الفصل السابع عشر

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 Uiversiteit Leuve

(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 لبسطره 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.

obeikandl.com

الجدول رقم (١٧,١). أمثلة حديثة للتصنيع بالضغط العالي لمنتجات الفواكه (مأخوذ من شفيتل، ١٩٩٧).

الشركة	المنتج	الضغط/ الحرارة/ الوقت/ التوليفة	دور الضغط العالي
اليابان ميدي-يا Meidi-ya	المنتجات المعتمدة على الفاكهة (PHC4.S) المربى (التفاح، الكيوي، الفراولة)، الجلي، الصلصة، الزبادي، الصوص	٤٠٠ ميجا باسكال، ١٠ إلى ٣٠ دقيقة، ٢٠°م	البسترة، تحسين لحالة الجلي، تخلل للسكر أسرع، الحد من متبقي نشاط إنزيم بكتين ميثيل أستريز
بوكا كورب (توقفت في عام ١٩٩٨ Pokka corp. (ceased in 1998	عصير الجريب فروت	٢٠٠ ميجا باسكال، ١٠-١٥ دقيقة ٥°م	تقليل المرارة
وكايما فود إند Wakayma food Ind.	عصير المندرين (محصول الشتاء فقط) (فقط ٢٠% من العصير المعامل بالضغط في خليط العصير النهائي	٣٠٠-٤٠٠ ميجا باسكال، ٢-٣ دقيقة ٢٠°م	تقليل رائحة سلفايدالداي ميثيل، تقليل التحلل الحراري للميثيل، تقليل التحلل الحراري للميثيل ميثوثين سلفوكسيد، إحلال البسترة الحرارية الأولية (بعد استخلاص العصير) والبسترة النهائية قبل التعبئة، ٩٠°م، ٣ دقائق
الأغذية الناعمة Nisshin fine foods	الفواكه الاستوائية المشربة بالسكر (محفوظة على ١٨°م بدون تجميد) للسوربيت والآيس كريم	٥٠-٢٠٠ ميجا باسكال	اختراق أسرع للسكر وإزالة للماء
كيوبي كوري QP Corp.	تجميد تكون البكتريا كأنوية (لعصير الفاكهة والحليب)	–	تثبيط الزانثوموناس، عدم فقد خصائص الأنوية الثلجية
إهيم كو Ehime co.	عصير المندرين البابني	–	البسترة الباردة
تاكانسي Takansi	عصير الفاكهة	–	البسترة الباردة
يون (اختبر سوقياً في ٢٠٠٠) Ponlqert (market in 2000)	عصير البرتقال	–	–
أوربا Europ			
بامبريل (فرنسا) Pampryl (France)	عصير الفاكهة (البرتقال، الحريب فروت، الحمضيات، عصير الفواكه المشكلة)	٤٠٠ ميجا باسكال، درجة حرارة الغرفة	تثبيت الفلورا حتى ١٠^٦ مستعمرة ميكروبية/ جرام، تثبيط جزئي للبكتين ميثيل، ستريز
أورثاد هاوس فودر لتيد بريطانيا Orchard Hows Food Ltd (UK)	عصير البرتقال المعصور		تثبيط الفلورا الطبيعية والإنزيمات والحفاظ على الطعم الطبيعي
أمريكا أيفومكس USA Avomex	عجينة الأفوكادو (جوا كامول، صلصلة التوبوتل والصلصة) والقطع	٧٠٠ ميجا باسكال، ١٠-١٥ دقيقة ٢٠°م	تثبيط الأحياء الدقيقة، تثبيط إنزيم البولي فينول، أوكسيديز، والتصنيع المبرد

obeikandl.com

التصنيع بالضغط العالي ليس بعملية حرارية (non-thermal)، من ناحية المبدأ وحتى لو ارتفع الضغط من نفسه (دون محاولة رفعه صناعيًّا قصداً)، فقد يسبب ارتفاع درجة الحرارة بدرجة بسيطة. يؤثر الضغط العالي على كل التفاعلات والتغيرات التركيبية إذ ما كان للتغير في الحجم دورٌ 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 ميجا باسكال(300 MPa) على درجة حرارة الجو العادية(ambient temperature)، بينما يتطلب تثبيط الجراثيم قيم ضغط أعلى بكثير (٦٠٠ ميجا باسكال أو أكثر) مع حرارة مرتفعة قد تصل إلى ٦٠-٧٠°م. تثبط إنزيمات محددة على ٣٠٠ ميجا باسكال بينما يصعب تثبيط أخرى بالمرة وعلى أي مدى ضغط يتوافر حتى اليوم. في هذا السياق، يعتبر مستوى الرطوبة عاملا هاما جداً، إذ إن هناك أثرا بسيطا يمكن ملاحظته عند محتوى رطوبة أقل من٤٠٪.

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 ويمكّن من التعقيم بضغوط أقل مقارنة بالضغط المستمر. قد تنبت (تنمو) الجراثيم بمدى ضغوط بسيطة تتراوح من ٥٠ إلى ٣٠٠ ميجا باسكال، نموا كبيرا، وتتأثر تأثراً 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 ميجا باسكال وفي أقل من ٣٠ ثانية وأساسا 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 المرضات 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 presure vessel and its closure) .
- نظام لتوليد الضغط(pressure generation system) .
- جهاز للتحكم في درجة الحرارة(a temperature control device.
- نظام تداول للمواد (a materials handling system) (Mertens, 1995).

تصنع معظم أوعية الضغط من (خليط من المعادن) من الفولاذ عالي القابلية للشد(a high tensile steel alloy) (مونوبلوكس، أحادى 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 ذت طبقات متعددة مشدودة مسبقا، أو مربوطة بسلك معدني (prestressed multilayer or wire-wound vessels) (Mertens, 1995). 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 مرضيا/مقبولا 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 نسبيا (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 ميجا باسكال)، فهناك ضغط شديد وتشويه للعبوة واللحام عندما يستخدم التصنيع في أوعية. أكياس

البلاستيك ورقائق الألمونيوم 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). و يتم 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: ميتسوبيشي 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 Engineesing Pressure systems International) في أوروبا وأمريكا.

تتوافر غرف ضغط لتصنيع الأغذية بطاقة ٥٠٠ لتر كحجم وباستخدام ضغط يصل إلى ٨٠٠ ميجا باسكال. ولأسباب تتعلق بالتكلفة، يوجد حد عملي لمقدار الضغط المستخدم وهو ٦٠٠ ميجا باسكال، والذي يكون كافياً لمعظم الاستخدامات. ولاعتبارات وأسباب تقنية، فكل الوحدات المتوافرة (الموجودة) هي أنظمة دفعات (*batch* systems) بالرغم من وجود محاولات تطويرية لإيجاد نظام مستمر *continous* (systems). ويمكن بجمع عدة وحدات بترتيب شطرنجي تعاقبي(staggering fashion)، تحقيق نظام انتاج شبه مستمر (semi-continous). 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 منتظما. 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 أ سي 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 يترواح من ٤٠٠-٥٠٠ ميجا باسكال لمدة ١-٥ دقيقة على درجة حرارة الجو، بينما استخدمت شركة أخرى عملية مشابهة تعمل على ١٢٠-٤٠٠ ميجا 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 equipements). ومن الممكن استخدام مثل هذه الأغذية السائلة كسوائل ضغط بالضخ 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 (turbulant flow) سيرفع قوى تمزيق الأحياء الدقيقة وبالتالي يرفع معدلات تحطيمها (Earnshaw, 1992). تشمل تطورات التصنيع بالضغط العالي التي ذكرها كنور١٩٩٥(1995a) (Knorr, 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 ألستوم وفلو لأنظمة الضغط (Alstom and Flow pressure systems). في نظام الضغط الدفقي شبه المستمر (Flow pressure semi-contious system)، يتم ضخ السائل المراد تصنيعه داخل واحد مما يعرف بالعازل (isolator) أو عدة عوازل (أوعية ضغط فيها عازل/عوازل تعزل الغذاء السائل عن مصدر الماء لجهاز الضغط الفائق ((ultra high pressure(UHP). 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 ميجا باسكال. يتم تحرير الضغط، بعد وقت الحفظ المؤقت المحدد مسبقا 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 مسبقا في نظام الدفعات التقليدي، ويقل الوقت الذي تستغرقه الدورة بحوالي ٣٠٪.

وصف هوجلاند (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 يشتت/يوزع بعض الحرارة الدينامية (adiabatic heat) المتولدة عند ضغط الغذاء المحمل. وبما أن للضغط ودرجة الحرارة أثراً تداؤبيًّا أو معززاً مثبطاً (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 مضطرد مستمر. ويتم المحافظة على فارق ضغط (pressure differential) بمقدار ١٠٠ ميجا باسكال أو أكثر بين نهايات مدخل ومخرج هذا الأنبوب.

تشير التكاليف الكلية مقدرة 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 ميجا 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 (equivalent heat exchanger system) (Manvell, 1996). وتعتمد التكلفة الفعلية على سعة الغرفة (chamber capacity) وكثافة الملء (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*) والكلوستريديوم (*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 ميجا 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) تحد من هذه المعالجة (هينز، ١٩٩٧، ووايتاك، ١٩٩٩) (Heinz, 1997, Wuytak, 1999).

للقضاء على الجراثيم بشكل كامل، لابد من الجمع بين الضغط والمعاملة الحرارية على ٦٠°م أو أعلى: عندما يستخدم ضغط منخفض لابد من حرارة أعلى لإحداث التثبيط 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 لوغارثيميه لجراثيم الكلوستريديوم اسبوروجينيس والباسيلس كواجولانس (*Clostridium sporogenes* and *Bacills coagulans* Spores) عند تعريضها لحرارة أقل من ٦٠°م مع ضغط يبلغ حوالي ٤٠٠ ميجا 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، كربرز 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.

(١٧,٤) 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 تتروح بين ٢٠٠-٦٠٠ ميجا 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 و٣٠٠ ميجا باسكال. بالإمكان تثبيط البكتريا السالبة لصبغة جرام (Gram-negative Bacteria) باستخدام ضغط في حدود ٣٠٠ ميجا باسكال لأنها أقل ثباتية/مقاومة للضغط مقارنة بالبكتريا الموجبة لجرام والتي تحتاج إلى ضغوط أعلى من ٤٠٠ ميجا 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 أو١٥٧ : إتش٧ (*E-Coli* O157: H7) مقاومة جداً للضغط. وبالإضافة إلى ذلك، خلافا 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 المتعاضدة 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 الرئيسة في تصنيع الفواكه والخضراوات التالي:

- البولي فينول أُكسيديز (Polyphenoloxidase, PPO) والذي يكون مسئولاً عن الاسمرار الإنزيمي.
- اللايبوإكسيجينز (Lipoxgenase, LOX) والذي يسبب تغيرات النكهة واللون والقيمة الغذائية.
- البكتين ميثايل إستريز (Pectinmethylesterase (PME) والذي يسبب عكارة وتغيرات في القوام.
- البيروأُكسيديز (Peroxides (POD) والذي يزيد من النكهات غير المرغوبة.

يعتبر إنزيم البولي فينول أُكسيديز غير مقاوم للحرارة بدرجة كبيرة (Lourenco *et al.*, 1990, Yemenicioglu *et al.*, 1997, Weemaes *et al.*, 1998a). وبالمقابل، عند الضغط واعتماداً على مصدره، قد يتحسن النشاط التحفيزي لهذا الانزيم أو يتم تثبيطه. تتباين الضغوط اللازمة لإحداث تثبيط هائل لهذا الانزيم بين ٢٠٠ إلى ١٠٠٠ ميجا 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، نجده في أخرى مثل الكمثرى والبخارى، مقاوما للتثبيط بالضغط. قد يحمي الضغط المنخفض إنزيم البولي فينول أُكسيديز من التثبيط الحراري ويعزز النشاط التحفيزي، على سبيل المثال، في حالة التفاح والكمثرى والبطاطس والفراولة (Weemaes *et al.*, 1998a).

بالنسبة لليبوأُكسيجينيز، تتفاوت الثباتية الحرارية عند الضغط الجوي بدرجة كبيرة، اعتماداً على مصدر الإنزيم والوسط (Indrawati, 2000). تم إجراء دراسات مفصلة للتثبيط بالضغط لليبوأُكسيجينيز الطماطم وفول الصويا والفاصوليا الخضراء والبازلاء. ذكر أن الضغوط الحدية (threshold pressures) للتثبيط تتراوح في مدى ضيق بين٤٠٠ و٦٠٠ ميجا باسكال (Heinisch *et al.*, 1995, Ludikhuzyze *et al.*, 1998a, Tangwonchai, *et al.*, 1999, Indrawati *et al.*, 1999, Indrawati, 2000). ليبوأُكسيجينيز الفاصوليا الخضراء والبزلاء، تم تأسيس التصنيف الحركي التام (kinetic characterisation) لحركيات التثبيط (inactivation kinetics) في حقل ضغط–حرارة (pressure-temperature domain) من ٠,١ إلى ٦٥٠ ميجا باسكال ومن ⁻ ١٠°م إلى ٨٠°م. قد تمت ملاحظة أن ثبات ضغط ليبوأُكسيجينيز الفاصوليا الخضراء والبزلاء ينخفض بزيادة تعقيد النظام (increasing system complexity)، وبمعنى آخر يتم التثبيط بصورة أسرع في السايتو (*situ*) (في الخضروات الكاملة السليمة in the intact vegetable) مقارنة بسرعة التثبيط في المستخلص الخام (crude extract) (Indrawati *et al.*, 2000). ولليبواُكسيجينيز فول الصويا في المقابل، تمت ملاحظة ثباتية/تحمل عالٍ للضغط في الحليب مقارنة بما له من ثباتية في محلول منظم('buffer solution) (Seyderhelm *et al.*, 1996). وبطريقة مشابهة لإنزيم بولي فينول أُكسديز الأفاكادو(avocado PPO) وبكتين ميثايل استيريز(PME) البرتقال، تمت ملاحظة وجود أثر مضاد(antagonistic) بين

الضغط المنخفض ودرجة الحرارة العالية للبيوأُكسيجينيز البازلاء. وفي حالة ليبواُكسيجينيز 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).

ذُكر أن إنزيم البكتين ميثايل استريز(PME) من فواكه مختلفة يكون مقاوماً للحرارة بدرجة كبيرة (quite thermoresistant): يتطلب تثبيطه تثبيطا معنوياً، درجات حرارة تتراوح بين ٨٠-٩٠°م، وحتى بعد ذلك يبقى هذا الإنزيم نشطاً (Van den Broek, 2000). عزيت هذه المقاومة إلى وجود مشابهات إنزيمية(isozymes) له لا تتحمل الحرارة(Labile) وأخرى ثابتة للحرارة(heat stable) (Verteeg *et al.*, 1980; Wicker and 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 جزئيا، ويعزى هذا العجز إلى وجود المشابهات 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 Broek, *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 ٦٠°م، درجة الحرارة التي عندها يحدث التثبيط على الضغط الجوي العادي، فإن الضغط الذي يصل إلى ٧٠٠ ميجا باسكال قد أوقف التثبيط تماماً. وعلى ضغط أعلى حدث التثبيط مرة أخرى بالرغم من أن معدل التثبيط ما زال أبطأ على ٩٠٠ميجا باسكال مقارنة مع سرعة التثبيط على الضغط الجوي العادي (Crelier *et al.*,1995; Van Den Broeck *et al.*,2000a). وعند الضغط الجوي العادي وجد نشاط مثالي (طبيعي) على ٥٥°م. أدى استخدام ضغط منخفض إلى زيادة نشاط إنزيم البكتين ميثايل إستيريز(PME) والذي بلغ حده الأقصى عند ضغط يتراوح بين ١٠٠- ٢٠٠ ميجا باسكال مع حرارة تبلغ ٦٠-٦٥°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 ٩٠٠ ميجا باسكال للفاصوليا الخضراء تثبيطا بسيطا لإنزيم البيروكسيديز(POD) على درجة حرارة الغرفة، بينما عزز جمع الضغط بمقدار ٦٠٠ ميجا باسكال مع حرارة عالية، من الأثر المثبط للإنزيم Quaglia *et al.*,1996). وجد كانو وآخرون (١٩٩٧) (Cano *et al.*, 1997) نتائج متناقضة وقد ذكروا زيادة تثبيط البيروكسيديز في صلصة الفراولة وعصير البرتقال على درجة حرارة الغرفة مع ضغط يصل إلى ٣٠٠-٤٠٠ ميجا باسكال، على التوالي، بينما على ضغط أعلى يقل النشاط مرة أخرى. على درجة حرارة من ٤٥°م، وجد انخفاض في النشاط عند كل الضغوط(٥٠-٤٠٠ ميجا 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 ميجا 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 التغير 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 ميجا باسكال)، يكون التليين الفوري الضغطي (instantaneous pressure softening) بسبب ضغط التركيبات الخلوية بدون تمزيق ، بينما على ضغط أعلى (> ٢٠٠ ميجا 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

obeikandl.com

اللاحقة، ويعزى ذلك إلى فعل إنزيم البكتين ميثيل استريز(PME) والذي قد تم تثبيطه فقط، تثبيطا 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 عرضيًّا (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(a-color value) (redness-greenness, للمنتجات المعاملة بالضغط، أفضل(superior) مقارنة بهذه الخصائص لنظائرها المعاملة بالحرارة. وعلى أية حال، انخفض اللون الأخضر لصلصلة الجوافة والموز تدريجياً، خلال التخزين، وذلك، نتيجة للاسمرار الناتج بسبب نشاط إنزيم البولي فينول أُكسديز(PPO) المتبقي Lopez-Malo *et al.*, 1998; Palou *et al.*, 1998). تحقق أطول وقت تخزين مقبول (longest acceptability storage time) باستخدام ضغط عالٍ وpH 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 ميجا باسكال و٤°م. تمت ملاحظة وجود بعض التغير 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 فيوفايتين (pheophytin) ومن ثم إلى بايروفايوفايتين (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 المصنَّعيْن 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 المقلي (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 تركيزات ١-٢ ملجم/ كجم. ولكن، التركيزات العالية منه تضفي النكهة الزنخة. للبصل، تعمل معاملة الضغط على إقلال الداي بروبايل سلفايد(dipropylsulphide)، وهو المركب المسئول عن مذاق الطماطم اللاذع (pungency) والرائحة المميزة للبصل الطازج، وكذلك يعمل الضغط على زيادة تركيزات ترانس بروبينايل داي 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 بيجنون (١٩٩٦) أن محتوى منتجات الفواكه والخضراوات من فيتامينات أ وج وب١ وب٢ 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 ميجا 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 معنويًّا لحمض الأسكوربيك عندما كان الضغط حوالي ٨٥٠ ميجا 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 الطفرات. تتميز الفواكه والخضراوات مثل الجزر والقرنبيط والكرنب الساقي والكراث والسبانخ بأن لها قوى كامنة كمضادات للطفرات والذي وجد أنها حساسة للحرارة ولكن ليست هي كذلك بالنسبة للضغط. تأثر النشاط المضاد للطفرات في البنجر والطماطم فقط عند استخدام ظروف عالية جداً، أي في حدود ٦٠٠ ميجا باسكال/ ٥٠°م أو ٨٠٠ ميجا 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 البكتريا 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 أوكسديز (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 دمجه بحرارة متوسطة له فوائد معتبرة، (بالو وآخرون ١٩٩٩b ؛ لوبيز-مالو وآخرون، ٢٠٠٠). بالإمكان زيادة الأثر المضاد للميكروبات للضغط العالي بالحرارة، الانخفاض في pH، CO_2، الأحماض العضوية، والبكتريوسينات مثل النيسين (بالو وآخرون، ١٩٩٧a ، ١٩٩٧b ، ١٩٩٧c).

أشار بابينيو 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 لويز- مالو وآخرون (١٩٩٩) آثار المعاملة بالضغط العالي على ٣٤٥، ٥١٧ أو ٦٨٩ ميجا باسكال لمدة ١٠، ٢٠، ٣٠ دقيقة على pH ابتدائي ٣,٩، ٤,١، أو ٤,٣ على نشاط إنزيم (PPO)، اللون والتثبيط الميكروبي في صلصة الأفوكادو وخلال التخزين على ٥، ١٥، ٢٥°م. كان العد القياسي، بالإضافة لعد الخمائر والأعفان للصلصة المعاملة بالضغط العالي أقل من١٠ وحدة مكونة للمستعرات في الجرام (10 cfu/g) خلال ١٠٠ يوم من التخزين على ٥، ١٥، أو ٢٥°م. تم الحصول على متبقي من (PPO) معنوياً أقل ($P\leq0.05$) مع زيادة الضغط وتقليل pH الابتدائي حافظت صلصة الأفوكادو والتي لها متبقٍ PPO <٤٥٪ 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.

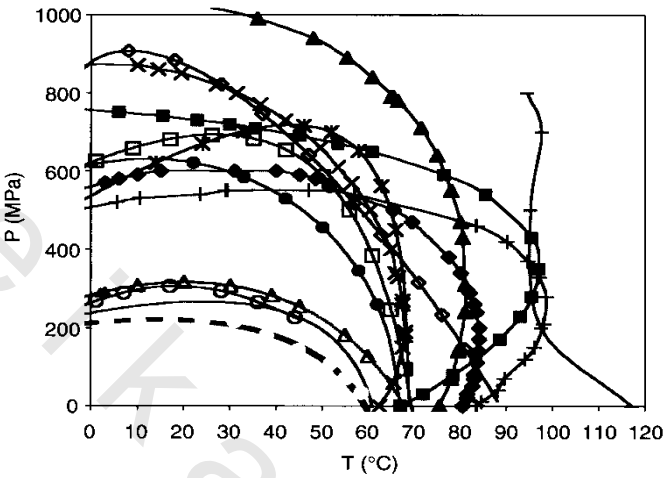
حلل بالو وآخرون (٢٠٠٠) آثار المعاملة بالضغط المستمرة والمتذبذب على الجواكامول (guacamole). تم الحصول معنوياً ($P<O.05$) على نشاط متبقٍ أقل من PPO وLOX بزيادة وقت المعاملة وعدد دورات الضغط- وإزاحة الضغط. بالنسبة لـ LOX تم تثبيطه بمدة ١٥ دقيقة لمعاملة مستمرة لضغط عالٍ متذبذب. تم الحصول على الكمية الأقل من قيمة نشاط PPO بعد ٤ حلقات من الضغط العالي على ٦٨٩ ميجا 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). الاسمرار 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 كمعاملة هامة 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 لـ خفض ست حلقات لوغاريثمية 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 (Δ)، Z.bailli (O)، casei < E.coli (_____)، (− − −).

يزودنا هذا النوع من الطرق الحركية النظامية بطريق للأمام في الأبحاث المستقبلية. حقيقة، هذا النوع من المعلومات الحركية للتثبيط الميكروبي والإنزيمي وبجمعه مع المعلومات الكمية حول أثر الضغط على الجودة الحسية والغذائية يكون ضروريًّا 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) المراجـــــع

Refernces

BASAK S and RAMASWAMY H S (1998) 'Effect of high pressure processing on texture of selected fruit and vegetables', *J Text Stud,* **29** 587-60l.

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) 287-9l.

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 1 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, *1 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 UniversWit, 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, LUDIKHUYZE L R and HENDRICKX M E (1999) Soybean lipoxy genase inactivation by pressure at subzero and elevated temperatures, *1 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 PM, 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, *1 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 hydrosta tic 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 LEAO J and NEVES V A (1990) Heat inactivation and kinetics of polyphenoloxidase from palmito *(Euterpe edulis), J Sci Food Agric*, **52** 249-59.
LUDIKHUYZE L, VAN DEN BROECK I, WEEMAES C A and HENDRICKX M E (1997) Kinetic parameters for pressure temperature inactivation of *Bacillus subtilis* a-amylase under dynamic conditions, *Biotechnol Prog*, 13 617-23.
LUDIKHUYZE 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 isobaricisothermal inactivation kinetics, *J Agric Food Chern*, **46** 4074-80.
LUDIKHUYZE 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 Chern*, **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 *Clostridiuim 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 Chern*, **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* inactiva tion, *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*, **24417-20.**

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 Chern*, **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.

SANCHO 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, LUDIKHUYZE L, WEEMAES C, VAN LOEY A and HENDRICKX M (1998) 'Kinetics of isobaric-isothermal degradation of L-ascorbic acid', *J Agric Food Chern*, 462001-6.

VAN DEN BROECK I, LUDIKHUYZE L R, VAN LOEY A M and HENDRICKX M E (2000a) Effect of temperature and/or pressure on tomato pectinesterase activity, *J Agric Food Chern*, 48551-8.

VAN DEN BROECK I, LUDIKHUYZE 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 Chern*, 48 1960-70.

VAN LOEY A, OOMS V, WEEMAES C, VAN DEN BROECK I, LUDIKHUYZE 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 Chern*, 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 Chern*, 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, LUDIKHUYZE 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, LUDIKHUYZE 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 Chern*, 46 2785-92.

WEEMAES C, OOMS V, INDRAWATI, LUDIKHUYZE 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.

obeikandl.com