينه على ١°م لمدة ٣ أيام عما فى المنتج الذى خُزِّن لمدة ١٠ أو ١٧ يومًا على ١٣°م (Toivonen ١٩٩٧).

● هذا .. إلا أن التعبئة فى أغشية لا تسمح بسرعة تبادل الغازات بشكل كاف أدت

إلى إحداث نقص كبير فى تركيز الأكسجين وزيادة مقابلة فى تركيز ثانى أكسيد الكربون، وهى ظروف ساعدت على إنتاج الأسيتالدهيد، والكحول الإثيلى، وحامض الخليك، وجميعها مركبات تضفى على البروكولى طعمًا غير مرغوب فيه (Chachin وآخرون ١٩٩٩).

● ولذا .. يفضل – دائمًا – أن تسمح الـ MAP بتوازن لهواء العبوة يحتوى على ١٠٪ من كل من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون (عن Cantwell & Suslow ٢٠٠٧).

● وكان قد وجد أن خفض معدل التهوية بما يسمح بزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون إلى ١٨٪ وخفض تركيز الأكسجين إلى ١٪ على ٢,٥°م يؤدى إلى تكوين روائح غير مرغوب فيها فى البروكولى، إلا أن زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون مع التهوية العادية على ٢,٥°م يثبط اصفرار الزهيرات دون التأثير على الرائحة إلا بعد ١٧ يومًا من التخزين، حيث تكونت رائحة ضعيفة غير مرغوب فيها، اختفت بعد يومين من حفظ البروكولى فى الهواء على ٥°م (Kasmire وآخرون ١٩٧٤).

● وقد وجد أنه يمكن الاعتماد على خاصية فلورة الكلوروفيل chlorophyll fluorescence كطريقة سهلة وسريعة ودقيقة للدلالة على جودة البروكولى المعبأ فى الأغشية التى يزداد فيها تركيز ثانى أكسيد الكربون ويقل تركيز الأكسجين بعد فترة قصيرة من تعبئتها، كما يمكن الاستفادة منها فى تحديد ما إذا كان البروكولى قد أفرز روائح غير مقبولة أم لا دون فتح العبوة أو إتلاف محتوياتها، علمًا بأن شدة فلورة الكلوروفيل تضعف مع شيخوخة البراعم وفقدها للونها الأخضر وزيادة معدل تنفسها (DeEll & Toivonen ١٩٩٩، ٢٠٠٠).

● وأوضحت الدراسات وجود علاقة بين التغيرات فى مستوى فلورة الكلوروفيل فى البروكولى وتراكم ثانى أكسيد الكربون فى العبوات المُعدَّلة للهواء modified atmosphere packages أثناء التخزين.

● وقد استخدم Toivonen & DeEll (٢٠٠١) أكياس تعبئة من النوع PD-961EZ

التى تسمح لثانى أكسيد الكربون بالتراكم حتى حوالى ١١ كيلو باسكال (١١٪). وخلال ٢٨ يومًا من التخزين فى هذه العبوات على ١°م تكون بالبروكولى تدريجيًا مستويات بسيطة إلى متوسطة من روائح كحولية، وتراكم بأنسجته الإيثانول، والأسيتالدهيد، وخلات الإيثايل، وقد انخفضت مستويات تلك الروائح والمركبات قليلاً لدى فتح العبوات وحفظ البروكولى فى الهواء على ١°م لمدة ٤ أيام. كذلك انخفضت قياسات فلورة الكلوروفيل مع تراكم تلك المركبات فى الظروف اللاهوائية، ثم ارتفعت القياسات إلى مستواها الأولى بعد فتح العبوات وإبقاء البروكولى فى الهواء على ١°م لمدة ٤ أيام. ووجد أن قياسات فلورة الكلوروفيل ترتبط بدرجة عالية بإنتاج البروكولى من تلك المركبات خلال فترة التخزين فى الظروف اللاهوائية وبعد فتح تلك العبوات، وكذلك مع الروائح غير المرغوب فيها التى ظهرت بالبروكولى المخزن فى تلك الظروف لفترة طويلة.

● أدت تعبئة البروكولى فى الـ MAP إلى إطالة فترة احتفاظه بجودته سواء أكان تخزينه على ٤، أم ٢٠°م. وقد قللت المعاملة من الانخفاض الذى يحدث بعد الحصاد فى تركيز مختلف الجلوكوسينولات خلال فترة ٢٤ يومًا من التخزين على ٤°م أو ٥ أيام على ٢٠°م. وقد حافظ البروكولى المعبأ فى الـ MAP على مظهره ومحتواه من الجلوكوسينولات لمدة ١٣ يومًا على ٤°م ولمدة ثلاثة أيام على ٢٠°م (Jia وآخرون ٢٠٠٨).

التغيرات الفسيولوجية التالية للحصاد

● صاحب تخزين البروكولى على ٢٠°م فى الظلام تغيرات كبيرة فى محتواه من مختلف المركبات الكيميائية خلال الأربعة أيام الأولى من التخزين، ففى خلال الساعات الست الأولى حدث فقد كبير فى السكريات والأحماض العضوية والبروتين من كل أجزاء الرأس. وبين ١٢. و ٩٦ ساعة من بداية التخزين ازدادت الأحماض الأمينية الكلية: وخاصة الجلوتامين والأسباراجين، بينما تراكمت الأمونيا فى الأجزاء الزهرية من الرأس (King & Morris ١٩٩٤ ب).

● كما صاحب تخزين البروكولى على ٤°م ثباتًا فى محتوى المنتج من كل من حامض الأسكوربيك والبيتا كاروتين، والكلوروفيل، ولكن المحتوى الكلوروفيللى ازداد فى الضوء. وبالمقارنة .. صاحب التخزين على ٢٠°م نقصًا فى محتوى المنتج من كل من حامض الأسكوربيك والكلوروفيل، بينما تبقى البيتا كاروتين ثابتًا (Paradis وآخرون ١٩٩٥).

● وفى خلال ٦ ساعات بعد الحصاد انخفض تركيز السكروز فى البراعم الزهرية للبروكولى بنحو ٥٠٪، بينما ازداد تركيز الأسباراجين ٧ مرات بين ٢٤، و ٧٢ ساعة بعد الحصاد. وتوافق ازدياد تركيز الأسباراجين مع حدوث زيادة مبكرة فى نشاط الإنزيم asparagine synthetase (أو aspartate-ammonia ligase) (Downs & Somerfield ١٩٩٧).

● ويعتقد بأن الـ acid invertase قد يكون أحد الإنزيمات الرئيسية التى تؤدى إلى خفض محتوى السكروز الذى يصاحب التدهور السريع للبروكولى بعد الحصاد (Coupe وآخرون ٢٠٠٣).

● وأظهر تزويد البروكولى بالسكروز بعد الحصاد بعدة ساعات – من خلال تيار الماء المتص والمفقود بالنتح (بغمر قواعد الفروع النورية فى محلول سكرى) – بهدف زيادة كمية السكروز المتوفرة للتنفس، وتحديد تأثير ذلك على قدرة البروكولى على التخزين بحالة جيدة على ٢٠°م – أظهر أن محلول سكروز بتركيز ٨٪ (وزن/حجم) كان كافيًا لمدّ أنسجة البروكولى بالمادة اللازمة للتنفس، إلاّ أن معدل التنفس مع الوقت – بعد الحصاد – لم يتأثر بإمدادات السكر، وبدأت البراعم فى الاصفرار بعد يومين. وعندما تم التزويد بالسكروز بعد الحصاد مباشرة حدث تأخير فى الاصفرار. وبينما أدت المعاملة بالبنزيل أدنين بتركيز ٥٠ جزءًا فى المليون إلى تأخير الاصفرار فإنها لم تكن مؤثرة على تركيز السكروز بالنورات بعد ٤,٥ يومًا. وبدا أن الشيخوخة – ومن ثم الاصفرار – تصاحب النقص الذى يحدث فى مستوى السكروز بعد الحصاد. وأن البنزيل أدنين يؤخر الاتجاه نحو الشيخوخة (Irving & Joyce ١٩٩٥).

● وبينما كان الفقد فى الكلوروفيل فى معظم أصناف البروكولى محدودًا بعد خمسة أسابيع من التخزين البارد على ١°م + يومين على ٢٠°م، فقد استهلكت السكريات سريعًا أثناء التخزين البارد، وخاصة السكروز وكان استهلاكها كاملاً بعد ١٠ أسابيع من التخزين على ١°م، بينما كان الفقد فى البروتين الكلى خلال تلك الفترة ٢٠٪ فقط (Pogson & Morris ١٩٩٧).

● وقد وُجد أن محتوى براعم البروكولى من الكلوروفيل (أ، ب) انخفض عند التخزين فى الهواء، وازدادت سرعة هذا الانخفاض لدى المعاملة بالإثيلين، بينما ثبطت السرعة عند التخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته. وبينما انخفض كذلك محتوى الزانثوفيللات xanthophylls مع التخزين فإن صبغات جديدة — أقُترح أنها esterified xanthophylls — تكونت مع اصفرار البراعم (Yamaguchi & Watada ١٩٩٨).

● وتختلف أصناف البروكولى فى سرعة اصفرار براعمها؛ ففى حرارة ١٣°م احتفظ الصنف Greenbelt بالكلوروفيل لمدة ٤ أيام، بينما تدهور محتوى الصنف Emperor من الكلوروفيل بوضوح خلال تلك الفترة. وقد كان نشاط كلا من Superoxide dismutase، و Peroxidase أعلى بمقدار ٣٠٪ فى Greenbelt عما فى Emperor. ويبدو أن الحماية ضد الأكسدة التى وفرتها هذين الإنزيمين كانت عاملاً هامًّا فى الاحتفاظ باللون الأخضر (Toivonen & Sweeney ١٩٩٨).

● ويصاحب اصفرار البراعم فقد البلاستيدات الخضراء لشكلها المميز، حيث تصبح غير واضحة المعالم ويبهت لونها تدريجيًّا أثناء شيخوخة البراعم (Terai وآخرون ٢٠٠٠).

● وقد صاحب تخزين البروكولى صنف Piracicaba Precoce على حرارة ٢٥°م ورطوبة نسبية ٩٦٪ فى الظلام التغيرات التالية:

١- أظهرت النورة الزهرية فقدًا فى صلابتها عندما وصل الفقد فى الوزن إلى ٥٪؛ الأمر الذى حدث بعد الحصاد بنحو ٤٨ ساعة.

٢- ظل المحتوى الكلوروفيللى ثابتًا لمدة ٢٤ ساعة بعد الحصا، وبعدها حدث له تحلل شديد.

٣- ظهر الاصفرار الكامل للبراعم بعد ٧٢ ساعة من الحصاد؛ الأمر الذى تزامن مع انخفاض مستوى الكلوروفيل إلى ٣٠٪ من مستواه الابتدائى عند الحصاد.

٤- ازداد نشاط إنزيم البيروكسيديز بمقدار ١,٤ ضعفًا خلال الساعات الست الأولى بعد الحصاد، ثم انخفض إلى أدنى مستوى له بعد حوالى ٢٤ ساعة من الحصاد، وبعد ذلك ازداد نشاطه بصورة مستمرة حتى مرور ٧٢ ساعة من الحصاد.

٥- انخفض مستوى التنفس بعد ٢٤ ساعة من الحصاد بمقدار ٥٠٪، ولكن ظل معدل التنفس ثابتًا فى البراعم، ولكن عند مستوى أقل من مستواه الذى كان عليه عند الحصاد.

٦- حدثت انخفاضات حادة فى محتوى البراعم الزهرية من النشا والسكريات المختزلة فى خلال ٢٤ ساعة بعد الحصاد، واستمرت الانخفاضات بعد ذلك ولكن بمعدلات أقل (Finger وآخرون ١٩٩٩).

● ولقد ازداد إنتاج الإثيلين من رؤوس صنف البروكولى شوجن Shogun المخزنة على ٢٠°م فى الظلام مع اصفرار سبلات البراعم. وأدت إزالة الأعضاء الجنسية للبراعم (الطلع والمتاع) إلى تقليل معدل اصفرار السبلات. وقد أظهرت تلك الأعضاء زيادة فى نشاط إنزيم ACC oxidase بمقدار ٧ أمثال، وفى إنتاج الإثيلين بمقدار الضعف عما فى الأنسجة الأخرى للأجزاء النورية (Tian وآخرون ١٩٩٤).

● وبالمقارنة لم يجد King & Morris (١٩٩٤أ) علاقة ثابتة بين إنتاج الإثيلين واصفرار سبلات البراعم، إلا أن وقت بداية الاصفرار ارتبط بصورة عامة بالمستوى الذى بدأ به إنتاج الإثيلين.

● واتضح من دراسات Kasai وآخرين (١٩٩٦) أن إنتاج الإثيلين بواسطة رؤوس البروكولى يلعب دورًا فى شيخوخة البراعم، وينظم فى الوقت ذاته نشاط الإنزيم ACC oxidase.

● وازداد إنتاج الإثيلين من البراعم الزهرية للبروكولى أثناء تخزينها على ٢٠°م. ومع دخول البراعم مرحلة الشيخوخة ازداد – كذلك – بشدة نشاط إنزيم ACC oxidase إلى أن وصل إلى أعلى مستوى له ثم انخفض؛ الأمر الذى توازى مع معدل إنتاج الإثيلين (Kasai وآخرون ١٩٩٨).

● وقد تأكد أن شيخوخة البراعم الزهرية فى البروكولى ترتبط بزيادة فى إنتاج الإثيلين. ترتبط – بدورها – بزيادة مماثلة فى نشاط الإنزيم ACC oxidase (Hyodo وآخرون ١٩٩٥، و Kasai وآخرون ١٩٩٨).

● ومن المعتقد أن الإثيلين يعلب دورًا هامًّا فى اصفرار سبلات البراعم الزهرية للبروكولى بعد حصاده. ويتضمن تمثيل الإثيلين فعل الإنزيمين: 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase (اختصارًا ACC synthase) الذى يقوم بتحويل المركب S-adenosyl methionine إلى ACC، و ACC oxidase؛ الذى يقوم بتحويل الـ ACC إلى إثيلين. ويمكن تثبيط الإثيلين باستعمال antisense RNA لأى من هذين الإنزيمين.

● وقد درس Henzi وآخرون (٢٠٠٠) ١٢ سلالة بروكولى محولة وراثيًّا وتحتوى على جين الطماطم antisense ACC oxidase، وذلك من ثلاثة أصناف، هى: Shogun، و Green Beauty، و Dominator. ومن بين هذه السلالات كانت ثلاث منها (هى: Gy/7، و D/1، و D/2) ذات صفات جودة مناسبة. وقد كان إنتاج الإثيلين من سيقان (حوامل النورات) ٤ سلالات محولة وراثيًّا من الصنف Green Beauty أقل جوهريًّا من الصنف الأصلى بعد ٤٨ ساعة من الحصاد. كذلك أظهرت سلالتا الصنف Dominator (D/1، و D/2) تحسنًا جوهريًّا فى لون الرأس مقارنة بالصنف الأصلى بعد ٤٨ ساعة من الحصاد. ويستفاد من هذه الدراسة أن شيخوخة البروكولى ترتبط بنظامين إنزيميين؛ يعطى كل منهما زيادة كبيرة فى إنتاج الإثيلين، وأن جين الـ antisense ACC oxidase المستعمل ثبط الزيادة الكبيرة الثانية.

● وقد أدت معاملة البروكولى – المخزن على ٢٥°م – بالإثيلين إلى إسراع فقده

للكلوروفيل، وازداد التأثير بزيادة تركيز الإثيلين حتى ١٠٠ جزء فى المليون من هواء المخزن، ولكن تأثير الإثيلين انخفض بشدة عندما كان التخزين فى ١°م. كذلك أسرعت معاملة الإثيلين من الوصول إلى الكلايمكترك التنفسى (Makhlouf وآخرون ١٩٩١).

● كذلك أحدثت معاملة البراعم الزهرية بالمثيل جاسمونيت methyl jasmonate بتركيز ١ ملل مولار زيادة جوهرية فى إنتاج الإثيلين ونشاط إنزيم الـ ACC oxidase، وتدهور الكلوروفيل خلال مرحلة الشيخوخة (Watanabe وآخرون ٢٠٠٠).

تطور تكوين النكهة والطعم الكريهين أثناء التخزين

● يؤدى تجريح أو تقطيع البروكولى إلى تكوين الميثان ثيول methanethiol، وهو مركب يكسب البروكولى رائحة غير مرغوب فيها. ويستدل من دراسات Dan وآخرين (١٩٩٧) أن مركب ميثان ثيول سلفينيت methanethiolsulfinate يتكون أولاً – إنزيميًا – فى أنسجة البروكولى المتهتكة، ثم يتفاعل – لاإنزيميًا – مع الحمض الأمينى L-cysteine أو مع الجلوتاثيون المختزل لتكوين الميثان ثيول.

● كذلك يؤدى تخزين البروكولى فى مستويات منخفضة من الأكسجين (أقل من ٠,٢٥٪) أو فى مستويات مرتفعة من ثانى أكسيد الكربون (أعلى من ١٥٪) إلى تكوين نكهة ومذاق غير مقبولين. ويوصى عند تخزين البروكولى فى تركيزات عالية من ثانى أكسيد الكربون بألاّ يقل تركيز الأكسجين عن ١٪، علمًا بأن تركيز المركبات التى تؤدى إلى رداءة الطعم يزداد بزيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون، وبنقص تركيز الأكسجين، وأن المركبات التى تتكون بفعل التركيز المرتفع من ثانى أكسيد الكربون تختفى سريعًا بعد إخراج المحصول من الجو المعدل، بينما تبقى تلك التى تتكون بفعل التركيز المنخفض للأكسجين لفترة أطول (عن Lougheed ١٩٨٧).

● ويعتبر المركبان methanthiol، و dimethyl trisulfide هما المسئولان عن الرائحة الكريهة التى تظهر بالبروكولى فى الظروف اللاهوائية أو تلك التى ينخفض فيها كثيرًا تركيز الأكسجين ويزيد فيها كثيرًا تركيز ثانى أكسيد الكربون. يحدث ذلك عندما

ينخفض تركيز الأكسجين فى هواء المخزن إلى ١٪ أو أقل، وعندما يرتفع تركيز ثانى أكسيد الكربون إلى ١٦٪ أو أعلى، وتظهر الرائحة المنفرة فى غضون ثلاثة أيام على ٢٠°م، وفى نحو أسبوع على ٢,٥°م (Hansen وآخرون ١٩٩٣).

● وقد أدت تعبئة البروكولى فى أغشية من البوليثيلين بسمك ١٠٠ ميكرون وحفظه على ٢٠°م إلى نقص تركيز الأكسجين فى داخل العبوات إلى أقل من ٠,٥٪، وزيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون إلى أكثر من ٢٠٪ فى خلال ٨ ساعات من التخزين، وظهرت الروائح الكريهة سريعًا تحت هذه الظروف. ومن بين المركبات المتطايرة التى أُنتجت: الإيثانول، والأسيتالدهيد، والميثان ثيول، والدى ميثيل داى سلفيد، ولكن كانت أكثر تلك الغازات إسهامًا فى النكهة الكريهة: الميثان ثيول، والدى ميثيل سلفيد. وقد ازداد التسرب الأيونى فى البروكولى المعبأ فى أغشية البوليثيلين عما فى البروكولى غير المعبأ. وقد استدل من هذه الدراسة على أن المركبات الكبريتية القابلة للتطاير التى تظهر فى الظروف اللاهوائية تتكون نتيجة لتدهور الدهون بالأغشية الخلوية وفقد الخلايا لقدرتها على فصل مكوناتها عن بعضها البعض (intracellular compartmentation)؛ مما يسمح بحدوث تفاعلات إنزيمية لا تحدث — عادة — فى الظروف الطبيعية (Dan وآخرون ١٩٩٧أ، ١٩٩٧ ب).

● كما أدى خفض تركيز الأكسجين فى الهواء المحيط بالبروكولى — بإمرار غاز النيتروجين بصورة دائمة عليه — إلى إنتاج المنتج للميثان ثيول فى خلال ساعة واحدة من وصول تركيز الأكسجين إلى ٠,٥٪، وأعقب ذلك زيادة مستمرة فى إنتاج الغاز خلال الساعات العشر التالية التى استمر فيها متابعة إنتاجه. وبالمقارنة .. أدى إمرار الأكسجين فى المنتج المخزن الذى كان قد بدأ فى إنتاج الميثان ثيول إلى انخفاض إنتاج هذا الغاز بنسبة ٧٩٪ فى خلال ١٥ دقيقة، وإلى توقف إنتاجه تمامًا فى خلال ١٥ دقيقة أخرى. وعندما أعيد تمرير غاز النيتروجين بدأ البروكولى فى إنتاج الميثان ثيول مرة أخرى خلال أقل من ساعة. هذا وقد أدت زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون حتى ٢٦,٥٪ إلى وقف إنتاج الميثان ثيول (Obenland وآخرون ١٩٩٤).

● وأدى حفظ براعم البروكولى فى جو خال من الأكسجين (يحتوى على نيتروجين بنسبة ١٠٠٪) إلى إنتاجها للميثان ثيول والدى ميثيل داى سلفيد، وازداد معدل إنتاج الغازين بارتفاع درجة الحرارة من ١٠ إلى ٣٠°م. وعندما حفظت البراعم على ١°م لمدة ثلاثة أسابيع، ثم وضعت فى ١٠٠٪ نيتروجين على ٢٠°م لمدة ٤٨ ساعة انخفض إنتاج الغازين. ولقد كان معدل إنتاج الميثان ثيول والدى ميثيل داى سلفيد أعلى فى البراعم الزهرية عما فى السيقان (الحوامل) النورية، كذلك كان إنتاج المادة البادئة لكلا الغازين، وهى: S-methyl-L-cysteine sulfoxide أعلى فى البراعم الزهرية بمقدار أربعة أضعاف إنتاجها من السيقان، كما كان نشاط الإنزيم C-S lyase الذى يحلل المادة البادئة إلى الغازين أعلى جوهريًا فى البراعم الزهرية عمّا فى السيقان (Dan وآخرون ١٩٩٨).

● ولدرجة حرارة التخزين أثناء فترة انخفاض تركيز الأكسجين إلى المستوى المنخفض الذى يحدث معه التنفس اللاهوائى تأثير كبير على إنتاج الميثان ثيول، حيث يزداد إنتاجه فى درجة الصفر المئوى، وفى ٧,٥°م مقارنة بـ ٢,٥ أو ٥°م، كما يزيد إنتاجه فى حرارة ٥٥°م، وينخفض فى حرارة ٤٠، و ٤٥°م، وينعدم فى ٦٠°م (Obenland وآخرون ١٩٩٥).

● وجدير بالذكر أن عديدًا من الكائنات الدقيقة اللاهوائية التنفس يمكنها إنتاج الميثان ثيول إلى درجة أن ذلك حدا بالبعض إلى الاعتقاد بأن هذا المركب ينتج فى البروكولى – المخزن فى الجو المعدل – بواسطة الكائنات الدقيقة التى تلوثه سطحيًا، إلا أنه ثبتت قدرة بادرات البروكولى المعقمة على إنتاج المركب (Forney وآخرون ١٩٩٣).

● كذلك أوضحت دراسات Derbali وآخرون (١٩٩٨) أن بادرات البروكولى المعقمة تنتج – فى الظروف اللاهوائية – الغازات: ميثان ثيول، وداى مثيل سلفيد، وداى مثيل داى سلفيد، وهيدروجين سلفيد؛ مما يثبت أن تلك الغازات ذات الرائحة المنفرة ذات أصل نباتى.

● ولا يقتصر إنتاج الميثان ثيول methanethiole – وهو المركب الرئيسى المسئول عن

الرائحة الكريهة التى تتكون فى البروكولى المخزن فى ظروف يقل فيها تركيز الأكسجين عن ٠,٥٪ – لا يقتصر إنتاجه على البروكولى، فقد أنتجته عديد من الخضر الصليبية الأخرى، ولكن تدرج تركيزه فى الانخفاض حسب الترتيب التالى للخضر: براعم البروكولى، ثم أنصال أوراق الكرنب الصينى (pak choi)، ثم الكرنب ذات الأوراق المجعدة، ثم الـ broccoflower، ثم الكرنب الأخضر والأحمر. أما سيقان (حوامل نورات) البروكولى، والكيل، وكرنب بروكسل، وأعناق أوراق الكرنب الصينى (pak choi)، وجذور الروتاباجا، وأقراص القنبيط، والكرنب الصينى (Chinese cabbage)، والسيقان المتدرنة للكرنب أبو ركبة فقد كان إنتاجها من الميثان ثيول أقل من ٣٪ من إنتاج البراعم الزهرية للبروكولى. كذلك كانت الأنسجة الخضراء أكثر إنتاجًا للميثان ثيول عن الأنسجة غير الخضراء. ولم يرتبط إنتاج الخضر اللاهوائى للإيثانول مع إنتاجها من الميثان ثيول. كذلك استحثت الظروف الهوائية إنتاج الداى مثيل داى سلفيد، والداى مثيل تراى سلفيد. وكان الكرنب الأخضر أكثر الصليبيات إنتاجًا للداى مثيل داى سلفيد، وتلاه الكرنب الأحمر وبراعم البروكولى الزهرية. هذا بينما كان الارتباط قويًا بين إنتاج الداى مثيل تراى سلفيد والميثان ثيول (Forney & Jordan ١٩٩٩).

الشحن

يتعين تبريد الحاويات التى تستخدم فى شحن البروكولى إلى الصفر المئوى، على ألا تزيد حرارتها عن ١°م، مع ٩٥٪–١٠٠٪ رطوبة نسبية، ومع التهوية بمعدل ٦٠م³/ساعة (٣٥ قدم³/دقيقة) للحاويات الـ ٢٠ قدمًا، وبمعدل ١٢٠م³/ساعة (٧٠ قدم³/دقيقة) للحاويات الـ ٤٠ قدمًا. يحتفظ البروكولى بجودته فى هذه الظروف لمدة ٣٥–٥٠ يومًا. هذا .. مع العلم بأن البروكولى يتجمد على حرارة –٠,٦°م (Optimal Fresh ٢٠٠١ – الإنترنت).

البروكولى المجهز للمستهلك

يجهز البروكولى الطازج للمستهلك fresh-cut على صورة زهيرات florets (وهى مجموعة صغيرة من البراعم الزهرية تمثل أحد الفروع الصغيرة للنورة).

يجب أن تكون الزهيرات المجهزة مندمجة وممتلئة turgid غير ذابلة، وخضراء قاتمة اللون، ولا يظهر بها أى براعم متفتحة، كما يجب ألا يظهر بها أى رائحة كبريتية أو أى تلون غير طبيعى بامتداد ساق الزهيرة ونهايته المقطوعة.

ويجب أن تكون حرارة مركز ساق الزهيرة فى البروكولى الخام أقل من ١,٥°م، أما بعد تجهيزه للاستعمال الطازج فإنه يخزن على ١–٣°م لحفظ الجودة ولتقليل أى احتمال لتجمده أثناء التداول، والتوزيع، والتخزين.

يعد الاصفرار أحد المشاكل الشائعة، وهى التى تنتج من فقد الكلوروفيل، أو تفتح البراعم. كذلك فإن الأسطح المقطوعة والسيقان المضارة قد تكتسب لونًا أسودًا أثناء التخزين. كما أن تكون روائح منفرة قد يصبح مشكلة رئيسية إذا ما استعملت عبوات الجو المعدل MAP. هذا مع العلم بأن ارتفاع درجة الحرارة عن المدى الموصى به أو تقلبها نحو الارتفاع يحفز الإصابة بالعفن الطرى البكتيرى ونمو الأعفان الفطرية.

وعند تجهيز رؤوس البروكولى فإنها تقطع إلى زهيرات يتراوح طولها بين ٢,٥ إلى ٥سم. تغسل تلك الزهيرات فى ماء يحتوى على كلورين كلى بتركيز ٢٠٠ جزء فى المليون لغسيل المواد المتبقية من الزهيرات ذاتها وكذلك لخفض العد الميكروبى (Barth وآخرون ٢٠٠٤).

إن مزايا تخزين البروكولى المجهز للمستهلك فى الجو المتحكم فيه (٥٪ أكسجين + ٤٪ ثانى أكسيد الكربون) قد تكون هامشية عندما يكون التخزين لمدة ١٤ يومًا على صفر–٥°م مقارنة بالهواء العادى. ويؤدى خفض الأكسجين إلى٠,٢٥٪ أو زيادة ثانى أكسيد الكربون إلى ١٠٪ على صفر–٥°م إلى خفض معدل التنفس بمقدار النصف تقريبًا. وقد أدى استعمال غشاء بوليميرى polymeric film مناسب لعبوات الجو المعدل MAP إلى المحافظة على اللون الأخضر للزهيرات على صفر–٥°م لأكثر من ٢١ يومًا. هذا مع العلم أنه قد تتكون رائحة منفرة قوية وتتلون الأطراف المقطوعة بشدة أثناء التخزين فى الـ MAP على ١٠٪ ثانى أكسيد كربون + ٢,٥٪ – أو أقل – أكسجين. ويفيد استخدام الأغشية المثقبة – ولو

بثقوب دقيقة جدًّا micro perforation — فى الحد من تكون الرائحة المنفرة. ويساعد إبقاء تركيز الإثيلين أقل من ١-١٠ أجزاء فى المليون فى تقليل فقد اللون جوهريًّا على حرارة ١ °م، ولكن ذلك لم يكن مؤثرًا فى الحرارة الأعلى من ذلك.

وعلى الرغم من ارتفاع العد الميكروبى للبروكولى المجهز للاستعمال — حيث يزيد — عادة — عن ١٠٠ ألف cfu (وحدة تكوين مستعمرة نمو على البيئات الصناعية) لكل جرام واحد من المنتج الطازج — فإنه لم تظهر أى مشاكل صحية لاستعمال البروكولى المجهز.

ويختلف معدل تنفس البروكولى المجهز للمستهلك حسب حرارة التخزين، كما يلى:

الحرارة (°م)	معدل التنفس (مجم ثانى أكسيد كربون/كجم من المنتج فى الساعة)
صفر	٢٦
٥	٤٤
١٠	٧٨

كما أظهرت دراسات Bastrash وآخرون (١٩٩٣) أن تجزئة رؤوس البروكولى إلى أجزاء نورية صغيرة florets — كنوع من التصنيع الجزئى minimal processing أحدث زيادة فى معدل التنفس خلال كل فترة التخزين فى الهواء على ٤ °م، بسبب التجريح الذى حدث بها. وقد أدى تخزين تلك الأجزاء النورية فى هواء يحتوى على ٦٪ أكسجين + ٢٪ ثانى أكسيد كربون إلى زيادة فترة احتفاظها بجودتها أثناء التخزين إلى ٧ أسابيع مقارنة بخمسة أسابيع فقط فى الهواء. كذلك أظهرت الدراسة أن التصنيع الجزئى لم يغير من الظروف المثلى للتخزين؛ بما يعنى أن توصيات تخزين رؤوس البروكولى الكاملة تصلح أيضًا لتخزين الرؤوس المصنعة جزئيًّا.

الكرنب الصينى

اكتمال التكوين للحصاد، والحصاد

تكمل نباتات الكرنب الصينى نموها وتكون جاهزة للحصاد بعد نحو ٤٥ يومًا من