

ОБРАБОТКА НА ХРАНИТЕЛНИ ПРОДУКТИ ПРИ ВИСОКО НАЛЯГАНЕ

Апарати, въздействие и приложения

С.Г. Актерян

Университет по хранителни технологии – Пловдив, akterian@abv.bg

HIGH PRESSURE PROCESSING OF FOODS

Equipment, Impact and Applications

S.G. Akterian

University of Food Technologies – Plovdiv, akterian@abv.bg

Abstract

The high pressure processing is one non-traditional innovative method for preserving and modifying foods. The key components of a high pressure system are a pressure vessel and a pump intensifier, which are detailed. There are presented batch and semicontinuous pressuring systems. The lethal effect of high pressure on vegetative bacteria, bacterial spores, yeasts, moulds, viruses, prions, the inactivation of enzymes; the pressure-induced modifications of food micromolecules, the phase transition of water in high pressure conditions were revealed. The main applications of high pressure processing were outlined: preserving fresh foods, minimal processing of traditional foods, high-pressure freezing and thawing; pressure-induced modifications of food components. The general advantage of this technology is the retention of natural flavour, taste, colour and nutrients. However its main disadvantage is very high investment costs for process equipment. On the base of advantages and disadvantages revealed the present liminary commercialization was substantiated.

Keywords: high pressure processing/preservation, pressure vessel, intensifier pump, freshness, pressure-induced modification, minimal processing; high-pressure freezing and thawing

ВЪВЕДЕНИЕ

Началото на обработката при изостатично високо налягане се поставя от шведската фирма ASEA в 50-те години на миналия век. Първите приложения на тази технология са апарати за производството на изкуствени диаманти при налягане 700 МПа. Понастоящем тази технология се използва и за производство на кварцови кристали; керамика; хидроформиране на метални листове при налягане 140 МПа; студена или гореща повърхностна обработка на метални детайли с цел уплътняване, получаване на изотропни качества и намаляване на риска за образуване на пукнатини. Тази технология се прилага при производство на високонадеждни детайли за самолети, автомобили, турбини, военна и космическа техника.

Основите на обработката на хранителни продукти под високо налягане са поставени от френския учен Роуер, който в 1895 г. установява възможността за унищожаване на бактерии при тези условия. Американският учен Ните [11] в 1889 г. прилага за първи път тази технология за запазване на млечни продукти. Независимо от това обработката под високо налягане се отнася към нетрадиционните, нетермични методи за обработка на хранителни продукти.

При този вид обработка хранителният продукт се поставя в камера, в която налягането се пови-

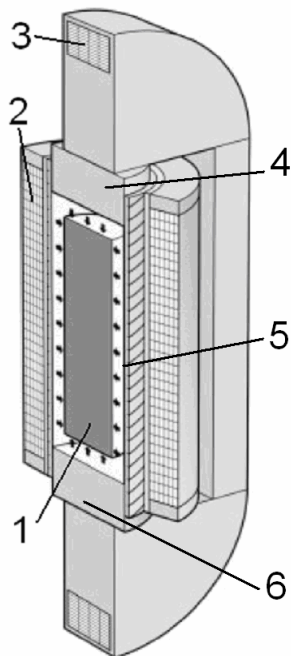
шава до 50-600 МПа, задържа се и след това намалява до атмосферно. Времето за задържане на високото работно налягане обикновено варира от 2 до 60 min [21, 28]. Първите промишлени уредби за обработка на храни под високо налягане се прилагат от началото на 90-те години на ХХ век в Япония. Понастоящем САЩ, Япония, Франция, Испания, Великобритания са производители в ограничен обем на храни, обработени под високо налягане.

АПАРАТИ И УРЕДБИ

Те могат да работят периодично или с полунепрекъснато действие, като първите са по-широко разпространени. Уредбите включват (а) апарат (камера), в която се прилага високото налягане, и (б) хидравлична система за създаване на високо налягане на работна течност. Последната представлява среда, чрез която се подава високото налягане върху обработвания продукт. За целта най-често се използва питейна вода [28].

Апаратите с периодично действие са вертикални цилиндрични съдове с работен обем 35-700 dm³ и работно налягане до 600 МПа. Те са по-гъвкави и позволяват обработка както на течни, така и твърди хранителни продукти от растителен и животински произход. Производството им датира от средата на 1990 г. Корпусът на апарата

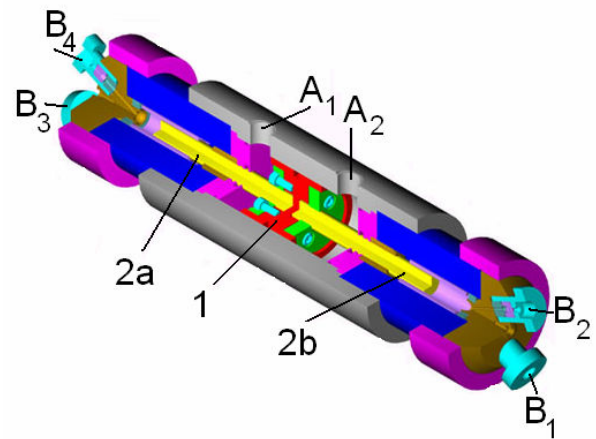
обикновено представлява моноблок, изработен от високоякостна стомана. Херметизацията на работния обем, ограничен между корпуса и капака, се осъществява чрез резба или чрез рамка, обхващаща камерата и капака [24]. Работната температура в апарата се регулира обикновено с двойна риза, в която протича топлоносител – гореща вода или студоносител. Фирмата Avure Technologies (САЩ) www.avure.com е водеща в световен мащаб и тя предлага работни камери Quintus™ (фиг. 1). Техният тънкостенен корпус 5 е подсилен външно от пакети 2 и 3 с плътно навити стоманени телове, които са предварително напрегнати. Даже и при максималното работно налягане от 600 МПа стените на корпуса 5 остават натоварени на натиск. Това е от особена важност при цикличната работа на апарата в режим натоварване-разтоварване-натоварване. Това позволява (а) да се намали умората на материала на основния корпус и риска от образуване на пукнатини в стената на корпуса, а срокът му на безопасна експлоатация да се удължи; (б) да се намали общата маса на съда до 50 %, респективно и крайната му цена. При зареждане, продуктът 1 за обработка се поставя в цилиндричния корпус 5, затваря се с подвижния капак 4. Накрая, скоба с пакет 2 от меридионално навити телове се монтира така, че да обхваща капака 4 и дъно 6 на апарата.



Фигура 1. Апарат Quintus™ на фирмата Avure Technologies (САЩ) за обработка на храни под високо налягане: 1- обработван продукт; 2,3- пакети с навити стоманени телове, които имат съответно паралелно и меридионално разположение; 4- горен подвижен капак; 5- тънкостенен цилиндричен корпус; 6- долно неподвижно дъно.

Hoogland [13] описва работни съдове, изработени от композитни материали. Те са пилотна разработка на датски консорциум. Това ще позволи цената на апарата да се намали съществено.

Хидравличната система за създаване на високо налягане включва специална външна помпа, наречена интензификатор (intensifier) с двойно действие. Конструкцията на подобна помпа, производство на фирмата EPSI (САЩ) www.epsi-highpressure.com, е представена на фиг. 2. Тя включва голямо бутало 1, задвижвано от хидравлично масло А с ниско налягане. Това бутало е свързано с два или повече плунжера 2 с по-малък диаметър. Те прилагат високо налягане върху работната вода В. Hoogland [13] посочва, че използването на вътрешни интензификатори, вградени в работната камера, позволява да се редуцира цената на уредбите.



Фигура 2. Устройство на помпа интензификатор на фирмата EPSI (САЩ) за създаване на високо налягане: 1- голямо бутало; 2a, 2b- плунжери с малък диаметър; A₁, A₂- вход и изход за хидравлично масло с ниско налягане; B₁, B₃- изходи с нагнетателни клапани на работна вода с високо налягане; B₂, B₄- входове със смукателни клапани на работна вода с ниско налягане.

Други фирми производители на уредби с периодично действие са японките Mitsubishi Heavy Industries и Kobe Steel Ltd; американските Flow International Corporation, Engineered Pressure Systems International; британската Stansted Fluid Power и френската GEC Alstom - ACB Pressure Systems.

Обработката в апаратите при високо налягане се осъществява по следния начин: Храните, които подлежат на обработка, предварително се опаковат в меки, но устойчиви на високото налягане, пластмасови опаковки (торбички, бутилки). Продуктите се опаковат обикновено под вакуум с оглед равномерно разпределяне на работното налягане. Работната камера след зареждане на опа-

кованите продукти се обезвъздушава, след което в нея се подава питейна вода. Последната служи за среда за предаване на налягането върху обработвания продукт. При изостатично работно налягане от 600 МРа, обемът на обработваните продукти с високо съдържание на вода се редуцира с 10- 15 % [28].

Уредбата с полунепрекъснато действие за обработка на течности (сокове, пюре, сосове) под високо налягане на фирмата Avure Technologies включва три или повече паралелно действащи апарати (работни камери или наричани още изолатори) с работен обем 25 dm³, като всеки един от апаратите работи циклично (пълнене-компресиране-изпразване). След тази обработка сокът се пълни в потребителски опаковки при необходимост при асептични условия. Така обработените продукти се съхраняват най-често при хладилни условия. Фирмата АСВ (Франция) също предлага уредбата с полунепрекъснато действие за плодови сокове с производителност 4-6 m³/h, като процесът протича при налягане 400-500 МРа при стайна температура и продължителност на задържането 1-5 min. Продължителността на работния цикъл в апаратите с полунепрекъснато действие е с 30 % по-малка от тази в апаратите с периодично действие.

ВЪЗДЕЙСТВИЕ

Високото налягане въздейства основно върху нековалентните химични връзки (като водородни, дисулфидни) в макромолекулите, докато ковалентните връзки в по-малките молекули остават непроменени [12].

По-голямата част от **вегетативните клетки на микроорганизмите** се инактивират при наляганя от 200 до 600 МРа при стайна температура. Антимикробният ефект на обработката под високо налягане може да се подсили чрез комбиниране с допълнителна термична обработка, намаляване на рН, повишаване на концентрацията на СО₂, добавяне на бактериоцини, като низин [21]. Разрушаването на клетъчната мембрана при високи наляганя е една от основната причини за инактивиране на микроорганизмите [14].

За инактивиране на **бактериалните спори** се изисква да се приложат наляганя над 600 МРа при комбиниране с умерено високи температури 60-70 °С или налягане до 100 МРа и температура 90 °С [21]. При наляганя около 400 МРа и температури под 60 °С се наблюдава [25,31] намаляване на концентрацията на спори на *Cl. sporogenes* и *Bac. coagulans* с три десетични порядъка. Обработката при високо налягане води до съществено намаляване на термичната устойчивост на спорите. Ananth [1] предлага обработката под ви-

соко налягане да се осъществява в два етапа. В първия етап, протичащ при по-високо налягане, се осъществява преимуществено инактивиране на бактериалните спори. При втория етап, провеждан при по-ниско налягане, протича основно инактивиране на вегетативните форми на бактериите. Прилагането на пулсиращо или осцилиращо високо налягане, както и бързата декомпресия са по-ефективни при инактивация на бактериални спори в сравнение с процес, проведен при постоянно налягане [21]. Установено е, че Грам положителните бактерии (като *Staphylococcus aureus*) са по-устойчиви при обработката при високи наляганя, отколкото Грам отрицателните бактерии, като *Salmonella* [29]. Инактивирането на микроорганизмите зависи от множество фактори като вид и щам на организма, температура на процеса, водна активност и рН на средата.

Дрождите и плесените имат по-малка чувствителност при обработка с високо налягане, като се инактивират при наляганя от 200 до 300 МРа [21]. Микотоксините могат да се инактивират до 50 % при обработка при налягане 500 МРа в продължение на 1 h [4].

Вирусите, представляващи опасност за човешкото здраве като хепатит А, са по-чувствителни от бактериите и това предполага, че обработката с цел инактивиране на бактериите ще инактивира и тези висуси [16]. Установена е възможността за инактивиране на HIV-1 вирус при обработка при налягане 250 МРа [27]. **Прионите**, причинители на болестта “луда крава”, могат да се инактивират чрез обработка при високо налягане 350 МРа и температура 60 °С [9].

Голяма част от **ензимите** в хранителните продукти се инактивират при обработка с налягане до 300 МРа. Те са по-устойчиви при въздействие на високото налягане, отколкото вегетативните клетки [21]. Това се обяснява с промяна на структурата на ензима или денатурирането му. Установено е, че кинетиката на намаляване на активността на значителна част от ензимите може да се разглежда като реакция от първи порядък [22]. Ензимът полифенолоксидаза, отговорен за ензимното покафеняване на продукти от растителен произход, се инактира при наляганя от 200 до 1000 МРа в зависимост от условията на средата. Чувствителността на този ензим в ябълки и грозде по отношение на налягането е по-голямо, отколкото в круши и сливи [34]. Ензимът липоксигеназа, отговорен за промени във вкуса, цвета и хранителните компоненти в зеленчуци, се инактивира при наляганя от 400 до 600 МРа [15]. Ензимът пектинметилестераза, отговорен за промени в консистенцията на плодове и зеленчуци, се инактира термично при температури от

80 до 85 °C. При стайна температура този ензим се инактивира при налягания от 150 до 1200 МРа в зависимост от своя произход и среда, като ензима в доматен сок е по-устойчив на въздействието на налягането, отколкото този ензим в портокалов сок [32]. Ензимът пероксидаза, отговорен за образуване на неприятен вкус, се характеризира с висока термична устойчивост. Този ензим в пюре от ягоди и в портокалов сок се инактивира при налягания от 300 до 400 МРа при стайна температура [5]. При обработка с налягане 900 МРа и стайна температура активността на този ензим в грах намалява незначително [30]. Активността на ензима амилаза в брашна от пшеница и ечемик, обаче, повишава своята активност след обработка при умерено високи налягания 300–600 МРа [10]. Това разкрива потенциална възможност за производство на гликозни сиропи от нишесте чрез обработка под високо налягане.

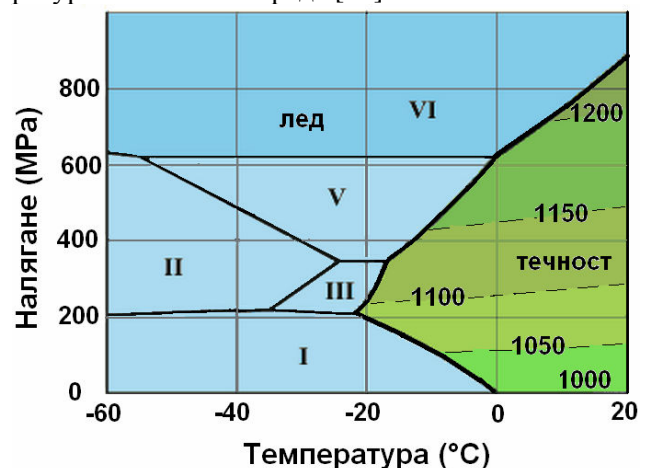
Модифициране на микроструктурата и функционалните свойства на **макромолекули** (протеини) на хранителни съставки под въздействие на приложеното високо налягане. След 20 min обработка под високо налягане от 350 МРа стабилността на пени, получени от 0,01 % разтвор с протеина β -лактоглобулин, се увеличава десетократно [8]. Подобен подобрен **пенообразуващ и емулгиращ ефект** имат и други водоразтворими протеини от животински (яйчния овалбумин) и растителен произход (от соя и грах), както и млечен казеин след обработка под високо налягане. Това се обяснява с формирането на междумолекулни дисулфидни връзки [28].

Процесът на **желатиниране** (втвърдяване) на протеини може да се управлява както с промяна на концентрацията на протеина, температурата, рН, но така и чрез въздействие с високо налягане. Желатинирането на протеини от животински произход (като β -лактоглобулин и миоглобин) при едновременно въздействие с топлина и налягане е изследвано от Ledward [18]. Този процес се обяснява от образуваната мрежа от водородни връзки между макромолекулите. Apichartsrangkoon [2,3] изследват този процес за моделни водни разтвори, съдържащи растителни протеини от пшеничен глютен и соев протеин.

Качествените показатели на хранителните продукти, като цвят, вкус и хранителна стойност, почти не се променят при обработка под високо налягане. Повечето от компонентите, свързани с тези показатели, са нискомолекулни. Техните ковалентните връзки не се повлияват при прилагане на високо налягане. За определена група от храни, обаче, вкусът, текстурата и цвета зависят от ензимната активност. Последната, както бе посочено по-горе, силно се редуцира при обработка

под високо налягане. Това води и до промяна на свързаните с това органолептични показатели. Червеният цвят при прясно телешко и агнешко месо се определят от протеина миоглобин. Той се денатурира и променя цвета си към кафяво при обработка с налягания над 400 МРа. Нискомолекулните вещества, определящи вкуса на някои риби и меса, обаче, не се променят след обработка под високо налягане [28].

Замразяването при високо налягане позволява формиране на ледени кристали тип III, V или VI, чиято плътност е по-голяма от тази на течната вода (фиг. 3). По такъв начин се намалява до минимум разкъсването на тъканта на продукта от растителен или животински произход и в последствие загуба на клетъчен сок. При налягания над 210, 350 и 700 МРа протича съответно формиране на ледени зародиши от тип III, V и VI. Водните кристали от последните два типа имат иглоподобна форма, като нарастват от повърхността към центъра на продукта. Най-голям интерес представляват продукти с ледени кристали тип VI, тъй като те могат да се съхраняват при температура на околната среда [33].



Фигура 3. Диаграма на фазово равновесие течност-лед за вода [19]. С римски цифри за означени устойчивите фазови състояния на леда. В дясното поле за течната вода са посочени с прекъснатата линия линиите с постоянна стойност на плътността ρ в kg/m^3 .

ПРИЛОЖЕНИЯ

Обработката под високо налягане се прилага

А. основно за удължаване на срока на съхранение на **свежи хранителни продукти** (натурални сокове от citrusови и други плодове; сосове, като мексикански сос guacamole, приготвян от авокадо; морски дарове, като стриди, раци; рибни филета от съомга, прясно свинско, телешко и други меса) с минимална промяна на структурата, цвета, аромата им.

В Европейския съюз производството на сокове от портокали, лимони, грайпфрут и други цитрусови плодове при работно налягане 400 МРа започва от фирмата Rampryl във Франция. През 1994 г. Испанската фирма Espusa произвежда нарязана шунка и други пресни месни деликатеси, които се обработват чрез високо налягане 400-500 МРа за няколко минути. По такъв начин се постига запазване на органолептичните качества на прясната шунка в продължение на 60 дни при хладилно съхранение.

Б. при производство на някои традиционни хранителни продукти с **минимална обработка**: плодови конфитюри, пюрета; яйчни продукти; йогурт; патешки черен дроб и др. В Япония промишлено се произвеждат също така оризов кейк, кулинарно готов ориз [28].

В. за **замразяването** с прилагане на високо налягане. То може да се реализира посредством следните три схеми [33]: (а) Замразяване в условия на високо налягане, при което преохлаждането и фазовия преход протичат при високо налягане над 210 МРа. При това налягане и минимално преохлаждане до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ протича формиране на ледени зародиши от тип III, като времето за замразяване се съкращава. Тъканта на продукта, замразен, съхраняван и размразен при указаните барометрични условия разглежданото налягане, се запазва в значителна степен с минимални механични разкъсвания. (б) Замразяване под налягане с изместен фазов преход. Първо налягането в камерата с продукта се повишава над 210 МРа, следва охлаждане до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ при запазване на водата в течно състояние и накрая бързо изравняване на налягането в камера с атмосферното. По такъв начин водата в продукта се оказва силно преохладена и се получава на много бързо образуване на множество еднородни фини ледени кристали тип I със сферична форма. Добавянето на полизахариди в замразяваните моделни разтвори води до увеличаване на броя и намаляване на размера на ледените кристали. Това позволява тъканната структура на продукти, обработени по този начин, да се съхранят по-добре в сравнение с традиционния метод на атмосферно замразяване. При обработка на продукти, богати на протеин, следва да се отчете ускоряването на денатурацията на белтъци при високи налягания над 200 МРа. (в) Замразяване, индуцирано от високо налягане. При тази схема, първо налягането в камерата с продукта се повишава над 210 МРа, след това следва охлаждане до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ при запазване на водата в течно състояние и накрая налягането в камерата се повишава до налягания над 450 МРа. Това поражда фазов преход и формиране на ледени кристали тип V. При замразяване

под високо налягане се констатира известна инактивация на микроорганизми и незначителна инактивация на ензими.

Г. за **размразяване** на замразено месо, осъществено под високо налягане над 210 МРа [26]. Това позволява продължителността на процеса и загубата на клетъчен сок да се намалят, микроструктурата на месото се запазва по-добре.

Д. при производството на нови хранителни продукти, като желирани продукти.

Е. при модифициране на протеини от растителен и животински произход с оглед получаване на хранителни продукти със стабилна пяна или със стабилна емулсионна форма.

Ж. за предварителна обработка на плодове преди сушене. Плодове, обработени с високо налягане, се сушат по-бързо в сравнение тези, подложени на традиционно бланширане с гореща вода [17].

З. за предварителна обработка на стриди и други морски дарове с оглед по-лесното им разчупване [28].

ПРЕДИМСТВА И НЕДОСТАТЪЦИ

Основните *предимства* на този нетрадиционен метод за обработка на хранителни продукти са следните:

- Запазване на свежия вкус, цвят, аромат и структура на хранителните продукти, хранителна стойност на обработваните при високо налягане храни [7]. При обработка при налягания до 350 МРа не се наблюдават видими промени на структурата и текстурата на растителни суровини [17]. Витамините А, С, В₁, В₂ и Е в плодове и зеленчуци се повлияват в незначителна степен след обработка при високо налягане [3]. Антимуtagenните компоненти в плодове и зеленчуци (като моркови, цветно зеле, алабаш, праз и спанак), които са чувствителни при топлинна обработка, не се повлияват при обработка под високо налягане [21]. Голяма част от продуктите от плодове и зеленчуците (ягоди, доматиен сок, пюре от гуава, авокадо и банан), обработвани под високо налягане запазват своя свеж цвят [6, 18].

- Осигуряване на микробиологичната безопасност и постигане на приемлив срок на съхранение чрез инактивиране на микроорганизми, причиняващи развала и болести, както и някои ензими в хранителните продукти. Срокът на съхранение на цитрусови сокове, обработени при налягане 400 МРа и при хладилно съхранение, се удължава от 6 до 16 дни [28].

- При обработката под високо налягане се постига равномерно разпределение в целия работен обем на изостатичното налягане, едно и също време за въздействие на работното налягане и

адиабатен процес в съпоставка с ширококоразпространените апарати за топлинна обработка.

- При този процес не се образуват нежелани странични вещества за сравнение с процеса на ирадиация или производството на генно модифицирани храни.

- По-ниски енергийни разходи с минимално загряване на продукта. Това рефлектира върху едни по-ниски експлоатационни разходи.

- Намалване на дела на отпадните води и продукти.

Като **недостатъци** на обработката под високо налягане могат да се посочат

- Много високи първоначални инвестиционни разходи, като цената на технологичното обзавеждане за една средна производствена единица е в границите 0,5-2 милиона евро [21]. Цената на технологично обзавеждане за пастьоризация на плодови сокове под високо налягане е над 20 пъти по-висока от цената на уредба за топлинна пастьоризация със същата производителност [23].

- При въвеждане на нови храни и добавки в европейския пазар трябва да се спазват строгите и усложнени изисквания на Регламент 256/97/ЕС на Европейския парламент. От 1997 г. до сега са разрешени само 45 нови хранителни продукта, а 3 са отхвърлени. С решение 2001/424/ЕС е разрешен само един хранителен продукт, получен чрез обработка с високо налягане. Това разрешение е получено от френската фирма Danone за производство на «пастьоризирани» при високо налягане плодови сокове от цитруси, горски плодове, ягода, праскова, кайсия, ябълки, банан, вишни, кокос, смокиня, ананас и др. Срокът на съхранение на тези плодови сокове е 60 дни при температура под 5 °С.

- Технологичното обзавеждане, работещо под високо налягане, изисква високоспециализиран обслужващ персонал и трябва да е под непрекъснатия контрол на държавните органи за надзор на съдове, работещи под високо налягане.

- Цената на хранителните продукти, произведени по тази технология, е висока както поради високата цена на технологичното обзавеждане, така и поради малкия му работен обем. Инвестиционните разходи формират 75 % от крайната цена на продукта [21]. Производствените разходи за процес, проведен при налягане 400 МРа са около 0,2 евро за 1 kg обработен продукт. Всичко това ограничава пазарната реализация на тези продукти.

- Някои зеленчуци, обработени под високо налягане, не могат да омекнат при последваща кулинарна топлинна обработка. Това се обяснява с частично активирания ензим пектинметилесте-

роза при високото налягане [21]. Нежелани промени в цвета се наблюдават, когато обработката под високо налягане се комбинира със загряване при температури над 50 °С.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последните десетилетия се провеждат интензивни и многоаспектни изследвания за въздействието на високото налягане върху показателите на безопасността и качеството на хранителните продукти. Резултатите за удължаване на срока на съхранение при запазване на свежия вкус, цвят, аромат и структура на хранителните продукти са обнадеждаващи и привлекателни. Високите инвестиционни разходи и малката производителност на апарати за обработка под високо налягане ограничават приложимостта на този метод и особено в България. Тази тенденция се засилва и от повишаващите се цени на храните и стагнацията в инвестиционния процес в последните години. Независимо от това прилагането на обработката под високо налягане с цел модифициране на хранителни компоненти или получаване на нови продукти остава перспективен и обещаващ метод.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ananth, E., Heinz, V., Schlter, O. and Knorr, D. 2001. Kinetic studies on high pressure inactivation of *Bacillus stearothermophilus* spores suspended in food matrices. *Innov. Food Sci. Emerging Technol.* **2**:261–272.
- [2] Apichartsrangkoon, A., Ledward, D., Bell, A., Schofield, J. 1999. Dynamic viscoelastic behaviour of high pressure treated wheat gluten. *Cereal Chemistry.* **76**, 777–782.
- [3] Apichartsrangkoon, A., Ledward, D., Bell, A. and Brennan, J. 1998. Physicochemical properties of high pressure treated wheat gluten. *Food Chemistry.* **63**:215–220.
- [3] Bignon, J. 1996. Cold pasteurizers Hyperbar for the stabilization of fresh fruit juices. *Fruit Processing.* **2**:46–48.
- [4] Brana, D., Voldrich, M., Marek, M. and Kamarad, J. 1997. Effect of high pressure treatment on patulin content in apple concentrate, pp. 335–338. In Heremans K.(ed). High pressure research in the biosciences. Leuven University Press, Leuven.
- [5] Cano, M., Hernandez, A. and De Ancos. 1997. High pressure and temperature effects on enzyme inactivation in strawberry and orange products. *J Food Sci.* **62**: 85–88.
- [6] Donsi, G., Ferrari, G. and Di Matteo. 1996. High pressure stabilization of orange juice: evaluation of the effects of process conditions. *Ital J Food Sci.* **2**:99–106.
- [7] Doona, C.J. and Feeherry, F.E. eds. 2007. High pressure processing of foods. Blackwell Publishing, Ames.
- [8] Galazka, V.B., Ledward, D.A., and Varley, J. 1997. High pressure processing of β -Lactoglobulin and bovine serum albumen. pp. 127–136. In Dickenson, E. and Ber-

- genstahl B. (ed). Food colloids: proteins, lipids and polysaccharides. Royal society of chemistry, Cambridge.
- [9] Garcia, A.F., Heindl, P., Voight, H., Büttner, M., Wienhold, D., Butz, P., Stärke, J., Tausher, B. *et al.* 2004. Reduced proteinase K resistance and infectivity of prions after pressure treatment at 60°C. *J. Gen. Virol.* **85**: 261–264.
- [10] Gomes, M.R. A., Clark, R. and Ledward, D.A. 1998. Effects of high pressure on amylases and starch in wheat and barley flours. *Food Chem.* **63**:363–372.
- [11] Hite B.H. 1889. The effect of pressure in the preservation of milk, *Bull. West Virginia Univ. Agric. Exp. Stn.* **58**:15–35.
- [12] Hayashi, R. Advances in high pressure food processing technology in Japan, pp. 185-196. Gaonkar A.G. (ed) Food Processing. Recent developments. Elsevier, Amsterdam.
- [13] Hoogland H. 2001. High pressure sterilisation: novel technology, new products and new opportunities. *New Food.* **1**(4):21–26.
- [14] Hoover, D.G., Metrick, K., Papineau, A.M., Farkas, D.F. and Knorr, D. 1989. Biological effects of high hydrostatic pressure on food microorganisms. *Food Technol.* **43**:99–107.
- [15] Indrawati. 2000. Lipoxygenase inactivation by high pressure treatment at subzero and elevated temperatures: a kinetic study. PhD dissertation, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
- [16] Kingsley, D.H., Hoover, D.G., Papafragkou, E. and Richards, G.P. 2002. Inactivation of hepatitis A and a calicivirus by high hydrostatic pressure. *J. Food Potect.* **65**:1605–1609.
- [17] Knorr, D. 1995. High pressure effects on plant derived foods. pp.123–135. In Ledward, D.A, Johnston, D.E., Earnshaw, R.G. and Hasting, A.P. (eds) High pressure processing of foods. Nottingham University Press, Loughborough.
- [18] Ledward, D.A. 2000. Effects of pressure on protein structure. *High Pressure Research.* **19**: 1–10.
- [19] Lobban C., Finney J. L. and Kuhs W. F. 1998. The structure of a new phase of ice. *Nature.* **391**: 268-270.
- [20] Lopez-Malo, A., Palou, E., Barbosa-Canovas, G., Welti-Chanes, J. and Swanson, B. 1998. Polyphenoloxidase activity and color changes during storage of high hydrostatic pressure treated avocado purée. *Food Res Int.* **31**(8):549–556.
- [21] Ludikhuyze, L., Van Loey, A., Indrawati and Hendrickx, M. 2002. High pressure processing of fruit and vegetables. pp. 346-358. In Jongen W. (ed) Fruit and vegetable processing. Improving quality. CRC press, Boca Raton.
- [22] Ludikhuyze, L., Van Loey, A., Indrawati, Denys, S. and Hendrickx, M. 2002. The effect of pressure processing on food quality related enzymes, from kinetic information to process engineering, pp. 517–524. In Hayashi, R. (ed). Trends in high pressure bioscience and biotechnology, Elsevier, London,
- [23] Manvell, C. 1996. Opportunities and problems in minimal processing, pp. 105-108. Proceedings of EFFOST Conference on Minimal Processing, Cologne.
- [24] Mertens, B. 1995. Hydrostatic pressure treatment of food: equipment and processing, pp. 135–158. In Gould, G.W. (ed) New methods of food preservation. Blackie Academic and Professional, London.
- [25] Mill, G., Earnshaw, R. and Patterson, M. 1998. Effects of high hydrostatic pressure on *Clostridium sporogenes* spores. *Lett Appl Microbiol.* **26**:227–230.
- [26] Okamoto A. and Suzuki A. Effects of high hydrostatic pressure-thawing on pork meat. pp. 571-576. In Hayashi R. (ed.) Trends in high pressure bioscience and biotechnology. Elsevier Science, Amsterdam.
- [27] Otake, T., Kawahata, Z, Mori, H., Kofima, E, Oishi I. and Hayakawa, K. 2002. Inactivation of HIV-1 by the freeze pressure generation method. In Hayashi R. (ed.) Trends in high pressure bioscience and biotechnology. Elsevier Science, Amsterdam.
- [28] Patterson, M., Ledward, D. and Rogers, N. 2006. High pressure processing. pp. 173-200. In Brennan J. (ed) Food processing handbook. WILEY-VCH Verlag, Weinheim.
- [29] Patterson, M.F., Quinn, M., Simpson, R. and Gilmore, A. 1995. Sensitivity of vegetative pathogens to high hydrostatic pressure treatment in phosphate-buffered buffered saline and foods. *J. Food Prot.* **58**:524–529.
- [30] Quaglia, G., 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**:552–555.
- [31] Roberts, C. and Hoover, D. (1996). Sensitivity of *Bacillus coagulans* spores to combinations of high hydrostatic pressure, heat, acidity and nisin. *J Appl Bacteriol.* **81**: 363–368.
- [32] Van den Broeck I. 2000. Kinetics of temperature and pressure inactivation of pectinesterase from oranges and tomatoes. PhD dissertation, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
- [33] Sanz P.D. and Otero L. 2005. High-pressure freezing. pp. 627-652. In Sun D.W. (ed.) Emerging technologies for food processing. Elsevier Academic press, London.
- [34] 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.

Публикувано в

ХРАНИТЕЛНА НАУКА, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ.

Университет по хранителни технологии – Пловдив. т.І'2011, с. 23-29.