

أغذية الفواكه الصالحة للأكل

Edible Coatings for Fruits

هايون جن بارك، جامعة كوريا/ جامعة كليمسون

Hyun Jin Park, Korea University/ Clemson University

(١٦، ١) مقدمة: تطور الأغذية الصالحة للأكل

Introduction: The Level up Ment of Edible Coatings

تحدث فواقد كبيرة في جودة وكمية الفواكه الطازجة ما بين الحصاد والاستهلاك (Sparks, 1976). وتعتبر المحافظة على الفواكه من الأضرار من خلال تقليل فواقد ما بعد الحصاد "كحصاد خفي (hidden harvest)" (Spurgeon, 1976). وقد تم تطوير العديد من التقنيات والتي نجحت في إطالة فترة الصلاحية، من خلال فهم أفضل لعملية التنفس في الفواكه الطازجة. تم استخدام التخزين في جو متحكم فيه (CAS) والتخزين في جو معدل (MAS) للمحافظة على تغيرات الجودة والفواقد الكمية أثناء التخزين. وقد توفر الأغذية الصالحة للأكل على الفواكه الطازجة بديلاً للتخزين في جو معدل بتقليل تغيرات الجودة والفواقد الكمية من خلال تعديل وضبط الجو الداخلي للفواكه الفردية.

(١، ١، ١٦) نظرة تاريخية للأغطية الصالحة للأكل

A historical View of Edible Coatings

الشمع هو الغطاء الصالح للأكل الأول الذي استخدم على الفواكه والخضراوات. استخدم الصينيون أغطية الشمع (wax coating) على البرتقال والليمون في القرنين الثاني عشر والثالث عشر (Hardenburg, (twelfth and thirteenth centuries) (1967). وبالرغم من أن الصينيين لم يدركوا/ يعرفوا أن الوظيفة الكاملة للأغطية الصالحة للأكل هي إبطاء تبادل الغاز التنفسي (respiratory gas exchange)، فقد وجدوا أن البطاطس المغطاة بالشمع يمكن أن تخزن لوقت أطول من التي تخزن فيه غير المغطاة. في الثلاثينيات (1930s)، وتجارياً، توافر شمع البارفين المذاب بالحرارة (hot melt paraffin waxes)، كغطاء صالح للاستهلاك، على الفواكه الطازجة مثل التفاح والكمثرى. أفاد/ نشر إربيل وموفتوجيل ٩٨٦ (Erbil & Muftugil, 1986) أن تغطية سطوح الخوخ بمستحلبات الشمع (wax emulsions) قلل توصيل بخار الماء (water vapor) والأكسجين، وبذلك، قلل معدل التنفس ومدد فترة صلاحية الفاكهة. لاحظ نيسبيروس-كاريدو وآخرون ١٩٩٠ (Nisperos- Carriedo et al., 1990) أن للزيوت أو الشموع والسيليلوز (cellulose) تأثيرات متشابهة فيما يتعلق بمنع الفساد والحفاظ على جودة الفواكه الاستوائية التي تجنى طازجة (fresh-picked quality for tropical fruits).

جرت عدة محاولات لتطوير مواد أخرى يمكن استخدامها لتغطية المحاصيل وتعديل محتوى الغاز الداخلي لأغراض التخزين لوقت قصير (short-term storage). اقترح زهانج وكوانتيك ١٩٩٧ (Zhang and Quantick, 1997) أن الشايتين (chitin) والشايتوسان (chitosan) (الشايتين مزال الأسيتايك (deacetylated chitin) من الحيوانات البحرية اللافقارية (marine invertebrates) قد يستخدمان لتكوين غطاء شفاف (transparent film) يستخدم كغطاء على الفواكه والخضراوات، صالح للأكل في عام

١٩٨٢ ذكر لوينجس وكوتس (Lowings & cutts 1982) مادة غطاء صالح للأكل غير سامة نباتياً (non-phytotoxic) ولا طعم لها (tasteless) ولا رائحة لها (odorless) وفعالة في حفظها للفواكه. وهذه المادة الغطاء، هي خليط من استرات السكر مع الأحماض الدهنية ((sucrose fatty acid esters (SFAE) وسيليلوز كاربوكسيميثايل الصوديوم (sodium carboxymethyl cellulose) ومونو ودايجليسرايد (mono- and diglycerides). طورت مادة ال SFAE أولاً كمستحلب. وعلى أي حال، لقد أثبت أن نضج الفواكه قد يتم تأخيرها بغطاء ال SFAE. وتتوافر مخاليط ال SFAE تجارياً لتغطية الفواكه والخضراوات منذ الثمانينيات (1980s)، وتحت الاسم التجاري "TAL pro-long" و'Semperfresh' (Bank, 1984; Chu, 1986; Sauterre et al., 1989) استخدم بارك وآخرون (١٩٩٤ بي، سي) (Park et al., 1994 b, c) غطاء الزئب (zein coating) على سطح الطماطم وأفادوا بأن هذا الغطاء أخر تغيرات اللون وفواقد الوزن وحافظ على الصلابة أثناء التخزين.

(٢، ١، ١٦) المشاكل المرتبطة بالأغطية الصالحة للأكل

Problems Associated with Edible Coatings

بالرغم من أن بعض الأغطية الصالحة للأكل قد استخدمت بنجاح على المحاصيل الطازجة، إلا أن لها آثاراً أخرى قد تؤثر تأثيراً سيئاً على الجودة. قد يؤدي تعديل المناخ الداخلي باستخدام الأغطية الصالحة للأكل، إلى كثرة الاعتلالات المرتبطة بارتفاع ثاني أكسيد الكربون أو انخفاض تركيزات الأوكسجين (Ben-Yehoshua, 1969). أشار سموك (Smock, 1940) ١٩٤٠ بأن تشميع التفاح والكمثرى ثبت معدل النضج الطبيعي وعند استخدام شمع كاف، تم تثبيط التنفس بدرجة كبيرة وتنتج نكهات كحولية (alcoholic flavours) بسبب التخمرات اللاهوائية. ذكر اسميث واستوو (Smith and Stow) (١٩٨٤) أن التفاح (صنف Cox's Orange Pippin) المغطى بأستر سكروز الأحماض الدهنية (sucrose fatty acid ester (SFAE))، شهد قليلاً من التغيرات

التدهورية في صلابة الثمار والاصفرار (yellowing) وفقد الوزن، ولكن كثر حدوث التسطح المحوري (core flush) على هذا التفاح. ذكر بارك وآخرون، (Park *et al.*, 1994c) أن الطماطم المغطاة بغطاء زئني (الزئني هو بروتين الذرة وهو فقير في الإلاستين والتريبتوفان) سمك ٠,٦ ميكروميتر، أنتجت كحولاً وروائح غير مرغوبة داخلها وقد أرجعت هذه الآثار إلى المحتوى الداخلي للغاز (Internal gas composition) وهو منخفض الأكسجين بدرجة كبيرة وعالي ثاني أكسيد الكربون. لخص أسمىث وآخرون (١٩٨٧) (Smith *et al.*, 1987) الآثار المرتبطة بالاعتلالات الفسيولوجية المرتبطة بتعديل الجو الداخلي باستخدام الأغذية، في التسطح المحوري وتحلل اللب (flesh breakdown) وتجمع الإثانول والروائح الكحولية غير المرغوبة (alcoholic off-flavours).

الشمع ومخاليط استر سكروروز الأحماض الدهنية هي الأكثر استخداماً وشيوعاً كأغذية صالحة للأكل على/ للفواكه والخضراوات. ولكنها، لا تتساوى في فعاليتها في كل المنتجات. مشكلة أخرى (تتعلق باستخدامها) هي أن المستهلك يميل لأن يكون منزعجاً (شاكاً) في الأغذية الشمعية. عليه، فإن تطوير أغذية صالحة للأكل بديلة، والتي لا تترك مذاقاً شمعيّاً (waxy taste) من الأمور المرغوبة والمطلوبة. ويجب تحديد تأثيرات الأغذية الصالحة للأكل على المحتوى الداخلي للغاز، وتفاعلاتها مع مقاييس الجودة، وذلك عندما تستخدم لتغطية المنتجات الطازجة. على سبيل المثال، تغيرات اللون والصلابة مقاييس جودة في الفواكه، مهمة جداً. أفاد شهيوفلت وآخرون ١٩٨٧ (Shewfelt *et al.*, 1987)، بأن تغيرات اللون وفقدان الصلابة والتخمير الإثانولي ونسبة التعفن وفقد (نقص) الوزن للفواكه المغطاة بالأغذية الصالحة للأكل (edible-film coated fruits)، كل هذه خواص جودة مهمة جداً لمختلف المنتجات.

(١٦، ٢) كيف تعمل الأغذية الصالحة للأكل: ضبط المحتوى الداخلي للغاز

How Edible Coatings work: Controlling Internal Gas Composition

يمكن أن توفر الأغذية الصالحة للأكل وقاية للمنتجات الطازجة كما يمكنها أن توفر نفس الأثر الذي يوفره التخزين في جو معدل فيما يتعلق بتعديل المحتوى الداخلي للغاز. يعتمد نجاح الأغذية الصالحة للأكل على الفواكه وبصفة أساسية، على اختيار/انتقاء الأغذية التي يمكن أن توفر محتوى داخلياً للغاز مرغوباً يتناسب مع منتج معين.

(١٦، ٣) اختيار/ انتقاء الأغذية الصالحة للأكل

Selecting Edible Coatings

إذا كان الغطاء غليظاً بدرجة كبيرة، قد تنتج آثار ضارة لأن التركيز الداخلي للأكسجين يكون بمستويات أقل مما هو مرغوب ومفيد وتكون هناك زيادة مرافقة في تركيزات ثاني أكسيد الكربون بمستوى أعلى من الحد الحرج القابل للتحمل (critical tolerable level). تقود هذه الحالات إلى التخمر اللاهوائي. ويمكن معالجة هذه الأوضاع بـ:

- ١ - تطوير عدة أغذية صالحة للأكل. ٢- السيطرة على قابلية الأغذية للبلل (wettability). ٣- قياس خصائص نفاذية الغازات (gas permeation properties) لأغذية مختارة. ٤- قياس خواص الانتشار (diffusion properties) للجلد (القشرة) واللحم (اللب) لفواكه مختارة. ٥- التنبؤ بالمحتوى الداخلي للفواكه المغطاة بالأغذية الصالحة للأكل، و ٦- مراقبة تأثيرات الأغذية على تغيرات جودة الفواكه.

(١٦، ٤) خواص نفاذية الغازات للأغذية الصالحة للأكل

Gas Permeation Properties of Edible Coatings

هناك عدة أغذية صالحة للأكل محتملة/ ممكنة، للفواكه، مثل السليلوز والكازين (casein) والزيثين (zein) وبروتين الصويا والشايتوسان (chitosan). وقد تم اختيار

هذه لخصائصها المرغوبة إذ إنها بصفة عامة ، لا رائحة لها (odorless) ، ولا طعم لها (tasteless) وإنها شفافة (transparent). وليس من السهولة قياس خواص نفاذية الغاز للأغطية بعد استخدامها على الفواكه. عليه ، يتم إعداد أغطية منفصلة مسطحة (separate flat films) واختبارها. وقد وصف كامبر وفيننما (Kamper and Fennema, 1984) وآيات وأخرون ١٩٩١ (Ayd et al., 1991) طريقتين أوليتين معروفين لإعداد الأغطية المسطحة. وقد استخدمت طريقة الـ OX-TRAN 1000TM (Mocon Modern Control, Minneapolis, MN) لقياس نفاذية الأكسجين (oxygen permeability (OP) وقيست نفاذية بخار الماء (WPP) باستخدام تعديل لطريقة الأستم القياسية إي ٩٦ (ASTM Standard Method E96) (ASTM, 1987). والمعروفة بطريقة الكوب (cup method). قيست نفاذية ثاني أكسيد الكربون باستخدام خلية نفاذية معدلة (modified permeability cell) صممها جلبرت وبيجاز (١٩٦٩) (Gilbert and Pegaz, 1969). يمكن حساب نفاذية بخار الماء ونفاذية الغاز للأغطية كما هو موضح في الصندوق رقم (١).

ويوضح الجدول رقم (١٦,١) نفاذية للأكسجين وبخار الماء وثاني أكسيد الكربون للأغطية الصالحة للأكل والتي ذكرت في الاستعراضات الأدبية ، كما تم مقارنتها بأغطية بلاستيكية تقليدية أخرى. تقل نفاذية معظم الأغطية الصالحة للأكل للأكسجين عن نفاذية الأفلام البلاستيكية التقليدية له. ونفاذية غطاء الاستر العديد للسكروز (sucrose poly ester SPE) للأكسجين أعلى من نفاذية غطاء أو مادة البولي إيثايلين (polyethylene film) له بمقدار ١-٣ أضعاف كما أنها أعلى بـ ٤-١٠ أضعاف من نفاذية أغطية البولي بروبيلين (polypropylene film).

الجدول رقم (١٦, ١). نفاذيات الأغذية الصالحة للأكل للأوكسجين وثنائي أكسيد الكربون وبخار الماء.

النفاذية			
الفيلم	أوكسجين ^b	ثنائي أكسيد الكربون ^b	بخار الماء ^c
SPE	٠,٠٠٠١ ± ٢,١	-	٠,٠٤ ± ٠,٠٠٠٤٢
Chitosan (15 cp)	٠,٠٠١٤	-	٠,٤٩٠
Zein	٠,١٦ ± ٠,٣٦	١,٠٩ ± ٢,٦٧	٠,٠١٩ ± ٠,١١٦
جلوتين القمح			
Wheat gluten	٠,٠٩ ± ٠,٢٠	١,٤٣ ± ٢,١٣	٠,٠١٣ ± ٠,٦١٦
MC (L)	٠,٤٥ ± ٢,١٧	١٩,٣٣ ± ٦٩,٠	٠,٠٠٣ ± ٠,٠٩٢
HPC(L)	٠,٠٣ ± ٣,٥٧	٣,٧٦ ± ١٤٣,٩	٠,٠٠٤ ± ٠,١١٠
HPC/ lipid	٠,٠٦ ± ٣,٤٤	٤,٥٨ ± ٨١,٧	٠,٠٠٣ ± ٠,٠٨٢
Cozeen	٠,٨٩	٢٦,١٠ ± ٥,٢٥	٠,٤٠٧
PE	٨,٣	٢٦,١٠	-
PP	٠,٠٠٥ ± ٠,٥٥	-	٠,٠٦ ± ٠,٠٠٠٦٥
PVC	١٧,٩٩ - ٠,٠٩	٢٦,٩٨ - ١,٣٥	٠,٠٠٠٧١
PET	٠,٣٠ - ٠,١٣٠	١,١٢ - ٠,٦٧	-

• ال PE بولي إيثيلين، و PP هو البولي بروبيلين، و PVC كلوريد البولي فينيل، و PET هي البولي إستر، (Ayd et al, 1991; Kamper and Fennema, 1984; Park, 1999; Park and Chinnan, 1995a, 1995b; Park *et al.*, 1993, 1994 a,d 1998)

• وحدة النفاذية ^b= unit of permeability
is in (fl m m⁻² s⁻¹ Pa⁻¹); f is an abbreviation for femto (10⁻¹⁵)
ويعبر عنها بال(فيمتو) وال f اختصار للفيمتو (١٠^{-١٥}).

• وحدة النفاذية ^c= unit of permeability is in ng m m⁻² s⁻¹ Pa⁻¹;
n is an abbreviation for nano (10⁻⁹)
ويعبر عنها بال(النانو) وال n اختصار للنانو (١٠^{-٩}).

قيم نفاذية الأوكسجين لأغطية الـ SPE مشابهة لقيم نفاذية أغطية السيليلوز، ولكنها أعلى مما لأغطية البروتين الصالحة للأكل مثل أغطية الزئين. نفاذية أغطية البروتين للأوكسجين أقل من نفاذية أغطية البولي إيثيلين (كثافة منخفضة) وأفلام البولي إيثيلين وكلوريد البولي فينيل (polyvinyl chloride) له، كما أنها قريبة من نفاذية

أغذية البولي إستر (polyester film). نفاذية أغذية البروتين وأفلام الذرة - الزئير (corn-zein) وأفلام القمح للأوكسجين أقل من نفاذية أغذية السيليلوز وأفلام الميثايل سيليلوز (methyl cellulose (MCLL)) والهيدروكسي بروبيل سيليلوز (hydroxypropyl cellulose HPC(L)) وكلاهما بمستويات منخفضة (L) للبلاستيسايزر (الملدن (plasticizer) مادة تضاف لزيادة اللدانة). تقلل إضافة الدهون (Myvacet 7-00TM) في أغذية الـ (HPC) من نفاذية الأوكسجين، فقط بدرجة بسيطة.

نفاذية أغذية البروتين والذرة - والزئير والقمح لثاني أكسيد الكربون أقل من نفاذية أغذية البلاستيك وأفلام البولي إيثيلين (كثافة منخفضة) والبولي إيثيلين وكلوريد البولي فينايل له، مع استثناء أغذية البولي إستر التي تبدي حاجزاً لنفاذ ثاني أكسيد الكربون (الجدول رقم ١-١٦). نفاذية أغذية السيليلوز، الـ (MC(L) و الـ (HPC(L) لثاني أكسيد الكربون أعلى من نفاذية أغذية البلاستيك له. خفضت إضافة الدهون الـ (Myvacet 7-00TM) لأفلام الـ HPC نفاذية ثاني أكسيد الكربون بنسبة ٤٣٪. ونسبة نفاذية ثاني أكسيد الكربون لنفاذية الأوكسجين (CO_2/O_2 permeability ratios) للأفلام الصالحة للأكل أعلى من تلك التي للأفلام البلاستيكية (Kader et al., 1989).

توفر أغذية الاسترات العديدة للسكروروز (SPE) حواجز كبيرة/ عالية لبخار الماء مقارنة بالأغذية الصالحة للأكل الأخرى، وكما هو موضح في الجدول رقم (١٦،١). نفاذية الـ SPE لبخار الماء أقل من نفاذية أغذية البولي إيثيلين له وأقل بمقدار أكثر من ١٠٠ ضعف، من قيم نفاذية أغذية السيليلوز والبروتين. وتجعل خواص حجز أغذية الـ SPE للأوكسجين وبخار الماء بدرجة عالية، من هذه الأغذية مرغوبة للاستخدام في المنتجات الطازجة كبديل للأغذية الشمعية (Risse et al., 1987; Segall et al., 1974). نفاذية الأغذية الصالحة للأكل الأخرى لبخار الماء أعلى بدرجة أكبر من نفاذية أغذية

البلاستيك. نفاذية غطاء بروتين القمح حوالي $0.603 - 0.630$ (ng ms Pa⁻¹) وهي الأعلى مقارنة بنفاذية كل الأغذية الصالحة للأكل الأخرى التي قيست أو اختبرت. تظهر أغطية بروتين القمح نفاذية عالية لبخار الماء ربما بسبب أن بروتين القمح يشتمل/ يفرق بإضافة هيدروكسيد الأمونيا (ammonium hydroxide(6N)) كجزء من التركيب، وأيضاً، يحتوي غطاء البروتين على تركيز عالٍ من الملدن، ٤٠٪ (وزن الملدن/وزن البروتين). إن إضافة الدهون (Myvacet 7-00™) إلى غطاء HPE قللت نفاذية بخار الماء بنسبة ٢٤٧٪. البلاستيك هو الأكثر استخداماً لتغليف الأغذية (food wrap)، ولكن عادة يتكثف بخار الماء في السطح الداخلي لمواد التغليف البلاستيكية وبذلك يخلق مصدراً محتملاً كامناً للتلوث الميكروبي للمنتجات الطازجة (Ben-Yehoshua, 1985). عليه، لا يفضل الغطاء ذو النفاذية العالية جداً لبخار الماء، إذ إنه سيؤدي إلى فقد كبير في الرطوبة من الفواكه أثناء التخزين.

الصندوق الأول: نفاذية الغاز Box 1 Gas Permeability

يمكن وصف عملية النفاذية رياضياً (mathematically) بقانون فيكس الأول (Fick's first law). ويمكن تحديد الدفع (جسي J flux) الذي يتناسب مع انحدار التركيز (concentration gradient) في اتجاه واحد كالتالي:

$$J = -D (\partial C / \partial X) \quad [16.1]$$

حيث أن جسي (J) هي الدفع، تكون الكمية الصرفة للمادة المذابة (solute) التي تنتشر خلال وحدة مساحة (unit area) / في وحدة وقت (unit time) (g m⁻² s⁻¹ or ml m⁻² s⁻¹) وهي ثابت الانتشارية [diffusivity constant (m² s⁻¹)، والسبي (C) هي انحدار تركيز المادة المنتشرة والإكس (X) هي سمك (thickness) الفيلم أو الغطاء (m) (Chang, 1981; Crank, 1975; Jost, 1960; Landrock and Proctor, 1952)

مع افتراضين ، (١) أن الانتشار يكون في حالة ثابتة و(٢) أنه يوجد انحدار خطي (linear gradient) من خلال الفيلم ، فإن الدفع (J) يعطى بالمعادلة :

$$J = D (C_2 - C_1) / X = Q / (At) \quad [16.2]$$

حيث إن Q هي كمية الغاز المنتشر من خلال الفيلم (g or ml) ، والـ (A) هي مساحة الفيلم (m^2) والـ (t) هي الوقت بالثواني (s). بعد تطبيق /استخدام قانون هنري (Henry's low) ، فإن قوة الدفع (driving force) يعبر عنها في فرق الضغط الجزئي (partial pressure differential) للغاز وفي إعادة تنظيم للتعبير تنتج المعادلة التالية معبرة في النفاذية :

$$Q / (At) = DS (p_2 - p_1) / X = P \Delta p / X \quad [16.3]$$

حيث إن إس (S) هي معامل ذوبانية قانون هنري (mol (solubility coefficient) atm^{-1} ، و Δp فرق الضغط الجزئي للغاز عبر الفيلم (Pa) والـ (P) هي النفاذية ((ml or g) $m^{-2} s^{-1} Pa^{-1}$).

من ثم ، يمكن حساب نفاذية الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون وبحار الماء من المعادلة [١٦ - ٤] :

$$P = QX / (At\Delta p) \quad [16.4]$$

(١٦,٥) القابلية للبلل وفعالية الأغذية/ التغطية

Wettability and Coating Effectiveness

تعتمد فعالية الأغذية الصالحة للأكل على الفواكه والخضراوات بشكل أساسي ، على السيطرة على قابلية محاليل الأغذية (coating solution) لإحداث البلل والذي يؤثر على سماكة الغطاء (Park, 1999). ويجب أن تبلل تركيبات الأغذية الصالحة للأكل سطح الفاكهة وتنتشر عليه بشكل منتظم (uniformly) وعندما تجف يجب أن تكون غطاءً له خاصية التصاق كافية (adequate adhesion) ، وتماسك (cohesion)

وقوة تحمل (durability) لتعمل بشكل مضبوط (Krochta and Mulder- Johnston 1997). أشار هيرشاكو ونوسينوفيتش (1998) (Hershko and Nussinovitch, 1998) إلى الأغذية الغروية المائية المناسبة (suitable hydrocolloid coatings) للتحقق من تمام التغطية والتبلل. قد تسبب أغطية الفواكه والخضراوات التي يتعدى سمكها حدا حرجا (critical thickness) تأثيرات ضارة بسبب انخفاض تركيزات الأكسجين الداخلية وارتفاع ثاني أكسيد الكربون المرتبط بالتخمير اللاهوائي. تنتج الطماطم المغطاة بفيلم زئین سمكه ٦٦,٠٤ ميكرومتر، كحولا وروائح غير مرغوبة، داخليا (Park et al., 1994c).

ذكر كهاوي وآخرون (Choi et al., 2001) أن زاوية التلامس (contact angle) لمحلول الشهايتوسان الغطائي على قشر التفاح هي ٨٩°. ويمكن حساب قابلية البلل للأغذية الصالحة للأكل كما هو موضح في الصندوق رقم (٢).

ولأن زاوية التغطية قريبة من ٩٠°، فيدل هذا على أن محلول الشهايتوسان الغطائي لا يغطي قشر التفاح التي لها حاجز شمعي (wax barrier)، بسهولة. زوايا التلامس المقاسة على البطيخ والشمام والطماطم والماندرين (mandarin) كانت أيضاً، ٨٧,٥° إلى ٩٠° (الجدول رقم ٢-١٦). الجذب السطحي الحرج لجلد/ قشر التفاح (critical surface tension (Yc) ١٨,٧ داین / سم (18,7 dyne cm⁻¹) (R²= 0,99). لاحظ هيرشاكو ونوسينا (Hershko and Nussinovitch, 1998)، أن الجذب السطحي الحرج لقشر الثوم (garlic skin) بلغ ١٨,٣ داین / سم. وجد هياجينماير وباكر (Hiagenmaier & Baker (1993) بأن الجذب السطحي الحرج للجريب فروت يبلغ ٢٣ داین / سم (الجدول رقم ٢-١٦). تشير هذه النتائج إلى أن لقشر معظم الفواكه المغطاة بطبقة من الشمع، طاقة سطحية منخفضة (low surface energy). تتفاعل الطبقة ذات الطاقة السطحية المنخفضة مع السوائل بشكل أساسي، من خلال قوى (Rulon & Robert,

(1993) التشتت (dispersion) (van der Waals). زاوية التلامس لمحلول الشايتوسان الغطائي على قشر الكمثرى ٨,٥° (الجدول رقم ١٦,٢)، وهذه قيمة بشكل غير معتاد. وقد يكون ذلك بسبب الخواص السطحية للكمثرى التي لها سطح أخشن (coarser) من سطوح الفواكه الأخرى. ذكر بارك وغيره (1996) (Park & others, 1996)، بأن سطح الكمثرى يغطي بشكل متساوي (evenly) بزئین الذرة ومحاليل الـ Semperfresh™.

الجدول رقم (٦,٢). الجذب السطحي، زاوية التلامس والجذب السطحي الحرج للفواكه والخضراوات.

معدل الانتشارية (dyne G جي cm ⁻¹)	زاوية التلامس درجات	الجذب السطحي الحرج dyne cm ⁻¹	الفاكهة	الجذب السطحي dyne cm ⁻¹	مستحلب الغطاء coating emulsion
٦٦,٨-	٨٨,٩	١٨,٧	تفاح	٦١,٥	شايتوسان مستحلب شهايتوسان ^٥ بدون مستحلب
-	٩٠,٠	-	طماطم		
-	٨٨,٠	-	بطيخ		
-	٨٧,٥	-	تأنجرين		
-	٨,٥	-	كمثرى		
٤٣,٠-	٨١,٠	١٨,٣	ثوم	٥١,٥	أخرى مستحلبات الجينات Alginate ^b (%٢)

تابع الجدول رقم (٦, ٢).

معدل الانتشارية (dyne G جي cm ⁻¹)	زاوية التلامس درجات	الجذب السطحي الخرج dyne cm ⁻¹	الفاكهة	الجذب السطحي dyne cm ⁻¹	مستحلب الغطاء coating emulsion
١١,٢-	٥١,٠	١٨,٣	ثوم ^a	٣١,١	بدون مستحلب الجينات (٢٪) ^b
	٥٣,٠	٢٣,٠	جريب ^b فروت	٣٣,٤	Added β - sitosterol 2000p pm Shellac ^c Polyethyle
	٥٦,٠	٢٣,٠	جريب ^b	٣٣,٤	wax ^c
	٤٦,٠	٢٠,٠	برتقال ^b	٢٨,٨	Carnauba wax ^c
	٤٦,٠	٢٠,٠	برتقال ^b	٣٥,٦	Rasin ^c

^aChoi *et al.* (2001).^bHershko and Nussinovitch (1998).^cHagenmaier and Baker (1993).

الصندوق الثاني القابلية للبلل Wettability

تقدر قابلية مادة صلبة للبلل بمادة سائلة بالتوازن بين قوى الالتصاق (adhesive forces) (عمل الالتصاق W_a , work of adhesion) للسائل على الصلب وقوى التماسك، (عمل التماسك W_c , work of cohesion) للسائل.

تسبب قوى الالتصاق انتشار السائل فوق السطح الصلب بينما تسبب قوى التماسك انكماشه:

$$W_a = \gamma_{lv} + \gamma_{sv} - \gamma_{sl} \quad W_c = 2 \gamma_{lv}$$

16.5

تحدد زاوية تلامس سائل يتقطر على سطح صلب بالتوازن الميكانيكي (mechanical equilibrium) للقطرة (drop) تحت تأثير فعل ثلاث قوى شد بين سطحين (three interfacial tensions): صلب - بخار (γ_{sv})، صلب - سائل (γ_{sl}) وسائل - بخار (γ_{lv}). تعرف علاقة التوازن هذه بمعادلة يونج (Young's equation) (Rulon and Robert, 1993):

$$\text{Cos}\theta = (\gamma_{sv} - \gamma_{sl}) / \gamma_{lv} \quad [16. 6]$$

وعندما يلامس صلب سائل في وجود بخار، سيلتصق السائل جيداً على السطح الصلب إذا انخفضت الطاقة الحرة الكلية المطلوبة لخلق الشد الجديد، بين السطحين. إن الأهمية الفيزيائية لهذا التعبير في الطاقة هو العمل المطلوب لفصل الصلب والسائل من سطح تلامس الصلب / السائل (solid/ liquid interface).

ويحدد معامل انتشار التوازن [W_s] (equilibrium spreading coefficient) بالمعادلة [١٦ -٧] (Rulon and Robert, 1993) ويمكن أن تكون سالبة أو صفراً، فقط.

$$W_s = W_a - W_c = \gamma_{sv} - \gamma_{lv} - \gamma_{sl} \quad [16. 7]$$

(١٦، ٦) تقدير انتشارية الفواكه

Determining Diffusivities of Fruit

معرفة انتشارية الغازات في أعضاء النبات الكبيرة الحجم (الحجمية) (bulky plant organs) من الأمور الضرورية في فهم التغيرات الفسيولوجية وتبادلات الغازات والمحتوى الداخلي للغازات. يقدر المحتوى الداخلي لغازات الفواكه بانتشارية القشر (diffusivities of skin) واللحم (اللب) والجذع (stem) (Burg and Burg, 1965; Cameron and Yang, 1982). صمم بيرج وبيرج (١٩٦٥) نظاماً لتقدير عوامل مقاومة الغاز (gas resistance factors) والتي يمكن استخدامها لتقدير انتشارية الغاز في أعضاء

النبات الكبيرة الحجم باستخدام نسبة التركيز الداخلي إلى نسبة إنتاج ثاني أكسيد الكربون والإثيلين في الحالة الثابتة. يمكن حساب انتشارية الغازات في أنسجة النباتات الكبيرة كما هو موضح في الصندوق الثالث (Box 3).

هناك عدة تقارير حول قياس انتشارية الغاز في أعضاء النبات الكبيرة. عرف بيرج وبيرج (١٩٦٥) عامل المقاومة (R) والذي يمكن تقديره لأعضاء النباتات الكبيرة (الحجمية) في الموز والطماطم بأنها نسبة التركيز الداخلي إلى نسبة إنتاج ثاني أكسيد الكربون والإثيلين في الحالة الثابتة. وقد قدرا بأن أكثر من ٦٠٪ من تبادل الغازات يحدث من خلال جروح (خدوش) الجذوع (stem scare) في الطماطم. ولكن عامل المقاومة هذا ما هو إلا قيمة تجريبية (empirical value) بدون أبعاد تقليدية (conventional dimensions) وليست بقيمة ثابتة مع تغيرات في نسبة السطح / للحجم (surface to volume ratio). قاس كامرون ويانج (١٩٨٢) (Cameron & Yang, 1985) تدفق أو نفاذ (efflux) غاز خامل أيضاً (metabolic inert gas)، أي الإيثان (ethane)، والذي لم ينتج ولم يمثل غذائياً بدرجة معنوية بواسطة الأنسجة. وقد تم توضيح أن ٩٧٪ من تبادل الغازات في ثمرة الطماطم، يحدث من خلال خدش الجذع. وعلى أي حال، فإن قياس تدفق غاز الإيثان قد خلق عدة شكوك (عدم التأكيدات uncertainties) بسبب أنهم لم يقيسوا انتشارية الإكسوكارب (exocarp) والبيريكارب (pericarp) وخدوش الجذع بشكل منفصل كل على حدة.

راجع سولوموس (١٩٨٧) (Solomos, 1987) مبادئ أو أساسيات التبادل الغازي في الأعضاء النباتية الكبيرة باعتبار حالات ثابتة لانتشار (Stationary States for CO₂ diffusion) وباعتبار أن الأشكال النباتية هي إما دائرية وإما أسطوانية، وبذلك قدر الانتشارية ل اللحم والجلد في التفاح المقشر وغير المقشر. لم يؤخذ

السويق (Stem) في الاعتبار للانتقال الغازي لتقدير الانتشارية الظاهرية للتفاح (apparent deffusivities)

Box 3 Diffusivity

الصندوق الثالث الانتشارية

يمكن تقريب (approximated) تبادل الغازات في أنسجة النبات الكبيرة بقانون فيكس الأول (Fick's first law). يعتمد دفق الغاز في قانون فيكس على المحدار التركيز وانتشارية أعضاء النبات. وعلى أي حال، لتقدير المحدار الغازات، يمكن استخدام قانون فيكس الثاني (Fick's second law) (Chang 1981; Gerard, 1931; Hill, 1928; Ricciardi, 1977; Solomos, 1987, 1989). إذا كان الانتشار أحادي الأبعاد ومعامل الانتشار ثابتاً، فإن معدل النقل عبر وحدة المساحة سيكون:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial C}{\partial X} \quad [16.8]$$

وفي الحالة غير الثابتة، يمكن الحصول على كل الحلول، إما بطريقة الفصل للمتغيرات وسلسلة فورير (Fourier series) أو بتحويل لابلاس (laplace transformation) (Carslaw and Jaeger, 1959; Crank, 1975; Doty, 1946; Edwards and Penny, 1985; Jost, 1960; Tuwiner, 1962). إذا كانت تركيزات السطح ثابتة، فإن الحدود والأحده الأصلية التالية قد تطبق:

$$\begin{aligned} C &= C_1, x = 0, t \geq 0 \\ C &= 0, x = L, t \geq 0 \\ C &= 0, 0 < x < L, t = 0 \end{aligned}$$

والحل في شكل سلسلة مثلثاتية (trigonometrical series) هو:

$$C(x, t) = C_1 (1 - x/L) - 2/\pi \sum_{n=1}^{\infty} C_1/n \sin(nx/L) \exp(-Dn^2 \pi^2 t/L^2) \quad [16.9]$$

وكلما اقتربت t من اللاحدود infinity فإن التعابير المتضمنة الأسية (exponential) تختفي وبساطة نحصل على توزيع التركيز الخطي (Linear concentration distribution). والمعدل الذي به يخرج الغاز من وحدة مساحة للسطح x = L للعينة المختبرة ويعطى / يحسب بـ $-D (\partial C/\partial X)_{x=L}$ والذي يشتق بسهولة من المعادلة [9 - 16]. وبالتكامل فيما يتعلق بالـ، نحصل على الكمية الكلية للمادة المنتشرة Q، والتي مرت عبر الغشاء في الوقت t كالتالي:

$$Q_t/LC_1 = Dt/L^2 - 1/6 - 2\pi \sum_{n=1}^{\infty} (-1) \exp(-Dn^2 \pi^2 t/L^2) \quad [16.10]$$

وكلما قربت t من اللاحدود تقترب المعادلة (10-16) من الخط:

$$Q_t = DC_1/L(t - L^2/6D) \quad [16.11]$$

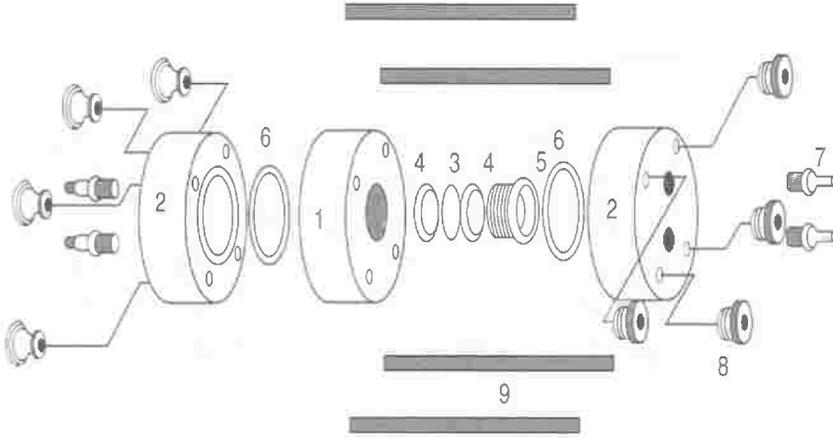
ولهذا ميل تقاطع L intercept على المحور t (t-Axis) ويعطى بـ:

$$L_t = L^2/6D \quad [16.12]$$

ويرمز للتقاطع L_t على أنه "وقت الإبطاء، التوازن time lag". عليه، يمكن تقدير القيم المقاسة لتركيز ثابت الانتشار (concentration of diffusion constant) من الجزء الخطي للرسم البياني (linear portion/ plot of the) (Floros and Chinnan, 1989).

بلا شك يعمل الشمع كحاجز للغازات، للأكسجين وثنائي أكسيد الكربون وبخار الماء وغيرها من الغازات الأيضية، كما يوفر وظائف وقائية، أيضاً، (على سبيل المثال، الأضرار الميكانيكية وهجوم الفطريات والحشرات). عليه، يمكن افتراض أن العامل الأساسي / الأولي الذي ينظم التركيز الداخلي للغازات في أعضاء النبات الكبيرة، هو القشرة. في التفاح تبلغ مقاومة القشرة لانتشار الغازات ١٠-٢٠ ضعف مقاومة اللب، اعتماداً على الصنف (Solomos, 1987). بنى شينان وبارك (١٩٩٥) (Chinnan and Park (1995) مثل هذا النظام من زجاج البليكسس (plexiglass) خلايا انتشارية (diffusion cells) الشكل رقم ١٦,١) واستخدامها لتقدير انتشارية الغاز لقشرة والبيريكارب سويقة الاتصال للطماطم (انظر الشكل رقم ١٦,٢).

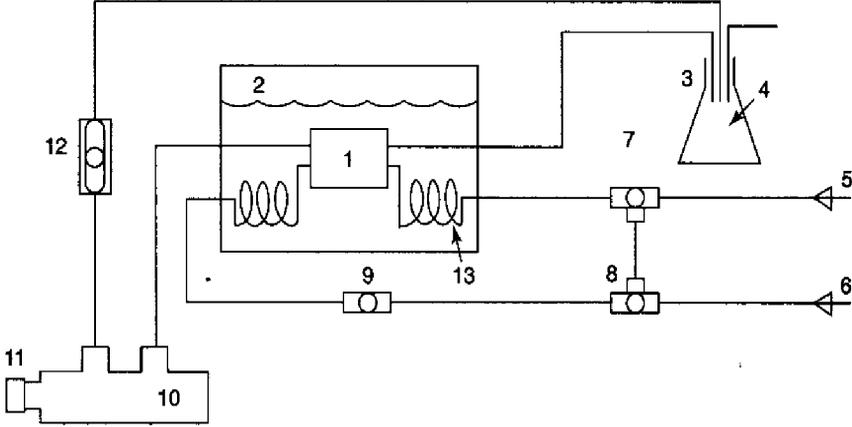
تزيد انتشارية الغاز للإكسوكارب (غلاف الثمرة) زائداً البيريكارب، والبيريكارب وسويقة الاتصال مع تطور الطماطم من المرحلة الخضراء إلى المرحلة الحمراء. ترتفع انتشارية الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون لسويقة الاتصال بمقدار ١,٢-١,٣ ضعف مع تطور الطماطم من اللون الأخضر إلى الأحمر. ودرجة أو مدى الزيادة في انتشارية الغاز للإسوكارب زائداً البيريكارب والبيريكارب، أكبر من التي لسويقة الاتصال أثناء عملية النضج. ينتج فقد المضطرد في الصلابة أثناء عملية النضج من التحول التدريجي للبروتوبكتين (protopectin) إلى البكتين والذي يهدم (يحلل) بإنزيم البولي جالاكتيورونيز (polygalacturonase) في جدار الخلية / الخلايا (Hobson and Davies, 1971). ربما يعزى هذا الهدم الإنزيمي للبكتين (enzymatic degradation of pectin) للانتشار الكبير للغازات في أعضاء الطماطم الكبيرة.



الشكل رقم (١, ١٦). الخلية الانتشارية مركبة من زجاج البليكس Bleziglass™ لتقدير الانتشارية.

تتكون الخلية من أجزاء رئيسية:

حامل العينة (sample holder)، غرفة الإمداد (supplying chamber) وغرفة أخذ العينة (sampling chambers). وجه كل جزء معدل . مدور (tooled for an O-ring). والذي يوفر ارتباطاً محكماً وعدل شينان وبارك (١٩٩٥) وأعاد تركيب الجهاز لدراسة انتشار الغاز. (١) حامل العينة (٢) غرفة الغاز (٣) العينة (٤) حافظات العينة (sample retainers) (٥) حلقة O (٦) حلقة O sealing o-rins (٧) مهانة (إدارة ربط) الأنابيب (tubing adapters) (٨) الصوملة (الفرقة) الإهامية (thumb nuts) (٩) قضبان سلكية/ خيطية (Thread rods)



الشكل رقم (٢، ١٦). يمكن قياس الانتشارية بالطرق التالية (Chinnan & Park, 1995). توضع كل من العينات المجمعة مركزياً (cored) أو مقطعة شرائح (sliced) ومحضرة للدراسة في خليط الانتشار ويتم إدخال غاز مخلوط مسبقاً [premixed gas] ٩٩% O_2 مع ١٠% N_2 ثاني أكسيد الكربون و٨٠% نيتروجين (N_2) في غرفة الإمداد. يمكن قياس كمية ثاني أكسيد الكربون والأوكسجين المنتشرة عبر العينة في الوقت (t) داخل غرفة أخذ العينة بكرموتوغرافيا الغاز. الفترة الفاصلة (interval) لأخذ العينة ٥ دقائق والوقت الكلي لأخذ العينة ٢ ساعة. يتم تغطيس الانتشار في حمام مائي على 21°C . توضع كل معدات قياس انتشارية الغاز في غرفة معزولة الحرارة (heat insulated chamber) وتتم مراقبة درجات الحرارة في مواقع كثيرة عدة داخل الغرفة (١) خلية الانتشار (٢) الحمام المائي (٣) الزجاجية flask (٤) الزيت المعدني (mineral oil) (٥) مدخل الغاز المختبر (٦) مدخل النيتروجين (nitrogen inlet) (٧) صمام ثلاثي الاتجاهات (three-way valve) (٨) موصل ثلاثي الاتجاهات (three-way connector) (٩) صمام ثنائي الاتجاهات (two-way valve) (١٠) غرفة أخذ العينات (١١) حاجز سيلكون (silicone septum) (١٢) جهاز قياس سريان الغاز (gas flowmeter) (١٣) أنابيب الصُّفْر النحاس الأصفر (brass tubing).

(١٦,٧) قياس المحتوى الداخلي للغاز في الفواكه

Measuring Internal Gas Composition of Fruit

يتم إزالة قطعة أسطوانية (cylindrical plug) من أنسجة من الفاكهة (الثمرة) الفردية (برتقالة أو تفاحة أو قطعة طماطم أو حبة شمام أو حبة بطيخ أو أناناس (pineapple) باستخدام قوارة سدادة مطاطية (rubber stopper corer). يتم لحام أنبوب زجاجي حول الفتحة إلى سطح عينة المنتج. ومن أجل قياس المحتوى الداخلي للغازات، يسمح للغاز الموجود في الأنبوب الزجاجي ليتوازن (equilibrate) مع الغازات الداخلية (Banks and Kays, 1988; Park *et al.*, 1994c). من ثم تؤخذ عينة من الغازات من الأنبوب الزجاجي بإبرة تحقن من خلال السدادة للحامية (sealing stopper). وتغطيس كل من عينة المنتج والأنبوب الزجاجي المربوط (attached glass tube) في الماء، يمكن منع التلوث الجوي عند نقطة غرز الإبرة. يتم تحليل عينات الغاز بكرموتوغرافيا الغاز. وهناك حاجة لقياس أوقات التوازن المطلوبة (required equilibrium times) (عندما يكون محتوى الغازات في داخل الأنبوب الزجاجي ثابتاً) بالمراقبة الدورية لتبادلات الغازات داخل الأنبوب الزجاجي. ويمكن توقع اختلاف أوقات التوازن باختلاف الأصناف والنضج ودرجة الحرارة وموسم الحصاد لمختلف الفواكه ولكن الوقت الكاف عادةً هو ساعتان.

(١٦,٨) الاتجاهات المستقبلية

Future Trends

باستخدام بيانات قابلية الغاز للنفاذ عبر الأغشية الصالحة للأكل وبيانات انتشارية قشرة ولب الفواكه والنماذج الرياضية الحاسوبية، يمكن التنبؤ بالمحتوى الداخلي للغازات لفواكه مختارة. يمكن التنبؤ بمحتويات الغازات الداخلية (توقع المحتويات) للفواكه بأغذية أو بدونها، من إجراء تسويات/توافقات أفضل (better matches) بين

الفواكه مفردة والأغطية الصالحة للأكل بشكلها المفرد، أيضاً. يمكن التحقق من النماذج الرياضية بمقارنة المحتوى الداخلي للغازات المتوقعة والمقاسة لمختلف مواد التغطية وسمكها، المستخدمة على فواكه مختارة. كذلك، يمكن قياس السمك المثالي للأغطية الصالحة للأكل - ولكل منتج- تركيب غطاء (produce-coating combination).

(١، ٨، ١٦) التنبؤ بالمحتوى (توقع المحتوى) الداخلي للغازات

Predicting Internal Gas Composition

تقدر موديلات (نماذج models) انتشار الغاز وفقاً للشكل الفيزيائي ومحتوى الفواكه مفردة. على سبيل المثال، إذا افترض انتشار أحادي-الأبعاد ثابت الحالة (one-dimensional steady state diffusion) مع معامل انتشار ثابت، فيمكن استخدام نموذج انتشار الغاز لكرة فارغة (hollow sphere) للتنبؤ بالمحتوى الداخلي من الأوكسجين لبعض الفواكه مثل التفاح والشمام كالتالي: في الانتشار أحادي الأبعاد مع معامل انتشار ثابت، فإن معدل نقل الغاز في الكرة هو (Carslaw and Jaeger, 1959; Chang, 1981; Crank, 1975, 1987; Doty, 1946; Jost, 1960; Solomos, 1987):

$$\partial C/\partial t = D(\partial^2 C/\partial r^2 + (2/r)(\partial C/\partial r)) \quad [16. 13]$$

بإستبدال الـ $Cr = u$ في المعادلة [١٣ - ١٦]، سنحصل على: $\partial u/\partial t = D (\partial^2 C/\partial r^2)$. في الحالة الثابتة، تكون المعادلة التفرقية لهذه الحالة:

$$d(r^2 dC/dr)/dr = 0 \quad [16. 14]$$

وفي كرة مفرغة حيث $a \leq r \leq b$ ، إذا حفظت تركيزات الغاز ثابتة على السطوح بحيث تكون مساوية لـ:

C_1 at $r = a$ and C_2 at $r = b$ ، إذاً $C = [aC_1 (b - r) + bC_2 (r - a)] / (b - a)$ وبالتكامل

مع اعتبار الوقت t فوق مساحة السطح (surface area)، يمكن تقدير الكمية الكلية للغاز

المنتشر Q_1 المار من خلال الجدار، وقياسها بـ (Carslaw and Jaeger, 1959; Crank, 1975; Solomos, 1987):
[16. 15]

$$Q_i = 4\pi D_{app} ab(C_2 - C_1)/(b - a)$$

حيث إن D_{app} هي الانتشارية الظاهرية للكرة المفرغة والـ a والـ b هما ثابتان للفواكه الفردية.

وعلى أي حال، في الحالة الثابتة يجب أن يساوي دفق الأكسجين المار عبر جدار الفاكهة الكروية معدل استهلاك الغاز، عليه:

$$Q_i = 4\pi D_{app} ab(C_2 - C_1)/(b - a) = R(O_2)W \quad [16. 16]$$

حيث إن $R(O_2)$ هي معدل تنفس الأكسجين / للفاكهة والـ W هو وزن الفاكهة.

الصندوق الرابع: السمك المثالي للأغطية الصالحة للأكل

Box 4: Optimal edible coating thickness

أيضاً، يمكن استخدام نموذج الكرة المفرغة المجوفة لتقدير السمك المثالي للغطاء الصالح للأكل في بعض الفواكه مثل التفاح والشمام. في التفاح والشمام المغطى بأفلام صالحة للأكل يجب أن يتساوى دفق الأكسجين المار عبر جدار الفاكهة الكروية من المركز إلى سطح تلامس غطاء الفيلم في سطح الفاكهة، مع دفق الأكسجين المار عبر الغطاء الصالح للأكل من سطح التلامس بين غطاء الفيلم وسطح الفاكهة إلى الجو الخارجي، كما يجب أن يتساوى مع معدل استهلاك التفاح والشمام المغطى بفيلم صالح للأوكسجين في الحالة الثابتة low and Jaeger, 1959; Chang, 1985; Crank, 1975; Doty, 1946; Jost, 1960; Solomos, 1987):

$$Q_i = 4\pi D_{app} ab(C_2 - C_1)/(b - a) \quad [16. 17]$$

$$= 4\pi D_{cz} ((C_2 - C_x)/X)b^2 = R_c(O_2)W$$

حيث إن $R_c(O_2)$ هو معدل استهلاك الفاكهة المغطاة للأكسجين، D_{cz} هي انتشارية الغطاء الصالح للأكل والـ X هي سمك الغطاء الصالح للأكل، و C_x هو تركيز الأكسجين عند السطح بين الغطاء الصالح للأكل و سطح الفاكهة. يمكن حساب السمك المثالي للغطاء والذي يخلق مدى مرغوباً من التركيزات الداخلية للأكسجين (C_1) في التفاح، (٢ - ٣٪) وفي الشمام ٣ - ٥٪) بالمعادلة [١٦ - ١٨] التالية:

[16. 18]

$$X = 4\pi D_{cz} (C_2 - C_x) b^2 / (R_c(O_2) W)$$

حيث إن $b+x$ تصبح b عندما يكون السمك X بسيطاً جداً.

يقدر الـ c_x من المعادلة ١٦ - ١٧ مع $C_2 = C_x$

يمكن التنبؤ بالمحتوى الداخلي من الأكسجين، الـ C_1 ، باستخدام المعادلة (١٦، ١٦). يمكن حساب عوامل الارتباط من القياسات الفعلية للمحتوى الداخلي من الغازات. أيضاً، يمكن التحقق من محتوى الفواكه والخضراوات المغطاة بأغطية صالحة للأكل بقياس التركيب الغازي الداخلي، ويمكن حساب السمك النموذجي المثالي للأغطية الصالحة للأكل، ولكل منتج - تركيب غطاء كما هو موضح في الصندوق الرابع (box 4).

(٢، ٨، ١٦) قياس الجودة وتغيرات فترة الصلاحية

Measurement of Quality and Shelf-Life Change

يجب وبعناية، تحديد معايير جودة للفواكه المغطاة بأفلام صالحة للأكل، كما يجب مراقبة وتتبع قياسات الجودة طوال فترة التخزين. على سبيل المثال، فإن تغيرات اللون والصلابة قياسات جودة مهمة جداً في بعض الفواكه. ويجب مراقبة تغيرات اللون وفقدان الصلابة والتخمير الإثانولي ونسبة التعفن ونقص الوزن للفواكه المغطاة بأغطية صالحة للأكل (Shewfelt et al., 1987). تتم مراقبة تغير اللون بالتغير في زاوية الهيوس (زاوية تدرج اللون hue angle) ويمكن استخدام جهاز اختبار شامل (An Instron

universal test machine) لقياس الصلابة بطريقة غير محطمة / غير متلفة (Bourne, 1982). وهناك حاجة لمراجعة التقييم الحسي واختبارات قبول المستهلك (consumer acceptability tests) والتحقق من ذلك أثناء التخزين.

المراجع (١٦،٩)

References

- ASTM (1987) *Annual Book of ASTM Standards*, Philadelphia, American Society for Testing and Materials.
- AYDT T P, WELLER C L and TESTIN R F (1991) 'Mechanical and barrier properties of edible com and wheat protein films', *Trans ASAE*, **34** (1) 207.
- BANKS N H (1984) 'Some effects of TAL Pro-long coating on ripening bananas', *J Exp Bot* **35** 127.
- BANKS N H and KAYS S J (1988) 'Measuring internal gases and lenticel resistance to gas diffusion in potato tubers', *J Am Hortic Sci*, **113** (4) 577.
- BEN-YEHOSHUA S (1969) 'Gas exchange, transportation, and the commercial deterioration in storage of orange fruit', *J Am Soc Hortic Sci*, **94** 524-8.
- BEN-YEHOSHUA S (1985) 'Individual seal-packaging of fruit and vegetables in plastic film - a new postharvest technique', *J Am Soc Hort Sci*, **20** 32-7.
- BOURNE M (ed) (1982) *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*, New York, Academic Press.
- BURG S P and BURG E A (1965) 'Gas exchange in fruits', *Physiological Plantarum*, **18** 870-84.
- CAMERON A C and YANG S F (1982) 'A simple method for the determination of resistance to gas diffusion in plant organs', *Plant Physiol*, **70** (1) 21-3.
- CARSLAW H and JAEGER J (1959) *Conduction of Heat in Solids*, Oxford, Clarendon Press.
- CHANG R (1981) *Physical Chemistry with Applications to Biological Systems*, New York, Macmillan.
- CHINNAN M S and PARK H J (1995a) 'Effect of plasticizer level and temperature on water vapor transmission of cellulose-based edible films', *J Food Process Eng*, **18** 417-29.
- CHINNAN M S and PARK H J (1995b) 'Determining oxygen and carbon dioxide diffusivities of exocarp, pericarp and stem scar in tomatoes', *J Appl Eng Agric*, **11** (3) 393-6.
- CHOI W Y, PARK H J, AHN D J, LEE J S and LEE C Y (2001) 'Wettability of chitosan coating solution on "Fuji" apple skin', *J Food Sci*, in press.
- CHU C L (1986) 'Poststorage application of TAL Pro-long on apples from controlled atmosphere storage', *HortScience*, **21** (2) 267-8.
- CRANK J (ed) (1975) *The Mathematics of Diffusion*, London, Oxford University Press.
- DOTY P (1946) 'On the diffusion on vapors through polymers', *J Chem Phys*, **14** (4) 244-52.
- EDWARDS C and PENNY D (1985) *Elementary Differential Equations with Applications*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.

- ERBIL H Y and MUFTUGIL N (1986) 'Lengthening the postharvest life of peaches by coating with hydrophobic emulsions', *J Food Proc Pres*, **10269-79**.
- FLOROS J D and CHINNAN M S (1989) 'Determining the diffusivities of sodium hydroxide through tomato and capsicum skins', *J Food Eng*, **9** (2) 129-41.
- GERARD R W (1931) 'Oxygen diffusion in cells', *Biol Bull*, **60** (3) 245-68. GILBERT S G and PEGAZ D (1969) 'Finding a new way to measure gas permeability', *Package Eng*, **14** (1) 66-9.
- GIST-BROCADES N V (1981) British Patent 1 593 856.
- HAGENMAIER R D and BAKER R A (1993) 'Reduction in gas exchange of citrus fruit by wax coatings', *J Agric Food Chem*, **41** 283-7.
- HARDENBURG R E (1967) *Wax and Related Coatings for Horticultural Products. A Bibliography*, Agricultural Research Service Bulletin 51-55, United States Department of Agriculture, Washington, DC.
- HERSHKO V and NUSSINOVITCH A (1998) 'The behavior of hydrocolloid coatings on vegetative materials', *Biotechnol Prog*, **14756-65**.
- HILL A V (1928) 'Diffusion of oxygen and lactic acid through tissue', *Proc R Soc Biol Ser B*, **104** (728) 39-96.
- HOBSON G and DAVIES J (1971) The tomato, in *The Biochemistry of Fruits and their Products*, London and New York, Academic Press, 437-82.
- JOST W (1960) *Diffusion in Solids, Liquids, Gases*, New York, Academic Press.
- KADER A A, ZAGORY D and KERBEL Z L (1989) 'Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables', *Crit Rev Food Sci Nutr*, **28** (1) 1.
- KAMPER S L and FENNEMA O (1984) 'Water vapor permeability of edible bilayer films', *J Food Sci*, **49** 1478.
- KROCHTA J M and DE MULDER-JOHNSTON C (1997) 'Edible and biodegradable polymer films challenges and opportunities', *Food Technol*, **51** (2) 61-74.
- LANDROCK A H and PROCTOR B E (1952) 'Gas permeability of films', *Modern Packaging*, **6** 131-201.
- LOWINGS P H and CUTTS D F (1982) 'The preservation of fresh fruits and vegetables', *Proc Inst Food Sci Technol*, **15** 52-4.
- NISPEROS-CARRIEDO M O, SHAW P E and BALDWIN E A (1990) 'Changes in volatile flavor components of pineapple orange juice as influenced by the application of lipid and composite films', *J Agric Food Chem*, **38** (6) 1382.
- PARK H J (1999) 'Development of advanced edible coatings for fruits', *Trends Food Sci Technol*, **10** 254-60.
- PARK H J, WELLER C L, VERGANO P J and TESTIN R F (1993) 'Permeability and mechanical properties of cellulose-based edible films. *J Food Sci*, **58** (6) 1361-4, 1370.
- PARK H J and CHINNAN M S (1995a) 'Gas and water vapor barrier properties of edible films from proteins and cellulosic materials', *J Food Eng*, **25497-507**.
- PARK H J, BUNN J M, VERGANO P J and TESTIN R F (1994a) 'Gas permeation and thickness of the sucrose polyesters, Semperfresh™, coatings on apples', *J Food Proc Pres*, **18** 349-58.
- PARK H J, CHINNAN M S and SHEWFELT R L (1994b) 'Edible coating effects on storage life and quality of tomatoes', *J Food Sci*, **59** (3) 568-70.
- PARK H J, CHINNAN M S and SHEWFELT R L (1994c) 'Edible com-zein film coatings to extend storage life of tomatoes', *J Food Proc Pres*, **18** 317-31.
- PARK H J, BUNN J M, VERGANO P J and TESTIN R F (1994d) 'Water vapor permeability and mechanical properties of grain protein-based films as affected by mixtures of polyethylene glycol and glycerin plasticizers', *Trans ASAE*, **37** (4) 1281-5.

- PARK H J, RHIM J W and LEE H Y (1996) 'Edible coating effects on respiration rate and storage life of "Fuji" apples and "Shingo" pears', *Food Biotechnol*, 5 59-63.
- PARK H J, JUNG S T, SONG J J, KANG S G, VERGANO P J and TESTIN R F (1998) 'Mechanical and barrier properties of chitosan-based biopolymer film', *Chitin Chitosan Res*, 5 16-29.
- RICCIARDI L (1977) *Diffusion Processes and Related Topics in Biology*, Beltz Offsetdruck, Springer-Verlag.
- RISSE L A, CHUN D, MCDONALD R E and MILLER W R (1987) 'Volatile production and decay during storage of cucumbers waxed, imazalil-treated, and film-wrapped', *HortScience*, 22 (2) 274-6.
- RULON J and ROBERT H (1993) *Wetting of Low-energy Surfaces*, ed. John C, Wettability, Seattle, Marcel Dekker Inc.
- SANTERRE C R, LEACH T F and CASH J N (1989) 'The influence of the sucrose polyester, Semperfresh™, on the storage of Michigan grown "McIntosh" and "Golden Delicious" apples', *J Food Proc Pres*, 13 293-305.
- SEGALL R H, DOW A and DAVIS P L (1974) 'Effect of waxing of decay, weight loss, and volatile pattern of cucumbers', *Proc Florida State Hort Soc*, 37 250-1.
- SHEWFELT R L, PRUSSIA S E, RESURRECCION A V A, HURST W C and CAMPBELL D T (1987) 'Quality changes of vine-ripened tomatoes within the postharvest handling system', *J Food Sci*, 52 (3) 661-72.
- SMITH S M and STOW J R (1984) 'The potential of a sucrose ester coating material for improving the storage and shelf-life qualities of Cox's Orange Pippin apples', *Annu Appl Biol*, 104 383-91.
- SMITH S, GEES ON J and STOW J (1987) 'Production of modified atmospheres in deciduous fruits by the use of films and coatings', *HortScience*, 22 (5) 772-6.
- SMOCK R M (1935) 'Certain effects of wax treatments on various varieties of apples and pears', *Am Soc Hort Sci*, 33 284-9.
- SMOCK R M (1940) 'Some additional effects of waxing apples', *Am Soc Hort Sci*, 37 448-52.
- SOLOMOS T (1987) 'Principles of gas exchange in bulky plant tissues', *HortScience*, 22 (5) 766-71.
- SOLOMOS T (1989) 'A simple method for determining the diffusivity of ethylene in "McIntosh" apples', *Sci Hort*, 39 (4) 311-18.
- SPARKS W (1976) 'Losses in potatoes and lesser fruits and vegetables', in *Proceedings of National Food Loss Conference*, eds Zaehring M and Early J, College of Agriculture, University of Idaho, Moscow.
- SPURGEON D (ed) (1976) *Hidden Harvest*, International Development Research Center, Ottawa, Canada.
- TUWINER S (1962) *Diffusion and Membrane Technology*, American Chemical Society Monograph Series, New York, Reinold.
- ZHANG D and QUANTICK P C (1997) 'Effects of chitosan coating on enzymatic browning and decay during postharvest storage of litchi fruit', *Postharvest Biol Technol*, 12 195-202.