

## تصنيع الفواكه والخضراوات

### بالضغط العالي

## High Pressure Processing of Fruit and Vegetables

ل. لو ديكويز، أ. فان لوي، إندراواتي وهندريكسي، جامعة ليوفين الكاثوليكية

L. Ludikhuyze, A. Van Loey, Indrawati and M. Hendrik, Katholieke Universiteit Leuven

(١٧، ١) مقدمة

### Introduction

بتعريض الأغذية لضغط عالٍ (High Pressure, HP)، قد يتم تثبيط الأحياء الدقيقة والإنزيمات ودون أن تتحلل أو تهدم مركبات النكهة والعناصر الغذائية المرتبطة بالتصنيع الحراري التقليدي (traditional thermal processing). تم استخدام هذه التقنية على مستوى تجاري لأول مرة في اليابان في أوائل التسعينيات (early 1990s) وذلك لبستره الأغذية الحمضية (acid foods) وتخزينها/حفظها مبردة. وبالرغم من الجهود البحثية الكبيرة، خاصة في أوروبا وأمريكا، إلا أن التطوير التجاري خارج اليابان كان بطيئاً حتى الآن، أساساً، بسبب ارتفاع تكاليف الاستثمارات في التصنيع بالضغط العالي وبالمثل مشاكل النظم التشريعية (regulatory problems) في مناطق مثل أوروبا. ويعرض الجدول رقم (١٧،١) بعض الأمثلة الحديثة لتصنيع منتجات الفواكه بالضغط العالي.

جدول رقم (١٧، ١). أمثلة حديثة للتصنيع بالضغط العالي لتجفيف الفواكه (مأخوذ من شفيلين، ١٩٩٧).

الشركة	المنتج	الضغط/ الحرارة/ الوقت/ الترتيب	دور الضغط العالي
اليابان جيدي-يا Meidi-ya	التجفيف الممتدة على الفاكهة (PHCAS) البرق (رافع، الكوري، الفواكه)، الجلبي، الفلمسة، الريادي، الصوص	٤٠٠ ميغا باسكال، ١٠ إلى ٣٠ دقيقة، ٢٠م <sup>٢</sup>	السرور، تحسين حالة الجلبي، تقليل السكر أسرع، الحد من حبيبي نشاط البروم إكسين مثل السيزيز
وكايا فود إنذ. Wakayma food Ind.	عصير الماندين (عصير المشمش فقط) ٢٠% من العصير المعامل بالضغط في خليط العصير النهائي	٢٠٠ ميغا باسكال، ١٠-١٥ دقيقة ٥م <sup>٥</sup>	تقليل المرارة
وكايا فود إنذ. Pokka corp. (ceased in 1998)	عصير الماندين (عصير المشمش فقط) ٢٠% من العصير المعامل بالضغط في خليط العصير النهائي	٣٠٠-٤٠٠ ميغا باسكال، ٢-٣ دقيقة ٢٠م <sup>٢</sup>	تقليل رائحة سلفايد الهادي مثل، تقليل الصلابة الحراري للمثل، تقليل التحلل الحراري للمثل، تحسين سلفر كسيد، إبطال البسوة الحرارية الأولية (بعد استخلاص العصير) والبسوة النهائية قبل الصب، ٩٠، ٢٠، ٣ دقائق
الأغذية الناعمة Nissin fine foods	الفواكه الاستوائية المشوية بالسكر (مفروشة على ١٨م <sup>٢</sup> بدون تخميد) للسوربيت والأيس كريم تخميد تكون الكبريتا كازوربة (العصير الفاكهة واطليبي)	٢٠٠-٥٠٠ ميغا باسكال	اختراق أسرع للسكر وارتانة للماء
كوبلي كوري QP Corp.	عصير الماندين الياباني	-	تثبيت الزنثوموناس، عدم فقد خصائص الأوربسة الناجمة
إيهم كو Ehime co.	عصير الفاكهة	-	البسوة الباردة
تاكاسي Takasai	عصير البرتقال	-	البسوة الباردة
بون (اختير سسوقيا في 2000) market in 2000)	عصير البرتقال	-	-
أوروبا Europ			
بامبريل (فرنسا) Pampryl (France)	عصير الفاكهة (البرتقال، الجريب، فسوت، الحامضيات، عصير الفواكه المشكلة)	٤٠٠ ميغا باسكال، درجة حرارة الفوق	تثبيت الفلورا حتى ١٠ مسمومة ميكروبيتية/جرام، تثبيت جوزني للكتين مثل، سيزيز
أورثاد هاريس فودز ليمد بريطانيا Orchard Hows Food Ltd (UK)	عصير البرتقال المصري		تثبيت الفلورا الطبيعية والإذبيات وإبقاء على الطعم الطبيعي
أمريكا أفومكس USA Avomex	عجينة الأوفو كادو (جوا كاسول، صلصلة التورتول والصلصة) والقطع	١٠-١٥ دقيقة ٧٠٠ ميغا باسكال، ٢٠م <sup>٢</sup>	تثبيت الأحياء الدقيقة، تثبيت البروم البولي فيسول، أوكسيديز، والتصنيع البرد

التصنيع بالضغط العالي ليس بعملية حرارية (non-thermal)، من ناحية المبدأ وحتى لو ارتفع الضغط من نفسه (دون محاولة رفعه صناعياً قصداً)، فقد يسبب ارتفاع درجة الحرارة بدرجة بسيطة. يؤثر الضغط العالي على كل التفاعلات والتغيرات التركيبية إذ ما كان للتغير في الحجم دوراً في ذلك كما في جلتنة/تهلم البروتين أو النشا (gelation of proteins and starch). إن ميكانيكية (آلية) قتل الأحياء الدقيقة هي تضافر مثل هذه التفاعلات وتكسير (تحلل) الروابط غير التساهمية (non-covalent bonds) وثقب (puncturing) أو نفاذية (permeabilisation) غشاء الخلية. يتم تثبيط الخلايا الخضرية بضغط مقداره حوالي ٣٠٠ ميغا باسكال (300 MPa) على درجة حرارة الجو العادية (ambient temperature)، بينما يتطلب تثبيط الجراثيم قيم ضغط أعلى بكثير (٦٠٠ ميغا باسكال أو أكثر) مع حرارة مرتفعة قد تصل إلى ٦٠-٧٠°م. تثبط إنزيمات محددة على ٣٠٠ ميغا باسكال بينما يصعب تثبيط أخرى بالمرّة وعلى أي مدى ضغط يتوافر حتى اليوم. في هذا السياق، يعتبر مستوى الرطوبة عاملاً هاماً جداً، إذ إن هناك أثراً بسيطاً يمكن ملاحظته عند محتوى رطوبة أقل من ٤٠٪.

للضغط المنبض أو التذبذبي (pulsed or oscillating pressurisation) فعالية أكبر في تثبيط الجراثيم مما للضغط المستمر (continous pressure). إزالة/إبطال الضغط بسرعة (rapid decomperation) يؤدي إلى زيادة قوة التأثير على غطاء الجرثومة بدرجة أكبر مما يفعل الضغط السابق ويمكن من التعقيم بضغط أقل مقارنة بالضغط المستمر. قد تنبت (تنمو) الجراثيم بمدى ضغوط بسيطة تتراوح من ٥٠ إلى ٣٠٠ ميغا باسكال، نمواً كبيراً، وتتأثر تأثيراً شديداً بدرجة الحرارة والأس الهيدروجيني (pH)، والتي ستسمح بقتل الأحياء بقيم ضغط متوسطة. في حالة أصناف متنوعة كثيرة من المنتجات الرطبة، يؤدي الضغط بمقدار أعلى من ١٠٠ ميغا باسكال وفي أقل من ٣٠ ثانية وأساساً على حوالي ٩٠°م مع الحفظ على هذه الحرارة لدقائق معدودة، إلى تثبيط

كامل وحتى للجراثيم المقاومة للحرارة (Thermoresistant spores). إن استخدام النيسين (nisin) (وهو مثبط لنمو الجراثيم bacteriosin) مع الضغط العالي والحرارة المنخفضة قد يسمح بتقليل معتبر في زمن التصنيع و/ أو الضغط المستخدم في المعاملة بالضغط العالي. يكتمل القتل الميكروبي بدون بقاء بعض الممرضات التي توجد من وقت لآخر (Hauben et al, 1997, Garcia-Graells et al., 1998)

### (١٧، ٢) تقنية الضغط العالي

#### High Pressure (HP) Technology

المكونات الأساسية لنظام الضغط العالي هي :

- وعاء للضغط وقفله (a pressure vessel and its closure).
- نظام لتوليد الضغط (pressure generation system).
- جهاز للتحكم في درجة الحرارة (a temperature control device).
- نظام تداول للمواد (Mertens, 1995) a materials handling system).

تصنع معظم أوعية الضغط من (خليط من المعادن) من الفولاذ عالي القابلية للشد (a high tensile steel alloy) (مونوبلوكس ، أحادي الكتلة (monoblocs)) (يُشكل من قطعة واحدة من المادة المعدنية (forged from a single piece of material)) والتي قد تتحمل ضغوطاً تصل إلى ٤٠٠-٦٠٠ ميجا باسكال. ولدرجات ضغط أعلى ، تستخدم أوعية ذات طبقات متعددة مشدودة مسبقاً ، أو مربوطة بسلك معدني (Mertens, 1995) (prestressed multilayer or wire-wound vessels). يتم لحام الأوعية بقفل حديدي مسلك (threaded steel closure) ، أي قفل له سلك متقطع interrupted thread (يمكن إزالته بسرعة أكبر) ، أو ببرواز ملحوم (sealed frame) يوضع فوق الوعاء. في التشغيل ، وبعد إزالة كل الهواء ، يتم ضخ مادة نقل الضغط (سواء كانت

ماءً أو زيتاً) من خزان (reservoir) إلى داخل وعاء الضغط باستخدام مكثف للضغط (Pressure intensifier) حتى يتم تحقيق الضغط المرغوب. ويعرف هذا أو يسمى بالضغط غير المباشر (Indirect compression) ويتطلب أقفال ضغط ثابتة (static pressure seals). تستخدم الطريقة الأخرى التي تعرف بالضغط المباشر (direct compression) (مكبس piston) لضغط الوعاء، ولكن يتطلب هذا وجود أقفال ضغط ديناميكية/متحركة (dynamic pressure seals) بين الكباس والسطح الداخلي للوعاء، وأقفال الضغط المتحركة هذه عرضة للتمزق ولا تستخدم تجارياً.

يمكن تحقيق السيطرة على درجة الحرارة في العمليات التشغيلية التجارية بضخ وسط تسخين/تبريد (heating/cooling medium) من خلال فراغ يحيط بالوعاء يقع بين سطحين؛ السطح الخارجي للوعاء وآخر يحيط بالفراغ (through a jacket that surrounds the pressure vessels). يعتبر هذا مرضياً/مقبولاً في معظم الاستخدامات التي تتطلب درجة حرارة ثابتة، ولكن إذا كانت هناك ضرورة لتغيير درجة الحرارة بشكل نظامي، فإن القصور الذاتي الحراري البالغ (large thermal inertia) للوعاء وصغر مساحة النقل الحراري نسبياً (relatively small heat transfer area) يؤديان لبطء استجابة هذا النوع من السيطرة على الحرارة للتغيرات. في مثل هذه الحالات يتم تركيب مبادل حراري داخلي (internal heat exchanger).

توجد طريقتان لتصنيع الأغذية في أوعية الضغط العالي: التصنيع في أوعية (طناجر) (in container processing) أو التصنيع السائب المستمر (بكميات كبيرة) (bulk processing). ولأن حجم الأغذية يقل بالضغوط العالية المستخدمة في التصنيع (على سبيل المثال ينخفض حجم الماء بنسبة ١٥٪ على ٦٠٠ ميغا باسكال)، فهناك ضغط شديد وتشويه للعبوة واللحم عندما يستخدم التصنيع في أوعية. أكياس

البلاستيك ورقائق الألومنيوم فويل هي أفضل الخيارات للتصنيع باستخدام الضغط العالي ، وما زالت بحوث تصميم العبوات مثل تشكل وتمامية اللحام (seal integrity) ومواد التغليف المناسبة الأخرى ، مستمرة. يتم تداول مواد التصنيع في عبوات باستخدام معدات /أجهزة أتوماتيكية مشابهة للتي تستخدم في تحميل /تفريغ معقمات الدفعات (batch retorts). ويتم تداول الكميات السائبة بصورة أسهل ويتطلب مضخات وأنابيب وصمامات ، فقط.

تم استخدام معدات الضغط العالي منذ وقت طويل للإنتاج التجاري لبلورات الكوارتز (المرو quartz) والسيراميك (ceramics). أيضاً ، هذه المعدات مناسبة لتصنيع الأغذية مع بعض التعديل. ومن مصنعي هذه المعدات يمكن الإشارة إلى : ميتسويشي للصناعات الثقيلة (Mitsubishi Heavy Industries) وكوب إستيل ليمتد في اليابان (Kobe Steel Ltd in Japan) وفلو كوربوريشن العالمية (Flow International Corporation) وجي إي سي ألستون - لأنظمة الضغط (GEC Alston Pressure System) وإستانستيد فلويد بور أند إنجنيزنج العالمية لأنظمة الضغط (Stansted Fluid Power and Engineering Pressure systems International) في أوروبا وأمريكا.

تتوافر غرف ضغط لتصنيع الأغذية بطاقة ٥٠٠ لتر كحجم وباستخدام ضغط يصل إلى ٨٠٠ ميغا باسكال. ولأسباب تتعلق بالتكلفة ، يوجد حد عملي لمقدار الضغط المستخدم وهو ٦٠٠ ميغا باسكال ، والذي يكون كافياً لمعظم الاستخدامات. ولا اعتبارات وأسباب تقنية ، فكل الوحدات المتوافرة (الموجودة) هي أنظمة دفعات (batch systems) بالرغم من وجود محاولات تطويرية لإيجاد نظام مستمر (continuous systems). ويمكن بجمع عدة وحدات بترتيب شطرنجي تعاقبي (staggering fashion) ، تحقيق نظام انتاج شبه مستمر (semi-continuous). وعادة ، الماء هو المادة المستخدمة في الضغط (pressurizing medium) وتغلف الأغذية في عبوات مرنة بدون ترك فراغ قمي أو

في وجود فراغ قمي بسيط وذلك، لتكون قادرة على تحمل الضغط وتوزيعه توزيعاً منتظماً. معظم أنظمة الضغط عمودية ولبعضها مكثفات ضغط عالٍ خارجية (high pressure intensifier) وذلك، لتقليل عدد المكونات الحساسة للضغط العالي في النظام الهيدروليكي (المائي). طورت شركة أسي بي (the ACB company) وعاء ضغط عالٍ أفقي شبه مستمر بنظام بساتم مزدوجة (double set of pistons) للتحميل والتفريغ في خط مستقيم. تم تصميم الخطوط التجارية لتكون أوتوماتيكية لضمان إنتاج انسيابي (streamline production) وتقليل وقت التحميل وإجراء الضغط وإبقاء الضغط (للوقت المحدد holding) وإزالة الضغط والتفريغ والتجفيف.

استخدمت شركة يابانية واحدة التصنيع شبه المستمر لعصائر الفاكهة بطاقة ٤٠٠٠-٦٠٠٠ لتر/ ساعة باستخدام ضغط يتراوح من ٤٠٠-٥٠٠ ميغا باسكال لمدة ١-٥ دقيقة على درجة حرارة الجو، بينما استخدمت شركة أخرى عملية مشابهة تعمل على ١٢٠-٤٠٠ ميغا باسكال ويتبع ذلك معاملة حرارية لوقت قصير قبل تعبئة العصير. تحقق هذه العملية كفاءة استخدام طاقة كبيرة بالرغم من استمرار ارتفاع التكاليف الرأسمالية للمعدات في الوقت الحاضر (capital costs of equipments). ومن الممكن استخدام مثل هذه الأغذية السائلة كسوائل ضغط بالضح المباشر بمضخات ضغط عالٍ. وتقلل مثل هذه الأنظمة من التكاليف الرأسمالية لوعاء الضغط وتسهل تداول المواد. إذا ما تم إزالة ضغط السوائل بسرعة من خلال فتحة صغيرة، فإن السرعة الكبيرة والدفق المضطرب (turbulent flow) سيرفع قوى تمزيق الأحياء الدقيقة وبالتالي يرفع معدلات تحطيمها (Earnshaw, 1992). تشمل تطورات التصنيع بالضغط العالي التي ذكرها كنور ١٩٩٥ (Knorr, 1995a) (1995a) الجمع بين التركيز/التجميد freeze concentration) والتجميد/الضغط (pressure freezing) والسلق بالضغط العالي (high

(pressure blanching). تشير النتائج الأولية إلى السرعة الكبيرة التي تجفف بها الفواكه المسلوقة بالضغط مقارنة بسرعة تجفيف المسلوقة بطريقة الماء الساخن التقليدية. من أمثلة الأنظمة شبه المستمرة أنظمة شركة ألتستوم وفلو لأنظمة الضغط (Alstom and Flow pressure systems). في نظام الضغط الدفقي شبه المستمر (Flow pressure semi-continuous system)، يتم ضخ السائل المراد تصنيعه داخل واحد مما يعرف بالعازل (isolator) أو عدة عوازل (أوغية ضغط فيها عازل/عوازل تعزل الغذاء السائل عن مصدر الماء لجهاز الضغط الفائق (UHP) ultra high pressure). بعد معاملة الضغط، يتم ضخ السائل في خزان حفظ (مؤقت) ومحطة تعبئة معقمة (aseptic filling station). في نظام شركة Alstom، تملأ غرفة الضغط بالسائل المراد معاملته ويضغط مباشرة ببستم متحرك (mobile piston) (يدفع بماء مضغوط) حتى الوصول للضغط الأقصى وهو ٥٠٠ ميغا باسكال. يتم تحرير الضغط، بعد وقت الحفظ المؤقت المحدد مسبقاً ويضخ السائل بالبستم إلى وعاء حفظ. ويمكن خدمة عدة غرف ضغط في نفس الوقت بشكل متوازٍ بنفس مولد الضغط الرئيس وذلك للمحافظة على دفق انسيابي مستمر. ولأن غرفة الضغط تملأ بالكامل بالمنتج، فإن السعة لكل دورة ستزداد بشكل كبير مقارنة بتصنيع المنتجات المعبأة مسبقاً في نظام الدفعات التقليدي، ويقل الوقت الذي تستغرقه الدورة بحوالي ٣٠٪.

وصف هوجلاندا (٢٠٠١) (Hoogland, 2001) التطوير في كونسرتيم هولندي (Dutch consortium) لجيل جديد من معدات التصنيع بالضغط العالي اقتصادية التكلفة، وباستخدام مواد مركبة (مؤلفة composite materials) بدلاً من الفولاذ، يتم تقليل تكلفة وعاء الضغط. وكذلك يقلل استخدام مكثفات الضغط الداخلي بمضخات خارجية من التكاليف. ومع النظام الجديد الذي في طور/مرحلة المصنع/المعمل التجريبي (pilot plant stage)، تم تقليل أوقات الدورات (التصنيعية) إلى

٢-٥ دقائق. والفائدة الأخرى لاستخدام المواد المركبة (المؤلفة)، هي عدم تبريد جدار غرفة الضغط لسطح الغذاء، والجدار هو الذي يشتمل/يوزع بعض الحرارة الدينامية (adiabatic heat) المتولدة عند ضغط الغذاء المحمل. وبما أن للضغط ودرجة الحرارة أثراً تداوئياً أو معزراً مشبهاً (synergistic inactivation effect)، فإن التبريد عند جدار الغرفة قد يحل/يعالج مشكلة التثبيط. لقد تم بذل الكثير من الجهود لاستبدال التصنيع بالدفعات بعمليات الضغط العالي المستمرة الحقيقية. فعلى سبيل المثال، اخترعت شركة يونيليفر (Unilever) نظاماً مستمراً فيه يتم تمرير المادة المراد تصنيعها تحت أنبوب ضيق مفتوح في تدفق مضطرب مستمر. ويتم المحافظة على فارق ضغط (pressure differential) بمقدار ١٠٠ ميغا باسكال أو أكثر بين نهايات مدخل ومخرج هذا الأنبوب. تشير التكاليف الكلية مقدره بواسطة عدد من مصنعي المعدات، إلى أن استثمارات في الأنظمة التجارية تتراوح من ٠.٥ إلى ٢ مليون يورو (Euro) وتبلغ التكلفة الإنتاجية لتصنيع الأغذية على ٤٠٠ ميغا باسكال، ٠.١-٠.٢ يورو/ كجم من الأغذية المصنعة. تبلغ تكلفة مصنع ضغط عالٍ لبسترة عصير الفاكهة حوالي ٢٠ ضعف تكلفة جهاز نظام مبادل حراري مكافئ (Manvell, (equivalent heat exchanger system) (1996). وتعتمد التكلفة الفعلية على سعة الغرفة (chamber capacity) وكثافة الماء (fill density) والجمع بين الوقت-الضغط-الحرارة في التصنيع ودرجة استخدام الخط الإنتاجي (degree of utilization of the line). تبلغ تكلفة الاستثمار حوالي ٧٥٪ من تكاليف الإنتاج الكلية.

### (١٧,٣) أثر الضغط العالي على البكتريا المكونة للجراثيم

#### Impact of HP on Spore-Forming Bacteria

عملية تكوين الجراثيم إستراتيجية بقاء أو نجاة لبعض أجناس البكتريا في ظروف الإجهاد الشديد وخاصة الباسيلس (*Bacillus*) والكلوسترديوم (*Clostridium*). بالرغم

من أن إمكانية خفض أعداد الجراثيم البكتيرية عند تعرضها للضغط العالي إلا أن الجمع بينه وبين طرق الحفظ الأخرى مثل رفع الحرارة بدرجة معتدلة أمر مطلوب لخفض أعداد هذه الجراثيم بدرجة كبيرة (Hoover, 1993). لاحظ (Larson et al, 1981) أن المعاملة بالضغط حتى ١٨٠٠ ميغا باسكال على درجة حرارة الغرفة لم تكن كافية للحصول على تعقيم تجاري للمنتجات الغذائية. اقترح سوجكا ولدويج (١٩٩٤ ، ١٩٩٧) (Sogka and Ludwig, 1994, 1997) استخدام عملية تتكون من خطوتين لتحل المشاكل المتعلقة بالمقاومة الكبيرة للضغط من قبل الجراثيم البكتيرية: معاملة ابتدائية بالضغط العادي لإحداث إنبات للجراثيم تتبعها معاملة بضغط عالٍ وحرارة لقتل الجراثيم النامية. وعلى أية حال، يبدو أن التنوع الحيوي (biological diversity) في القابلية للإنبات (germinability) داخل مجموعة جراثيم واحدة (one spore population) ونقص المعلومات حول حركيات الإنبات (kinetics of germinations) تُحد من هذه المعالجة (هينز، ١٩٩٧، ووايتاك، ١٩٩٩) (Heinz, 1997, Wuytak, 1999).

للقضاء على الجراثيم بشكل كامل، لا بد من الجمع بين الضغط والمعاملة الحرارية على ٦٠°م أو أعلى: عندما يستخدم ضغط منخفض لا بد من حرارة أعلى لإحداث التثبيت المطلوب والمحدد (سيل وآخرون، ١٩٧٠؛ هينز، ١٩٩٧؛ ووايتاك، ١٩٩٩) (Sale et al, 1970, Heinz, 1997, Waytack, 1999). تم تحقيق خفض بحد أقصى بمقدار ٣ دورات لوغاريثمييه لجراثيم الكلوستريديوم اسبوروجينيس والباسيلس كواجولانس (*Clostridium sporogenes* and *Bacills coagulans* Spores) عند تعريضها لحرارة أقل من ٦٠°م مع ضغط يبلغ حوالي ٤٠٠ ميغا باسكال (روبرتس وهوفر، ١٩٩٦؛ ميلس وآخرون، ١٩٩٨) (Roberts amd Hoover, 1996, Mills et al, 1998). ولإتمام التعقيم مع أقل أثر على القيمة الغذائية والنكهة والقوام واللون، فقد اقترح

استخدام نبضات ضغط عالٍ متعددة (multiple high pressure pulses) مع حرارة نهائية أعلى من ١٠٥°م تحت الضغط لوقت قصير (مير وآخرون، ٢٠٠٠، كبرز وآخرون، ٢٠٠١) (Meyer et al, 2000, Krebbers et al, 2001). بالإمكان القول إن أعظم فائدة لاستخدام الضغط العالي في حفظ الأغذية هي خفض المقاومة الحرارية للجراثيم. ويبدو أن هذا التأثير التآزري يضعف على درجات الحرارة العالية، بعض الشيء.

#### (٤، ١٧) أثر الضغط العالي على الخلايا الخضرية للبكتريا

##### Impact of HP on Vegetative Bacteria

يؤدي الضغط المعتدل إلى تعويق/ خفض معدل تكاثر ونمو الخلايا الخضرية، ولكن، يثبط النمو والتكاثر عند استخدام ضغوط عالية. بالرغم من أن ثباتية الضغط تعتمد بدرجة كبيرة على نوع الأحياء الدقيقة وجنسها وظروف النمو، إلا أن ضغوطاً تتراوح بين ٢٠٠-٦٠٠ ميغا باسكال على درجة حرارة الغرفة تكون عادة، كافية لإحداث خفض هائل في الخلايا الخضرية الحية. تكون الخلايا الخضرية للأحياء البروكاريوتية (prokaryotes) مثل الخمائر والأعفان أكثر حساسية للضغط، ويتم تثبيطها باستخدام ضغوط بين ٢٠٠ و ٣٠٠ ميغا باسكال. بالإمكان تثبيط البكتريا السالبة لصبغة جرام (Gram-negative Bacteria) باستخدام ضغط في حدود ٣٠٠ ميغا باسكال لأنها أقل ثباتية/ مقاومة للضغط مقارنة بالبكتريا الموجبة لجرام والتي تحتاج إلى ضغوط أعلى من ٤٠٠ ميغا باسكال لتثبيطها. وعلى أية حال، توجد استثناءات عديدة لهذه القاعدة العامة.

وعلى سبيل المثال، وجد بينيتو وآخرون (١٩٩٩) (Benito et al., 1999) سلالات من الإي كولاي أو ١٥٧ : إتش ٧ (*E-Coli* O157: H7) مقاومة جداً للضغط. وبالإضافة إلى ذلك، خلافاً لما في ظروف المعمل، نجد أن الأحياء الدقيقة في المنتجات

الغذائية الحقيقية تكون أكثر ثباتية. وبصفة عامة، يعزى الأثر الوقائي للمنتجات الغذائية الحقيقية إلى وجود البروتينات والسكريات. ومن ناحية أخرى، فإن الآثار المتعاوضة بين الضغط والتحميض (accidification) أو إضافة مضادات ميكروبية (antimicrobial) قد تستغل في خفض مقاومة الأحياء الدقيقة للضغط (Hauben *et al.*, 1997, Garcia-Garalles *et al.*, 1998).

### (١٧،٥) أثر الضغط العالي على النشاط الإنزيمي

#### Impact of PH on Enzymatic Activity

تشمل بعض الإنزيمات الرئيسية في تصنيع الفواكه والخضراوات التالي:

- البولي فينول أكسيداز (Polyphenoloxidase, PPO) والذي يكون مسئولاً عن الاسمرار الإنزيمي.
- اللايبوأكسيجيناز (Lipoxygenase, LOX) والذي يسبب تغيرات النكهة واللون والقيمة الغذائية.
- البكتين ميثايل إستيراز (Pectinmethylesterase (PME) والذي يسبب عكارة وتغيرات في القوام.
- البيروأكسيداز (Peroxides (POD) والذي يزيد من النكهات غير المرغوبة.

يعتبر إنزيم البولي فينول أكسيداز غير مقاوم للحرارة بدرجة كبيرة (Lourenco *et al.*, 1990, Yemenicioglu *et al.*, 1997, Weemaes *et al.*, 1998a) عند الضغط واعتماداً على مصدره، قد يتحسن النشاط التحفيزي لهذا الإنزيم أو يتم تثبيطه. تتباين الضغوط اللازمة لإحداث تثبيط هائل لهذا الإنزيم بين ٢٠٠ إلى ١٠٠٠ ميغا باسكال اعتماداً على مصدر الإنزيم والظروف البيئية الدقيقة مثل، تركيب المادة أو الـ pH (Weemaes *et al.*, 1998). بينما يكون هذا الإنزيم في بعض الفواكه مثل التفاح

والعنب، حساسا للضغط، نجد في أخرى مثل الكمثرى والبخارى، مقاوما للتشبيط بالضغط. قد يحمي الضغط المنخفض إنزيم البولي فينول أكسيداز من التشبيط الحراري ويعزز النشاط التحفيزي، على سبيل المثال، في حالة التفاح والكمثرى والبطاطس والفراولة (Weemaes *et al.*, 1998a).

بالنسبة لليوأكسجينينز، تتفاوت الثباتية الحرارية عند الضغط الجوي بدرجة كبيرة، اعتماداً على مصدر الإنزيم والوسط (Indrawati, 2000). تم إجراء دراسات مفصلة للتشبيط بالضغط لليوأكسجينينز الطماطم وفول الصويا والفاصوليا الخضراء والبالزلاء. ذكر أن الضغوط الحدية (threshold pressures) للتشبيط تتراوح في مدى ضيق بين ٤٠٠ و ٦٠٠ ميغا باسكال (Heinisch *et al.*, 1995, Ludikhuzyze *et al.*, 1998a, Tangwonchai, *et al.*, 1999, Indrawati *et al.*, 1999, Indrawati, 2000) لليوأكسجينينز الفاصوليا الخضراء والبالزلاء، تم تأسيس التصنيف الحركي التام (kinetic characterisation) لحركات التشبيط (inactivation kinetics) في حقل ضغط-حرارة (pressure-temperature domain) من ٠,١ إلى ٦٥٠ ميغا باسكال ومن ١٠ °م إلى ٨٠ °م. قدمت ملاحظة أن ثبات ضغط ليوأكسجينينز الفاصوليا الخضراء والبالزلاء ينخفض بزيادة تعقيد النظام (increasing system complexity)، وبمعنى آخر يتم التشبيط بصورة أسرع في السايو (*situ*) (في الخضروات الكاملة السليمة (in the intact vegetable) مقارنة بسرعة التشبيط في المستخلص الخام (crude extract) (Indrawati *et al.*, 2000). ولليوأكسجينينز فول الصويا في المقابل، تمت ملاحظة ثباتية/تحمل عالٍ للضغط في الحليب مقارنة بما له من ثباتية في محلول منظم (Seyderhelm *et al.*, 'buffer solution) (1996). وبطريقة مشابهة لإنزيم بولي فينول أكسيداز الأفاكادو (avocado PPO) وبكتين ميثايل استيريز (PME) البرتقال، تمت ملاحظة وجود أثر مضاد (antagonistic) بين

الضغط المنخفض ودرجة الحرارة العالية لليبواكسيجينز البازلاء. وفي حالة ليبواكسيجينز فول الصويا والفاصوليا الخضراء، لوحظ وجود أثر مضاد بين درجة الحرارة التي تقل عن ٣٠°م والضغط أعلى من ٥٠٠ ميجا باسكال (Ludikhuyze *et al.*, 1998b; Indrawati *et al.*, 1999).

ذكر أن إنزيم البكتين ميثايل استريز (PME) من فواكه مختلفة يكون مقاوماً للحرارة بدرجة كبيرة (quite thermoresistant): يتطلب تثبيطه تثبيطاً معنوياً، درجات حرارة تتراوح بين ٨٠-٩٠°م، وحتى بعد ذلك يبقى هذا الإنزيم نشطاً (Van den Broek, 2000). عزيت هذه المقاومة إلى وجود مشابهاة إنزيمية (isozymes) له لا تتحمل الحرارة (Labile) وأخرى ثابتة للحرارة (heat stable) (Wicker and Versteeg *et al.*, 1980; Temelli, 1998; Van den Broeck *et al.*, 2000b). أساساً، تم بحث ثباتية بكتين ميثايل استريز البرتقال، وبدرجة أقل بكتين ميثايل استريز الجريب فروت والجوافة والطماطم. تتفاوت الضغوط الحدية لتثبيط البكتين ميثايل استريز من مصادر مختلفة، وعلى درجة حرارة الغرفة، بدرجة كبيرة، من فقط ١٥٠ إلى ١٢٠٠ ميجا باسكال، اعتماداً على المصدر والوسط الذي تم التثبيط فيه (Van den Broeck, 2000). يحدث التثبيط بسرعة أكبر في الوسط الحامضي وتتم حماية الإنزيم بزيادة المواد الصلبة الذائبة (Ogawa *et al.*, 1990). ذكرت معظم الدراسات وجود عدم مقدرة على تثبيط إنزيم بكتين ميثايل استريز جزئياً، ويعزى هذا العجز إلى وجود المشابهاة الإنزيمية له والتي لها مقاومات مختلفة للضغط. كشف التصنيف الحركي لتثبيط بكتين ميثايل استريز من البرتقال في حقل مدى واسع للضغط (٠.١ - ٨٠٠ ميجا باسكال) ودرجة حرارة (١٥-٦٥°م) وجود أثر مضاد بسيط للضغط المنخفض ودرجة الحرارة العالية (Van den Broeck, *et al.*, 2000b).

وفي مقابل المقاومة الحرارية ، وجد أن بكتين ميثايل استريز الطماطم مقاوم للحرارة بدرجة تفوق مقاومة بكتين ميثايل استريز البرتقال لها، وكما تمت ملاحظة وجود أثر مضاد بالغ لدرجة الحرارة العالية والضغط في هذه الحالة. وعلى  $60^{\circ}\text{م}$ ، درجة الحرارة التي عندها يحدث التثبيط على الضغط الجوي العادي، فإن الضغط الذي يصل إلى  $700$  ميغا باسكال قد أوقف التثبيط تماماً. وعلى ضغط أعلى حدث التثبيط مرة أخرى بالرغم من أن معدل التثبيط ما زال أبطأ على  $900$  ميغا باسكال مقارنة مع سرعة التثبيط على الضغط الجوي العادي (Crelrier et al.,1995; Van Den Broeck et al.,2000a). وعند الضغط الجوي العادي وجد نشاط مثالي (طبيعي) على  $55^{\circ}\text{م}$ . أدى استخدام ضغط منخفض إلى زيادة نشاط إنزيم البكتين ميثايل إستيريز (PME) والذي بلغ حده الأقصى عند ضغط يتراوح بين  $100 - 200$  ميغا باسكال مع حرارة تبلغ  $60-65^{\circ}\text{م}$  (Van Den Broeck et al.,2000a).

إنزيم البيروكسيديز (POD) الذي بصورة عامة، يعتبر أكثر إنزيم في الخضراوات مقاوم للحرارة، هو أيضاً وعلى الأقل في بعض الحالات، مقاوم للضغط مقاومة شديدة. أحدث الضغط بمقدار  $900$  ميغا باسكال للفاصوليا الخضراء تثبيطاً بسيطاً لإنزيم البيروكسيديز (POD) على درجة حرارة الغرفة، بينما عزز جمع الضغط بمقدار  $600$  ميغا باسكال مع حرارة عالية، من الأثر المثبط للإنزيم (Quaglia et al.,1996). وجد كانو وآخرون (1997) (Cano et al., 1997) نتائج متناقضة وقد ذكروا زيادة تثبيط البيروكسيديز في صلصة الفراولة وعصير البرتقال على درجة حرارة الغرفة مع ضغط يصل إلى  $300-400$  ميغا باسكال، على التوالي، بينما على ضغط أعلى يقل النشاط مرة أخرى. على درجة حرارة من  $45^{\circ}\text{م}$ ، وجد انخفاض في النشاط عند كل الضغوط ( $400-500$  ميغا باسكال).

## (١٧,٦) التصنيع بالضغط العالي، جودة الفواكه والخضراوات

## HP processing: Fruit and Vegetable Quality

للتصنيع بالضغط العالي آثار متعددة على :

- القوام (texture).
- اللون (colour).
- النكهة (flavour).
- المحتوى الفيتاميني (vitamin content).

## (١٧,٦,١) القوام Texture

بصورة عامة ، يمكن استخدام ضغط يصل إلى ٣٥٠ ميغا باسكال على الأنظمة النباتية بدون إحداث أضرار واضحة على شامل القوام والتركيب (Knorr, 1995b). أوضحت دراسات عديدة أن معاملة الفواكه والخضراوات بالضغط ربما تحدث الصلابة أو الطراوة (Basak and Ramaswamy, 1998)، وتعتمد الأضرار على مستوى الضغط ووقت الضغط. بصورة عامة ، توضح منحنيات الطراوة أن التغيير في القوام والذي يسببه الضغط يحدث في مرحلتين : فقد مفاجئ نتيجة الفعل المتقطع للضغط يتبعه فقد إضافي في الاستعادة التدريجية خلال مرحلة مسك الضغط. عند ضغط منخفض (١٠٠ ميغا باسكال)، يكون التلين الفوري الضغطي (instantaneous pressure softening) بسبب ضغط التركيبات الخلوية بدون تمزيق ، بينما على ضغط أعلى (> ٢٠٠ ميغا باسكال) يتدهور/يتضرر القوام بدرجة كبيرة ويرجع هذا الضرر نتيجة لتمزق الأغشية الخلوية وبالتالي فقد ضغط الانتفاخ (turgor pressure). خلال وقت مسك الضغط (pressure holding)، ربما تتم الاستعادة التدريجية للقوام المتضرر تضررا فوريا، وقد تصبح بعض المنتجات أكثر صلابة من نظائرها الطازجة. وفي حالات عديدة، لا تحدث تطرية للخضراوات المعاملة بالضغط في خطوات الطبخ

اللاحقة ، ويعزى ذلك إلى فعل إنزيم البكتين ميثيل استيريز (PME) والذي قد تم تثبيطه فقط ، تثبيطاً جزئياً بالضغط. يسمح تمزق تراكيب الخلية المتزامن ، بتفاعل الإنزيم مع المادة البكتينية. وعليه ، عند نزع الاستر من بكتين جدار الخلية يمكن للبكتين أن يرتبط ارتباطاً عرضياً (crosslink) مع الأيونات ثنائية التكافؤ والذي يقود (الارتباط) إلى زيادة اكتناز (compactness) التركيب الخلوي.

### (١٧, ٦, ٢) اللون Colour

تمت ملاحظة أن معاملة منتجات فواكه وخضراوات عديدة مثل ، مربى الفاكهة والفراولة وعصير الطماطم وصلصة الجوافة وصلصة الأفوكادو وصلصة الموز ، بالضغط العالي وبدرجة كبيرة ، حافظت/لم تؤثر (تأثيراً سيئاً) على اللون الطازج (Watanabe *et al.*, 1991, Poretta *et al.*, 1995, Donsi *et al.*, 1996, Yen and Lin, 1996, Lopez-Malo *et al.*, 1998). وجد أن خصائص السطوع قيمة إل للون (L- brightness, colour value) والاحمرار-الأخضرار قيمة أ للون (redness-greenness, (a-color value)) للمنتجات المعاملة بالضغط ، أفضل (superior) مقارنة بهذه الخصائص لنظائرها المعاملة بالحرارة. وعلى أية حال ، انخفاض اللون الأخضر لصلصة الجوافة والموز تدريجياً ، خلال التخزين ، وذلك ، نتيجة للاسمرار الناتج بسبب نشاط إنزيم البولي فينول أكسيديز (PPO) المتبقي (Palou *et al.*, 1998; Lopez-Malo *et al.*, 1998). تحقق أطول وقت تخزين مقبول (longest acceptability storage time) باستخدام ضغط عالٍ و pH منخفض وتخزين على البارد. وأوضحت دراسة مفصلة حركية متعلقة بالأثر الجمعي لكل من الضغط ودرجة الحرارة على لون عصير البروكلي ، أن محتوى الكلوروفيل واللون الأخضر ؛ قيمة أ (a-value) كانا ثابتين حتى بعد معاملة استغرقت ٤ ساعات على ٨٠٠ ميغا باسكال و ٤٠°م. تمت ملاحظة وجود بعض التغيير في اللون فقط ، عندما تم الجمع بين ضغط عالٍ مع حرارة أعلى من ٥٠°م. تم وصف تحلل محتوى الكلوروفيل بنموذج

من المرتبة الأولى (first order model) والذي يكون فيه الكلوروفيل -أ (chlorophyll-a) أقل ثباتية من الكلوروفيل -ب (chlorophyll-b). ومن ناحية أخرى، تم وصف فقد اللون الأخضر بنموذج خطوات متعاقبة (consecutive step model)، لأن كلا نوعي الكلوروفيل تم تحويله إلى فيوفاييتين (pheophytin) ومن ثم إلى بايروفاييتين (pyropheophytin) (Van Loey et al, 1998; Weemaes et al, 1999).

### (١٧، ٦، ٣) النكهة Flavour

لمعظم عصائر الفواكه، تعود/تتحقق الفوائد المحتملة لاستخدام الضغط العالي، لحقيقة إمكانية المحافظة على نكهتها الطازجة (fresh flavour) أثناء معاملة الضغط. ذكر عدد من الباحثين أن محكمي الخواص الحسية المدربين (trained sensory panels) لم يقدروا على التفريق بين العصير الطازج والمعامل بالضغط المصنَّع من نفس المادة الخام (Ogawa et al., 1990; Watanabe et al., 1991; Bignon, 1996). وعلى أية حال، فقد تم تمييز عيوب نكهة الطماطم والبصل الناتجة بسبب المعاملة بالضغط: حيث كان للطماطم نكهة زنخة (rancid taste) بينما كانت رائحة البصل أقل كثافة (أقل قوة less intensely) وكأنها تقرب إلى نكهة البصل المقلبي (Butz et al., 1994, Poretta et al., 1995). في الحالة الأولى تعزى النكهة الزنخة إلى الزيادة الواضحة في إن-هيكسانال (n-hexanal) والذي يكون مسئولاً بدرجة كبيرة عن النكهة الطازجة للطماطم في تركيبات ١-٢ ملجم/ كجم. ولكن، التركيزات العالية منه تضيفي النكهة الزنخة للبصل، تعمل معاملة الضغط على إقلال الداى بروبايل سلفايد (dipropylsulphide)، وهو المركب المسئول عن مذاق الطماطم اللاذع (pungency) والرائحة المميزة للبصل الطازج، وكذلك يعمل الضغط على زيادة تركيبات ترانس بروبينيل داى سلفايد

(transpropenyldisulphide) و٣-٤ داي ميثايل ثيوفين (3-4 dimethylthiophene) والتي تقود إلى نكهة البصل المطبوخ أو المقلي (braised or fried onions).

#### (١٧، ٦، ٤) المحتوى الفيتاميني Vitamin Content

لاحظ بييجون (١٩٩٦) أن محتوى منتجات الفواكه والخضراوات من فيتامينات أ وج وب<sub>١</sub> وب<sub>٢</sub>، وهـ لا يتأثر بالمعاملة بالضغط بدرجة معنوية وهذا عكس المعاملة الحرارية. وجد أن نقص محتوى صلصة الفراولة والجوافة من فيتامين ج بعد المعاملة بالضغط (٤٠٠-٦٠٠ ميغا باسكال / ١٥-٣٠ دقيقة) وأثناء التخزين أقل بكثير مقارنة بالمنتجات الطازجة (سانكو وآخرين، ١٩٩٩) (Sancho et al., 1999). تم إنجاز دراسة حركية مفصلة لثباتية حمض الأسكوربيك للضغط-الحرارة في محلول منظم وعصير برتقال وعصير طماطم بواسطة (فان دي بروك وآخرين، ١٩٩٨). وجدوا فقط تحللاً معنوياً لحمض الأسكوربيك عندما كان الضغط حوالي ٨٥٠ ميغا باسكال مجموعاً مع الحرارة بين ٦٠-٨٠°م وكان ذلك أكثر في عصير الطماطم والبرتقال مقارنة مع المحلول المنظم. وبالإضافة للفيتامينات، بعض الدراسات القليلة تناولت الخصائص الصحية الأخرى مثل السمية ومضادات الطفريات. تتميز الفواكه والخضراوات مثل الجزر والقرنبيط والكرنب الساقى والكراث والسبانخ بأن لها قوى كامنة كمضادات للطفريات والذي وجد أنها حساسة للحرارة ولكن ليست هي كذلك بالنسبة للضغط. تأثر النشاط المضاد للطفريات في البنجر والطماطم فقط عند استخدام ظروف عالية جداً، أي في حدود ٦٠٠ ميغا باسكال / ٥٠°م أو ٨٠٠ ميغا باسكال / ٣٥°م (يوتز وآخرون، ١٩٩٧).

#### (١٧، ٧) الجمع بين التصنيع بالضغط العالي وتقنيات الحفظ الأخرى: حالة الفاكهة

##### Combining PH Processing with Other preservation Techniques: the Case of Fruit

الصفة المشتركة في أكثر الفواكه هي أن لها pH منخفضاً وحموضة عالية. وعلى الرغم من أن معظم أنواع البكتيريا يتم تثبيطها بتركيز أيون الهيدروجيني الناتج، إلا أن

بكتريا حمض اللاكتيك والخمائر والأعفان تكون مقاومة للحموضة ووجد الكثير أن هذه القيم من pH تكون محتملة لها إن لم تكن مثلى للنمو. ونظراً للحموضة فعليه نجد أن الفطريات وبكتريا حمض اللاكتيك هي الأحياء الدقيقة المسببة للفساد بشكل رئيس للفواكه ومنتجاتها. استخدام تقنية الضغط العالي هي الطريقة المفيدة والتي لها فعالية كبيرة في المساعدة على تثبيط بكتريا الفساد والتحكم في النشاط الإنزيمي. وعلى أية حال، وكما تمت الإشارة سابقاً فإنه ليس بالإمكان الاستغناء عن البسترة أو التعقيم للأغذية المنخفضة الحموضة باستخدام الضغط العالي وعلى سبيل المثال فإنه بالإمكان ذلك عندما تدمج مع تقنيات حفظ أخرى والتي تحفز التثبيط. هذه مثل الحرارة، المواد المضادة للميكروبات، الموجات فوق الصوتية، التشعيع، والتي بالإمكان دمجها مع الضغط العالي. مثل هذه الطرق لا تساعد فقط في تسريع معدل التثبيط بل هي مفيدة أيضاً في تقليل مستوى الضغط، وبالتالي تقليل التكلفة من خلال إزالة المشاكل التجارية المتعلقة بالضرر تحت القتلي ومحدودية النجاة.

ومثال على ذلك، تقترح دراسات تم إجراؤها على المتبقي من نشاط إنزيم البولي فينول أوكسيداز (PPO) في صلصات الفواكه بعد معاملتها بالضغط العالي أن التثبيط للتفاعلات الإنزيمية غير المرغوبة مثل الاسمرار، يتطلب الدمج مع البسترة مع واحدة أو أكثر من عوامل إضافية مثل الانخفاض في pH، السلق، أو التبريد لتثبيط (أو على الأقل التقليل معنوياً) للنشاط الإنزيمي (لوبيز-مالو وآخرون، ١٩٩٨) بالو وآخرون، ٢٠٠٠؛ لوبيز-مالو وآخرون ٢٠٠٠) (Lopes-Malo et al, 1998, Palou et al, 2000, Lopes-Malo et al, 2000). وتقترح بحوث أخرى أن السلق على سبيل المثال مهم جداً للمعاملة بالضغط للفواكه والخضراوات للحد من التفاعلات الإنزيمية والتأكسدية (هوفر، ١٩٩٣) (Hoover, 1993). أظهرت دراسة على أثر السلق والمعاملة

بالضغط العالي على إنزيم (PPO) في صلصة الموز المضبوطة على pH ٣,٤ ونشاط مائي ٠,٩٧، أن نشاط إنزيم (PPO) قل خلال السلق بالبخار وقل أكثر بعد المعاملة بالضغط العالي (بالو وآخرون، ١٩٩٩a).

الدور الجوهري للتصنيع بالضغط العالي هو تقليل حدة أو شدة ظروف التصنيع بالطرق التقليدية المستخدمة في حفظ الأغذية. استخدام الضغط العالي مع دجه بحرارة متوسطة له فوائد معتبرة، (بالو وآخرون ١٩٩٩b؛ لوبيز-مالو وآخرون، ٢٠٠٠). بالإمكان زيادة الأثر المضاد للميكروبات للضغط العالي بالحرارة، الانخفاض في pH، CO<sub>2</sub>، الأحماض العضوية، والبكتريوسينات مثل النيسين (بالو وآخرون، ١٩٩٧a، ١٩٩٧b، ١٩٩٧c).

أشار باينييو وآخرون (١٩٩١) وبوبر وكنور (١٩٩٠) إلى أنه بالإمكان زيادة الأثر التثبيطي للأحياء الدقيقة بفعل الضغط مع بعض مع المواد المضافة مثل حمض الأسيتيك والبنزويك والسوربيك والكبريت وبعض البولي فينولات والتشيتوسان (Chitosan). أتاحت هذه المعاملة تقليل التعرض للضغط المستخدم والحرارة أو الزمن. تم اقتراح أن بعض المواد الحافظة يتعزز نشاطها عندما تستخدم مع المعاملة بالضغط العالي وبعضها الآخر ربما يكون تأثيرها عكسياً (توشر، ١٩٩٥، بالو وآخرون ١٩٩٧a). استخدام الضغط العالي كواحد من التقنيات المتعاقبة يدعم - على سبيل المثال- التقليل من الاعتماد على الكبريت كمركب مضاد للاسمرار والنمو الميكروبي. وأيضاً تم اقتراح أنه بالإمكان تحسين فعالية الضغط العالي في التثبيط الإنزيمي بتطبيق دورات ضغط. أدت التطبيقات الناتجة لمعاملات الضغط العالي إلى التثبيط العالي للعديد من الإنزيمات (هندركس وآخرون، ١٩٩٨)

(Hendrickx et al, 1998). النشاط الإنزيمي بعد العمليات المتعددة كان أقل من عملية واحدة لنفس الفترة الكلية (لوديكهيز وآخرون، ١٩٩٧).

توضح أمثلة عديدة التطبيق المفيد للمعاملة بالضغط العالي. قيم لوييز- مالو وآخرون (١٩٩٩) أشارت للمعاملة بالضغط العالي على ٣٤٥، ٥١٧ أو ٦٨٩ ميغا باسكال لمدة ١٠، ٢٠، ٣٠ دقيقة على pH ابتدائي ٣,٩، ٤,١، ٤,٣ على نشاط إنزيم (PPO)، اللون والتشيط الميكروبي في صلصة الأفوكادو وخلال التخزين على ٥، ١٥، ٢٥ م. كان العد القياسي، بالإضافة لعد الخمائر والأعفان للصلصة المعاملة بالضغط العالي أقل من ١٠ وحدة مكونة للمستعمرات في الجرام (10 cfu/g) خلال ١٠٠ يوم من التخزين على ٥، ١٥، أو ٢٥ م. تم الحصول على متبقي من (PPO) معنوياً أقل ( $P \leq 0.05$ ) مع زيادة الضغط وتقليل pH الابتدائي حافظت صلصة الأفوكادو والتي لها متبق  $PPO > 4.5\%$  وتم تخزينها على ٥ م على لون مرغوب لمدة لا تقل عن ٦٠ يوماً وكانت لها فترة صلاحية ٣٥ يوماً عندما تم تخزينها على ١٥ م.

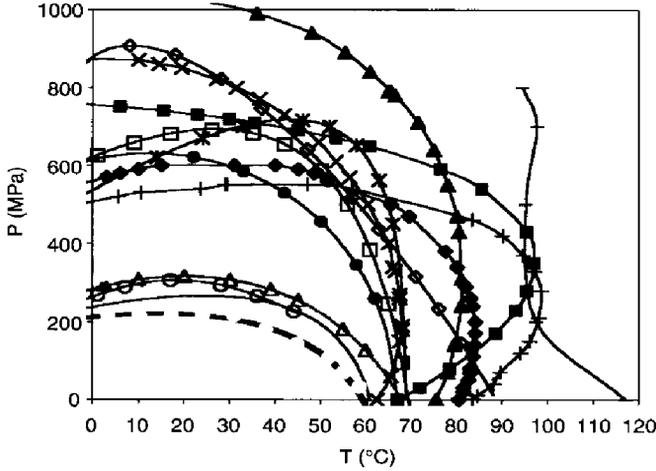
حلل بالو وآخرون (٢٠٠٠) آثار المعاملة بالضغط المستمرة والمتذبذب على الجواكامول (guacamole). تم الحصول معنوياً ( $P < 0.05$ ) على نشاط متبق أقل من PPO و LOX بزيادة وقت المعاملة وعدد دورات الضغط - وإزاحة الضغط. بالنسبة ل LOX تم تشيطه بمدة ١٥ دقيقة لمعاملة مستمرة لضغط عالٍ متذبذب. تم الحصول على الكمية الأقل من قيمة نشاط PPO بعد ٤ حلقات من الضغط العالي على ٦٨٩ ميغا باسكال ولمدة ٥ دقائق كفترة مسك في كل حلقة. العدد القياسي وعد الخمائر والأعفان للجواكامول المعامل بالضغط العالي أقل من ١٠ وحدة مكونة للمستعمرات / جرام. لم تختلف القابلية الحسية واللون معنوياً ( $P > 0.05$ ) للجواكامول المعامل بالضغط العالي مقارنة بالكنترول (العينة الضابطة). الاستمرار خلال التخزين كان مرتبطاً أساساً

بالتغيرات في قيمة الهيو (hue) والمتعلقة بالانخفاض في الاخضرار المساهم في اللون. تم الحصول على فترة صلاحية لمدة ٢٠ يوماً على أقل من ١٥°م.

### (١٧,٨) الاتجاهات المستقبلية

#### Future Trends

أشارت معظم المقالات العلمية إلى الإمكانيات الكبيرة للضغط العالي كعامل هام غير حرارية بديلة في التصنيع الغذائي والحفظ والتي تسمح أكثر بالاحتفاظ بخواص الجودة المختلفة مثل اللون، النكهة، القيمة الغذائية. وعلى أية حال، المعلومات الكمية لفعاليتها ومأمونيتها تبقى محدودة. وعلى أية حال أيضاً، فقد أنتجت الدراسات الحركية النظامية تطوير نماذج التثبيط لبعض الإنزيمات والأحياء الدقيقة المفسدة للأغذية (Sonoike et al., 1992, Hashizume et al., 1995, Ludikhuyze et al., 1998b, Weemas, 1998, Van Loey et al., 1998, Indrawati, 2000, reyns et al., 2000, Van den Broek, 2000). يظهر الشكل رقم (١٧,١) دراسة لحالة نظرية والتي تجمع معلومات عن حركيات الضغط-الحرارة لبعض خصائص جودة الأغذية المتعلقة بالإنزيمات (PPO, LOX, PME and ALP) والتثبيط الميكروبي وتحلل الكلوروفيل. وعلى النقيض، للإنزيمات المختلفة، تنبع الأحياء الدقيقة الخضرية اتجاهات متشابهة والذي يقترح أن الإنزيمات في العموم أكثر مقاومة من الأحياء الدقيقة الخضرية للمعاملات بالضغط- الحرارة. يقترح هذا النموذج أن جودة الأغذية متعلقة بالإنزيمات أكثر وربما تكون حرجة في تعريف المعاملات بالضغط العالي المثلى. ويمكننا أن نرى أيضاً، الجمع بين الضغط-الحرارة ينتج تثبيطاً كافياً للأحياء الدقيقة والإنزيمات المفسدة للغذاء، بينما المحتوى من الكلوروفيل يكون الأثر به محدوداً. وهذا يدعم الرأي القائل بأن أثر المعاملة بالضغط يكون محدوداً على الجودة الغذائية والحسية.



الشكل رقم (١٧, ١). المحاكاة المجمعة للضغط - الحرارة المنتجة لخفض ست حلقات لوغاريشمية للأحياء الدقيقة، خفض بمقدار ٩٠% في النشاط، الإنزيمي، الفقد في ٩٠% من الكلورفيل بعد ١٥ دقيقة كوقت معاملة: PPD (▲)، ALP (■) BSAA (◇)، LOX للبازلاء في سيتو (+)، LOX في العصير (◆)، LOX للفاصوليا الخضراء في سيتول (●)، LOX للفاصوليا الخضراء في العصير (□)، LOX لفول الصويا (◐)، PME (×)، المحتوى الكلي للكلورفيل (-)، الخمائر (△)، Z.bailli (O) < casei، E.coli (—) (---).

يزودنا هذا النوع من الطرق الحركية النظامية بطريق للأمام في الأبحاث المستقبلية. حقيقة، هذا النوع من المعلومات الحركية للتشبيط الميكروبي والإنزيمي وبمجمعه مع المعلومات الكمية حول أثر الضغط على الجودة الحسية والغذائية يكون ضرورياً للموافقة التشريعية (Food and Drug Administration (FDA) Approval in the USA, Novel Food regulations in the EU). كذلك يحتاج موضوع المركبات المسببة للسمية أو الحساسية في المنتجات الغذائية المعاملة بالضغط إلى مزيد من البحوث. سيسهم التطوير في الحقول السابقة في المستقبل في تطبيق هذه التقنية على مستوى أكبر تجارياً.

## (١٧، ٩) المراجع

## References

- BASAK S and RAMASWAMY H S (1998) 'Effect of high pressure processing on texture of selected fruit and vegetables', *J Text Stud*, **29** 587-601.
- BENITO A, VENTOURA G, CASADEI M, ROBINSON T and MACKEY B (1999) 'Variation in resistance of natural isolates of *Escherichia coli* 0157 to high hydrostatic pressure, mild heat and other stresses', *Appl Environ Microbiol*, **65** 1564-9.
- BIGNON J (1996) 'Cold pasteurizers Hyperbar for the stabilization of fresh fruit juices', *Fruit Processing*, 2 46-8.
- BUTZ P, KOLLER D and TAUSCHER B (1994) Ultra-high pressure processing of onions: chemical and sensory changes, *Lebensm - Wiss u- Technol*, **27** 463-7.
- BUTZ P, EDEN HARDER R, FISTER H and TAUSCHER B (1997) The influence of high pressure processing on antimutagenic activities of fruit and vegetable juices, *Food Res Int*, **30** (3/4) 287-91.
- CANO M P, HERNANDEZ A and DE ANCOS (1997) High pressure and temperature effects on enzyme inactivation in strawberry and orange products, *J Food Sci*, **62**, 85-8.
- CHEFTEL, J C (1997) 'Commercial pressurized foods in Japan', in *High Pressure Food Science, Bioscience and Chemistry*, ed Isaacs N S, Cambridge, Royal Society of Chemistry, 506-7.
- CRELIER S, TACHE M-C, RENKEN A and RAETZ E (1995) High pressure for the inactivation of enzymes in food products, *Poster presentation at the 9th World Congress on Food Science and Technology*, July 31-August 4, Budapest, Hungary.
- DONSI G, FERRARI G and DI MATTEO M (1996) High pressure stabilization of orange juice: evaluation of the effects of process conditions, *Ital J Food Sci*, 2 99-106.
- EARNSHAW R G (1992) 'High pressure technology and its potential use', in *Food Technology*, ed Turner A, London, International Europe, Sterling Publications International, 85-8.
- GARCIA-GRAELLS C, HAUBEN K and MICHIELS C W (1998) 'High pressure KIMURA Y and HAYASHI R (1995) 'Kinetic analysis of yeast inactivation by high pressure treatment at low temperatures', *Biosci Biotech Biochem*, **59** 1455-8.
- HAUBEN K J, WUYTACK E Y, SOONTJENS C C and MICHIELS C W (1997) High pressure transient sensitisation of *Escherichia coli* to lysozyme and nisin by disruption of outer membrane permeability, *J Food Technol*, **59** 350-5.
- HEINISCH O, KOWALSKI E, GOOSSENS K, FRANK J, HEREMANS K, LUDWIG H and TAUSCHER B (1995) Pressure effects on the stability of lipoxygenase: Fourier transform-infrared spectroscopy (FT-IR) and enzyme activity studies, *Z Lebensm Unters Forsch*, **201** 562-5.
- HEINZ V (1997) *Wirkung hoher hydrostatischer Driicke auf das Absterbe- und Kiemungsverhalten sporenbildender Bakterien am Beispiel von Bacillus subtilis ATCC 9372*, PhD dissertation, Technische Universit, Berlin.
- HENDRICKX M, LUDIKHUYZE L, VAN DEN BROECK I and WEEMAES C (1998) Effects of high pressure on enzymes related to food quality, *Trends Food Sci Technol*, **9** 197-203.
- HOOGLAND H (2001) 'High pressure sterilisation: novel technology, new products and new opportunities', *New Food* **1** (4) 21-6.

- HOOVER D G (1993) Pressure effects on biological systems, *Food Technol*, 47 (6) 150-5.
- INDRAWATI (2000) *Lipoxygenase Inactivation by High Pressure Treatment at Subzero and Elevated Temperatures: a Kinetic Study*, PhD dissertation, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
- INDRAWATI, VAN LOEY A M, LUDI KHUYZE L R and HENDRICKX M E (1999) Soybean lipoxygenase inactivation by pressure at subzero and elevated temperatures, *J Agric Food Chem*, 47 2468-74.
- KNORR D (1995a) 'Hydrostatic pressure treatment of food: microbiology', in *New Methods of Food Preservation*, ed Gould G, London, Blackie Academic and Professional, 159-75.
- KNORR D (1995b) 'High pressure effects on plant derived foods', in *High Pressure Processing of Foods*, eds Ledward D A, Johnston D E, Earnshaw R G and Hasting A P M, Nottingham University Press, Loughborough, 123-35.
- KREBBERS B, MATSER A, KOETS M, BARTELS P and VAN DEN BERG R (2001) 'High pressure-temperature processing as an alternative for preserving basil', *Poster presentation in 'XXXIX European High Pressure Research Group Meeting'*, Santander (Spain), 16-19 September 2001.
- LARSON W P, HARTZELL T B and DIEHL H S (1918) The effect of high pressure on bacteria, *J Infect Dis*, 22 271-9.
- LOPEZ-MALO A, PALOU E, BARBOSA-CANOVAS G V, WELTI-CHANES J and SWANSON B G (1998) Polyphenoloxidase activity and color changes during storage of high hydrostatic pressure treated avocado puree, *Food Res Int*, 31 (8) 549-56.
- LOPEZ-MALO A, PALOU E, BARBOSA-CANOVAS G V, WELTI-CHANES J and SWANSON B G (1999) Polyphenoloxidase activity and color changes during storage of high hydrostatic pressure treated avocado puree, *Food Res Int*, 31 549-56.
- LOPEZ-MALO A, PALOU E, BARBOSA-CANOVAS G V, SWANSON B G and WELTI-CHANES J (2000) 'Minimally processed foods and high hydrostatic pressure', in *Current Trends in Food Engineering*, eds Lozano J, Anon C, Parada-Aria E and Barbosa-Canovas G V, Gaithersburg MD, Aspen Publishers, 267-86.
- LOUREN90 E J, DE SOUZA LEO J and NEVES V A (1990) Heat inactivation and kinetics of polyphenoloxidase from palmito (*Euterpe edulis*), *J Sci Food Agric*, 52 249-59.
- LUDI KHUYZE L, VAN DEN BROECK I, WEEMAES C A and HENDRICKX M E (1997) Kinetic parameters for pressure temperature inactivation of *Bacillus subtilis*  $\alpha$ -amylase under dynamic conditions, *Biotechnol Prog*, 13 617-23.
- LUDI KHUYZE L, INDRAWATI, VAN DER BROECK I, WEEMAES C and HENDRICKX M (1998a) Effect of combined pressure and temperature on soybean lipoxygenase: I. Influence of extrinsic and intrinsic factors on isobaricothermal inactivation kinetics, *J Agric Food Chem*, 46 4074-80.
- LUDI KHUYZE L, INDRAWATI VAN DER BROECK I, WEEMAES C and HENDRICKX M (1998b) Effect of combined pressure and temperature on soybean lipoxygenase: II. Modeling inactivation kinetics under static and dynamic conditions, *J Agric Food Chem*, 46 4081-6.
- MALLIDIS C G and DRIZOU D (1991) Effect of simultaneous application of heat and pressure on the survival of bacterial spores, *J Appl Bacteriol*, 71 285-8.
- MANVELL C (1996) 'Opportunities and problems in minimal processing', Paper presented at *EFFOST Conference on Minimal Processing*, Cologne, November.
- MERTENS B (1995) 'Hydrostatic pressure treatment of food: equipment and processing', in *New Methods of Food Preservation*, ed Gould G W, London, Blackie Academic and Professional, 135-58.

- MEYER R S, COOPER K L, KNORR D and LELIEVELD H L M (2000) 'High-pressure sterilization of foods', *Food Technol*, **54** (11) 67-72.
- MILLS G, EARNSHAW R and PATTERSON M F (1998) Effects of high hydrostatic pressure on *Clostridium sporogenes* spores, *Left Appl Microbiol*, **26** 227-30.
- OGAWA H, FUKUHISA K, KUBO Y and FUKUMOTO H (1990) Pressure inactivation of yeasts, moulds and pectinesterase in satsuma mandarin juice: effects of juice concentration, pH and organic acids and comparison with heat sanitation, *Agric Biol Chem*, **54** 1219-25.
- PALOU E, LOPEZ-MALO A, BARBOSA-CANOVAS G V, WELTI-CHANES J and SWANSON B G (1997a) High hydrostatic pressure as a hurdle for *Zygosaccharomyces bailii* inactivation, *J Food Sci*, **62** 855-7.
- PALOU E, LOPEZ-MALO A, BARBOSA-CANOVAS G V, WELTI-CHANES J and SWANSON B G (1997b) Effect of water activity on high hydrostatic pressure inhibition of *Zygosaccharomyces bailii*, *Left Appl Microbiol*, **24** 17-20.
- PALOU E, LOPEZ-MALO A, BARBOSA-CANOVAS G V, WELTI-CHANES J and SWANSON B G (1997c) Kinetic analysis of *Zygosaccharomyces bailii* inactivation by high hydrostatic pressure, *Lebensm - Wiss u - Technol*, **30** 703-8.
- PALOU E, LOPEZ-MALO A, BARBOSA-CANOVAS G V, WELTI-CHANES J and SWANSON B G (1999a) Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree, *J Food Sci*, **64** 42-5.
- PALOU E, LOPEZ-MALO A, BARBOSA-CANOVAS G V and SWANSON B G (1999b) High pressure treatment in food preservation, in *Handbook of Food Preservation*, ed Rahman M S, New York, Marcel Dekker, 533-76.
- PALOU E, HERNANDEZ-SALGADO C, LOPEZ-MALO A, BARBOSA-CANOVAS G V, SWANSON B G and WELTI J (2000) High pressure-processed guacamole, *Innovative Food Sci Emerg Technol*, **1** 69-75.
- PAPINEAU A M, HOOVER H G, KNORR D and FARKAS D F (1991) Antimicrobial effect of water-soluble chitosans with high hydrostatic pressure, *Food Biotechnol*, **5** 45-57.
- POPPER L and KNORR D (1990) Applications of high-pressure homogenization for food preservation, *Food Technol*, **44** 84-9.
- PORETTA S, BIRZI A, GHIZZONI C and VICINI E (1995) 'Effects of ultra-high hydrostatic pressure treatments on the quality of tomato juice', *Food Chem*, **52** 35-41.
- QUAGLIA G B, GRAVINA R, PAPERI R and PAOLETTI F (1996) Effect of high pressure treatments on peroxidase activity, ascorbic acid content and texture in green peas, *Lebensm -Wiss u -Technol*, **29** 552-5.
- REYNS K M, SOONTJES C C, CORNELIS K, WEEMAES C A, HENDRICKX M E and MICHIELS C W (2000) Kinetic analysis and modelling of combined pressure-temperature inactivation of the yeast *Zygosaccharomyces bailii*, *J Food Microbiol* **56** 199-210.
- ROBERTS C M and HOOVER D G (1996) Sensitivity of *Bacillus coagulans* spores to combinations of high hydrostatic pressure, heat, acidity and nisin, *J Appl Bacteriol*, **81** 363-8.
- SALE A J H, GOULD G W and HAMILTON W A (1970) Inactivation of bacterial spores by hydrostatic pressure, *J Gen Microbiol*, **60** 323-34.
- SANCHÓ F, LAMBERT Y, DEMAZEAU G, LARGETEAU A, BOUVIER J-M and NARBONNE J-F (1999) Effects of ultra-high hydrostatic pressure on hydro soluble enzymes, *J Food Eng*, **39** 247-53.
- SEYDERHELM I, BOGULAWSKI S, MICHAELIS G and KNORR D (1996) Pressure induced inactivation of selected food enzymes, *J Food Sci*, **61** 308-10.

- SOJKA B and LUDWIG H (1994) Pressure-induced germination and inactivation of *Bacillus subtilis* spores, *Pharm Ind*, 56 660-3.
- SOJKA B and LUDWIG H (1997) Release of dipicolinic acid and amino acids during high pressure treatment of *Bacillus subtilis* spores, *Pharm Ind*, 59 355-9.
- SONOIKE K, SET OYAMA T, KUMA Y and KOBAYASHI S (1992) 'Effect of pressure and temperature on the death rates of *Lactobacillus casei* and *Escherichia coli*', in *High Pressure and Biotechnology*, Colloque Inserm, Volume 224, John Libbey Eurotext, ontrouge, 297-301.
- TANGWONCHAI R, LEDWARD D A and AMES J M (1999) 'Effect of high pressure on lipoxygenase activity in cherry tomatoes', in *Advances in High Pressure Bioscience and Biotechnology*, ed Ludwig H, Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg, 435-8.
- TAUSCHER B (1995) Pasteurization of food by hydrostatic pressure: Chemical aspects, *Z Lebensm Unters Forsch*, 200 3-13.
- VAN DEN BROECK I (2000) *Kinetics of Temperature and Pressure Inactivation of Pectinesterase from Oranges and Tomatoes*, PhD dissertation, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
- VAN DEN BROECK I, LUDI KHUYZE L, WEEMAES C, VAN LOEY A and HENDRICKX M (1998) 'Kinetics of isobaric-isothermal degradation of L-ascorbic acid', *J Agric Food Chem*, 462001-6.
- VAN DEN BROECK I, LUDI KHUYZE L R, VAN LOEY A M and HENDRICKX M E (2000a) Effect of temperature and/or pressure on tomato pectinesterase activity, *J Agric Food Chem*, 48551-8.
- VAN DEN BROECK I, LUDI KHUYZE L R, VAN LOEY A M and HENDRICKX M E (2000b) Inactivation of orange pectinesterase by combined high pressure and temperature treatments: a kinetic study, *J Agric Food Chem*, 48 1960-70.
- VAN LOEY A, OOMS V, WEEMAES C, VAN DEN BROECK I, LUDI KHUYZE L, INDRAWATI, DENYS S and HENDRICKX M (1998) Thermal and pressure-temperature degradation of chlorophyll in broccoli (*Brassica oleracea L. italica*) juice: a kinetic study, *J Agric Food Chem*, 46 5289-94.
- VERSTEEG C, ROMBOUTS F M, SPAANSEN C H and PILNIK W (1980) Thermostability an orange juice cloud destabilizing properties of multiple pectinesterases from orange, *J Food Sci*, 45 969-71.
- WATANABE M, ARAI E, KUMENO K and HOMMA K (1991) A new method for producing non-heated jam sample: the use of freeze concentration and high pressure sterilisation, *Biol Chem*, 55 (8) 2175-6.
- WEEMAES C (1998) *Temperature and/or Pressure Inactivation of Polyphenoloxidases for Prevention of Enzymatic Browning in Foods: a Kinetic Study*, PhD dissertation, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
- WEEMAES C, LUDI KHUYZE L R, VAN DEN BROECK I, HENDRICKX M E and TOBBACK P P (1998a) Activity, electrophoretic characteristics and heat inactivation of polyphenoloxidases from apples, avocados, grape, pears and plums, *Lebensm -Wiss u -Technol*, 3144-9.
- WEEMAES C, LUDI KHUYZE L R, VAN DEN BROECK I and HENDRICKX M E (1998b) Effect of pH on pressure and thermal inactivation of avocado polyphenoloxidase: a kinetic study, *J Agric Food Chem*, 46 2785-92.
- WEEMAES C, OOMS V, INDRAWATI, LUDI KHUYZE L R, VAN DEN BROECK I, VAN LOEY A and HENDRICKX M E (1999) Pressure-temperature degradation of green color in broccoli juice, *J Food Sci*, 64 504-8.

- WICKER L and TEMELLI F (1988) 'Heat inactivation of pectinesterase in orange juice pulp', *J Food Sci*, 53 162-4.
- WUYTACK E Y (1999) *Pressure-induced Germination and Inactivation of Bacillus subtilis Spores*, Pill dissertation, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
- YEMENICIOGLU A, OZKAN M and CEMEROGLU B (1997) Heat inactivation kinetics of apple polyphenoloxidase and activation of its latent form, *J Food Sci*, 62 508-tO.
- YEN G-C and LIN H-T (1996) Comparison of high pressure treatment and thermal pasteurisation effects on the quality and shelf life of guava puree, *Int J Food Sci Technol*, 31 205-13.