

Савремене технологије у производњи прехранбених производа

Радослав Грујић, Драгољуб Мирјанић

Сажетак Неки облици конзервисања хране се примјењују више хиљада година, мада се о конзервисању као индустријској обради хране говори у посљедњих 100 година. У том периоду схваћени су основни принципи на којима се заснивају поступци конзервисања. Основна сврха конзервисања хране односи се на спречавање раста микроорганизама у прехранбеним производима, односно смањење ризика по здравље људи од могућег тровања храном. Неке технологије конзервисања (поступци који се заснивају на примјени високих температура) су ефикасне у том погледу, међутим оне могу штетно дјеловати на састав, нутритивни и сензорни квалитет производа. Због тога потрошачи истичу своју жељу за конзумирањем хране која има „природна својства“ укуса и боје, и да она није чувана у специјалним условима. Храна животињског поријекла је посебно осјетљивана на штетно дјеловање микроорганизама. У овом прегледу је сачињен увид у савремена истраживања нових технологија конзервисања, током којих је могуће сачувати нутритивна и сензорна својства и истовремено инактивисати микроорганизме, узрочнике кварења хране, и изазиваче болести које се преносе храном.

Нове технологије које се примјењују током израде и конзервусања хране уважавају принципе који се односе на чување ресурса и смањење утrophка енергије и времена обраде. Детаљно су приказани не-термички поступци (тзв. поступци минималне обраде хране), који се заснивају на примјени пулсирајућих електричних поља, високог хидростатског притиска, свјетлости високог интензитета, осцилујућег магнетног поља, електромагнетних таласа различитих фреквенција и ултразвука. Примјена нових технологија омогућава смањење трошкова производње, повећање продуктивности, уштеду енергије и воде, утиче на поузданост производње, побољшање квалитета производа, побољшање одрживости и смањење емисије у ланцу хране/исхране.

Кључне ријечи: Прерада хране, Конзервусање, Класичне технологије, Нове технологије

5.1. Увод

Од почетка овог вијека потрошачи су постали много захтјевнији према квалитету хране коју конзумирају. Они су изнијели јасан став да желе да једу храну која има „природна својства“ укуса и боје, храну која у условима уобичајене дистрибуције има разуман рок одрживости и храну која до потрошача може стићи без потребе за специјалним условима чувања (Fons-Sole i sar. 2004). Технологије минималне обраде хране имају могућност да испуне наведене захтјеве. Под технологијама минималне обраде сматрају се поступци током којих се храна обрађује без примјене топлоте и током којих се производи не загријавају. Ова група технологија је позната као „не-термичке методе обраде хране“. У употреби су, најчешће, технологије које се заснивају на примјени пулсирајућих електричних поља, високог хидростатског притиска, свјетлости високог интензитета, осцилујућег магнетног поља, електромагнетних таласа различитих фреквенција, ултразвука итд (Грујић 2003). Употреба јонизујућег зрачења током конзервусања хране је често предмет научних расправа, с обзиром на могуће користи и евентуалне штете по људе, животиње и околину (Ћургуз i sar. 2017; Ћургуз i Mirjanić 2018). У наредним поглављима ове монографије детаљније је анализирана могућност кориштења поступака зрачења меса и примјене нанотехнологије током паковања меса и производа од меса (Ѕетрајчић и сар.2013). Поступци хлађења и смрзавања, иако класичне методе конзервусања и прераде хране, незнатно утичу на промјену састава и својстава прехранбених производа (Грујић et al. 1993; Petrović et al. 1993) и ефикасно дјелују на сузбијање патогених микроорганизама у храни. Због тога се поступци хлађења и смрзавања сматрају технологијама минималне обраде хране. На даљи напредак у примјени ових технологија утичу примјена нових амбалажних материјала и нови поступци који се примјењују током паковања (на примјер, паковање у модификованој атмосфери, кориштење наноматеријала, активно и паметно паковање и слично).

Више од 250 болести преносивих са храном, изазивају физички, хемијски и биолошки агенси (Khan et al. 2016; Tango et al. 2016; Khan 2017). Биолошки агенси (опасности) узрокују већину тих болести. Прехрамбена индустрија улаже велике напоре да побољша безбједност хране (Radovanović i sar. 2009; Grujić et al. 2010; Novaković i Grujić, 2018). Да би ријешили проблеме везане за безбједност хране произвођачи користе различите конвенционалне (традиционалне, класичне) и неконвенционалне (нове) технологије. Међутим, неке од ових техника негативно утичу на храњиве састојке, квалитет и органолептичка својства прехрамбених производа, те у одређеном степену могу угрозити животну средину. Као извор контаминације микроорганизмима који се преносе храном, најчешће се помињу постројења у клаоницама и фабрикама за прераду меса, те животиње од којих се добија месо као основна сировина за индустријску прераду.

Безбједност хране је постала главна брига потрошача, прехрамбене индустрије и регулаторних агенција. За контролу раста микроорганизама у храни користе се различите технике чувања хране (на примјер, замрзавање, хлађење, смањење активности воде, смањење рН вриједности, пастеризација, ферментација и употреба хемијско-биолошких антимикробних агенаса) (Negi 2012). Прописи се стално мијењају и унапређују (Radovanović i Grujić 2016a; 2016b). Међутим, контаминација и кварење хране под утицајем микроорганизама је проблем који још није ефикасно стављен под контролу.

Како би осигурали израду безбједних, свјежих и нутритивно вриједних прехрамбених производа, током читаве историје, људи су истраживали и примјењивали различите технологије за прераду хране. У посљедње вријеме посебну пажњу је привукла примјена нових процеса у прехрамбеној индустрији: микроталсно и радиофреквентно загријавање, директно убризгавање паре, омско загријевање, јонско зрачење и друге, које осим што дјелују на јестива и сензорна својства могу допринијети значајном побољшању безбједности и одрживости производа. Међутим, неке од ових техника утичу на смањење прихватљивости хране код потрошача. Примјена нових технологија омогућава смањење трошкова производње и повећање продуктивности, значајно скраћење времена обраде, уштеду енергије и воде, утиче на поузданост производње, побољшање безбједности и квалитета производа, побољшање одрживости и смањење емисије у ланцу хране/исхране (Misra et al. 2017). Корист од примјене нових технологија имају индустрија, потрошачи и животна средина.

Под не-термичким технологијама подразумевају се поступци који, иако се проводе код нижих температура, инактивишу патогене и штетне микроорганизме. Ове технологије током третмана имају минималан топлотни утицај на сензорни и нутритивни квалитет прехрамбених производа. Huang et al. (2017) и Amaral et al. (2017) су предложили примјену ултразвука и суперкритичног угљен-диоксида, а које осим инактивације микроорганизама, омогућавају постизање пожељних функционалних својстава производа од млијека. Monteiro et al. (2018) сматрају да се технологија ултразвука може користити као замјена за конвенционалне топлотне третмане млијека. Amaral et al. (2017) предложили су употребу суперкритичног

угљен-диоксида за израду неких врста прехранбених производа (на примјер, ферментисаних производа од млијека), јер он посједује способност да ефикасно инактивише патогене микроорганизме. У свом раду Guimaraes et al. (2018) дали су приказ више праваца за употребу суперкритичног угљен-диоксида током израде функционалних производа од млијека.

У овом поглављу монографије биће описани различити начини прераде и конзервисања и анализирана могућност њихове практичне примјене у току израде производа животињског поријекла. Посебна пажња биће усмјерена на правце развоја и примјену нових поступака, који су ефикасни за инактивацију микроорганизама у храни, а минимално утичу на састав, сензорна и нутритивна својства и квалитет производа. На почетку овог прегледа биће дате информације о конвенционалним поступцима конзервисања хране (хлађење, смрзавање, пастеризација и стерилизација). Након тога, фокус ће бити преусмјерен на неке нове технологије, као што су примјена радиоталаса и микроталаса, ултразвука, пулсирајуће свјетлости, високог притиска, високог хидродинамичног притиска, пулсирајућег електричног поља, омског загријавања и хипербаричног складиштења. На крају тог дијела биће дат преглед примјене и перспективе технологија препрека. Осим поступака чијом примјеном се инактивишу присутни микроорганизми, посљедњих година у индустријску примјену су уведени нови поступци који имају улогу превентивног дјеловања и спречавања контаминације производа или очувања и побољшања функционалних, сензорних и нутритивних својстава производа (нови амбалажни материјали, нанотехнологије, информационе технологије итд). У наредним поглављима (поглавља 7 и 11) дат је преглед примјене неких од описаних поступака током прераде меса.

5.2. Технологије конзервисања које се заснивају на промјени температуре производа

5.2.1. Конзервисање хране довођењем топлоте

Конзервисање хране топлотом је поступак који се врло често користи у прехранбеној индустрији. Током топлотне обраде у храни се одвијају бројне хемијске реакције које утичу на промјену јестивих својстава производа. Поред тога, током топлотне обраде долази до инактивације микроорганизама, ензима, инсеката и паразита, који угрожавају безбједност хране и који су одговорни за кварење хране (Грујић и сар. 2007). Топлотни третмани се примјењују или као посебан поступак конзервисања, или се проводе заједно са другим технолошким процесима током којих се храна загријава. Свако повећање температуре током топлотне обраде дјелује на промјену структуре и сензорних својстава прехранбених производа (Томовић et al. 2014; 2016; Вујадиновић et al. 2014а). Зависно од режима обраде, поступци конзервисања су подијељени на пастеризацију и стерилизацију.

Пастеризација је релативно благ поступак током којег се храна излаже температурама нижим од 100°C. Загријавање мора бити довољно дуго да омогући продирање топлоте у све слојеве производа. Током пастеризације се могу уништити вегетативни облици бактерија, квасци, плијесни и ензими, док споре неких бактерија могу преживјети третман. Пастеризација се примјењује током прераде млијека, јаја, итд. Пастеризација је релативно благ третман и минимално утиче на промјену сензорних и нутритивних својстава хране.

Стерилизација топлотом је поступак конзервисања током којег се уништавају сви микроорганизми, њихове споре и ензими. Прије или након топлотног третмана, храну је потребно упаковати у одговарајућу амбалажу са циљем да се спријечи накнадна контаминација. Захваљујући инактивацији микроорганизама, стерилисани прехранбени производи имају знатно дужи рок одрживости (6 и више мјесеци) у односу на сировине из којих су добијени и у односу на производе који су конзервисани другим поступцима.

Температура која се примјењује током стерилизације (изнад 100°C) утиче на промјену нутритивних и сензорних својстава хране. Да би били сачувани важни састојци хране, произвођачима се препоручује да прије дефинисања параметара топлотног третмана процијене његову ефикасност. То подразумијева познавање топлотне резистентности потенцијалних опасности, физичка и хемијска својства хране и брзину продирања топлоте у храну.

5.2.2. Конзервисање хране одвођењем топлоте

За разлику од поступака конзервисања код којих се користе високе температуре и када се микроорганизми уништавају, конзервисање хране код ниских температура не уништава микроорганизме, већ ствара услове који су неповољни за њихов развој (Грујић и сар. 2007). Поред тога, ниске температуре инхибирају дјеловање ензима, што утиче на брзину биохемијских реакција у ткивима. Познато је да се са снижењем температуре за 10°C биохемијске реакције успоравају 2-3 пута.

Хлађење је поступак обраде хране током којег се њена температура снижава на вриједност између +8°C и -1°C. Хлађење је класични поступак конзервисања током којег су промјене својства хране најмање (нутритивна вриједност, боја, укус и друга својства). Потрошачи сматрају да се хлађењем може сачувати висок квалитет производа, те да прехранбени производи конзервисани на овај начин задржавају „свјежину“, да су „здравији“ и „природнији“ у односу на производе обрађене другим класичним поступцима конзервисања. Хлађењем се продужава одрживост (трајност) производа за релативно кратко вријеме. Додатно продужење трајности се може постићи комбиновањем поступка хлађења са паковањем у модификованој атмосфери, или комбиновањем са новим не-термичким поступцима (озонизација, јонизујуће зрачење и слично). Ради побољшања ефикасности хлађења понекад се користе друга средства која дјелују на смањење активности микроорганизама (фунгициди, антибиотици) или средства за

спречавање дехидратације (пресвлачење површине сира са воском, урањање јаја у минерално уље, умотавање производа заштитном фолијом и слично).

Конзервисање хлађењем се проводи на температури изнад тачке смрзавања ћелијских сокова. Висина температуре хлађења зависи од врсте хране. Различити прехранбени производи захтијевају различиту температуру складиштења у расхлађеном стању. У расхлађеном стању производи се могу сачувати од кварења само неколико дана. Осим температуре, трајност расхлађених производа зависи од релативне влажности, циркулације ваздуха и других фактора. Неке врсте психотропних и мезофилних микроорганизама могу преживјети режим конзервисања хлађењем.

Конзервисање смрзавањем је поступак веома сличан хлађењу, с тим да се током смрзавања користе знатно ниже температуре, односно температуре које су ниже од тачке мржњења воде у производу. Током смрзавања дио воде из течног прелази у чврсто агрегатно стање, што резултира повећањем концентрације растворених материја у несмрзнутом дијелу воде. Из термодинамичке перспективе, смрзавање представља очвршћавање течности, претварање молекула воде из некрystalне у кристалну структуру (Elansari and Bekhit 2017). Одвијање хемијских, биохемијских и микробиолошких реакција у смрзнутим производима је успорено, због чега прехранбени производи конзервисани смрзавањем имају знатно дужу трајност.

Процеси који се одвијају током смрзавања и њихов утицај на структуру, састав и одрживост прехранбених производа су били предмет великог броја истраживања (Grujić et al. 1993, Petrović et al. 1993; Savanović et al. 2018; Grujić and Savanović 2018). Смањење температуре током процеса смрзавања може се подијелити у три фазе: фаза претходног хлађења или хлађења у којој се материјал хлади од почетне температуре до почетка смрзавања, фаза промјене фазе, која представља кристализацију највећег дијела воде и фазу снижења температуре и постизање коначне температуре (Hinarejos Gómez 2013). Коначна температура смрзавања одређује количину незмрзнуте воде која је и даље доступна за хемијске реакције (Akhtar et al. 2013; Savanović et al. 2017). Оптимална температура складиштења смрзнутог меса је -40 °C. Под тим условима, веома мала количина воде се налази у несмрзнутом стању (Estevez 2011).

Стање воде и стабилност кристала леда током складиштења смрзнутог меса имају значајан утицај на квалитет смрзнутог меса. Поступак смрзавања и начин складиштења смрзнутог меса значајно утичу на процес формирања стакластог стања и његове карактеристике (Rahman et al. 2006; Rahman 2015; Savanović et al. 2017). Стакласто стање (стање транзиције) има значајан утицај на својства, квалитет, безбједност и стабилност хране. Оно утиче на широк спектар термофизичких и механичких својстава хране (љепљивост, вискозност, крхкост, хрскавост), брзину и интензитет ензимских реакције, брзину неензиматског тамљења, оксидације и кристализације (Savanović et al., 2017; Savanović et al. 2019). На брзину смрзавања хране утичу: брзина струјања ваздуха, дебљина производа који се смрзава, састав намирнице, величина и распоред просторије за смрзавање итд.

Постоји неколико комерцијалних метода смрзавања хране. Међутим, на избор технологије утичу економски и оперативни фактори. Сваки од поступака смрзавања различито утиче на производе. То се може изразити кроз степен оштећења и квалитета производа, губитак масе, поузданост, континуитет и трошкове расхладног средства (Elansari and Bekhit 2017). У практичној примјени најчешће се користе (1) смрзавање хладним ваздухом, (2) смрзавање индиректним контактом са расхладним медијем и (3) смрзавање директним урањањем у медијум за хлађење.

Криогено смрзавање је веома брз процес смрзавања који се постиже излагањем хране (неупаковане или упаковање у танком слоју) екстремно ниској температури смрзавања. Криогени расхладни флуиди су гасови (аргон, кисеоник, азот и чврсти угљен-диоксид) који испаравају или сублимишу на веома ниским температурама при атмосферском притиску. У прехранбеној индустрији најчешће се користе течни азот (кључање) и чврсти угљен-диоксид (сублимација). Тројна тачка угљен-диоксида је код притиска 5,18 бара и температуре $-56,6^{\circ}\text{C}$, док на атмосферском притиску угљен-диоксида сублимира на $-78,8^{\circ}\text{C}$. Код притиска од једног бара, течни азот кључа (испаравана) на $-195,8^{\circ}\text{C}$. Брзина хлађења у криогеним системима је знатно већа од брзине код других система смрзавања. Губитак масе током смрзавања на овај начин је мањи од 1% (Grujić et al. 1993, Petrović et al. 1993).

Код спорих поступака смрзавања настаје мали број великих интерцелуларних кристала, док код врло брзих поступака настаје велики број ситних интрацелуларних кристала леда (мада истовремено могу настати и ситни интерцелуларни кристали) (Grujić et al. 1993 Savanović et al. 2017). Формирани кристали леда могу изазвати већа или мања физичка оштећења структуре ћелије. Током складиштења смрзнутих прехранбених производа кристали леда мијењају своју локацију и величину. Вода из унутрашњости ћелија мигрира у међућелијске просторе и доприноси расту кристала леда. Промјена мјеста и величине кристала леда доводи до промјене макро- и микро- структуре производа.

Иако у незнатном интензитету, у смрзнутим производима одвијају се биохемијске промјене, које утичу на оксидацију масти, разградњу витамина и пигмената. Правилно проведен поступак смрзавања омогућава одржавање квалитета хране на нивоу сличном првобитном стању производа и омогућава дужи рок трајања и способност транспорта хране на удаљена тржишта (Berry et al. 2008).

Док је смрзавање ефикасна технологија за одржавање квалитета хране, неке промјене, које дјелују у правцу погоршања квалитета настају током складиштења. Промјене су брже ако дође до прекида у ланцу хлађења. Ниво погоршања квалитета зависи од многих фактора, као што су брзина смрзавања, температура складиштења, учесталост флукуација температуре дуж хладног ланца, злоупотреба смрзавања и одмрзавања током складиштења, транспорта, малопродаје и потрошње (Boonsumrej et al. 2007).

Хлађење и смрзавање *prerigor* меса може довести до скраћивања на хладноћи. Овај феномен се јавља у месу које се брзо хлади (температура меса нижа од 10°C),

иако месо има висок рН ($pH > 6,0$) и у мишићу је доступно много енергије у облику аденозин трифосфата. За индустрију прераде меса, брзина смрзавања је важна и због финансијског ефекта. Губици могу настати током одмрзавања као губитак масе услед истицања месног сока (Gambuteanu et al. 2013).

Прије употребе (и прераде) смрзнути прехранбени производи се одмрзавају. Одмрзавање се односи на планирано контролисано повећање температуре, током којег вода из чврстог стања прелази у течност стање (топљење) (Akhtar et al. 2013; Aidani et al. 2014). Одмрзавање смрзнуте хране се мора обавити под условима који минимализују развој микроорганизама. То је критичан процес и мора се пажљиво провести како не би дошло до угрожавања безбједности прехранбених производа. Током одмрзавања производа од меса и млијека, поред ризика од раста микроорганизама, постоје ризици од губитка масе, оксидације липида, разградње емулзије маст-вода, промјене боје итд (Hsieh et al. 2010).

За разлику од процеса смрзавања, одмрзавање производа од меса и млијека је препуштено потрошачима на крају ланца хране/исхране. Док су током смрзавања пожељне високе разлике температура (погонска сила), то није случај са одмрзавањем, јер велика разлика температуре утиче на повећање губитака масе током одмрзавања и микробиолошки квалитет меса. Иако модерна технологија тежи брзом смрзавању, процес одмрзавања треба да се проводи споро (Feiner 2006) како би се избјегло нарушавање структуре производа. Оптимално вријеме одмрзавања треба да буде око четири пута дуже од времена смрзавања. Неодговарајући услови одмрзавања могу озбиљно да утичу на квалитет, нутритивну вриједност, принос и безбједност производа од меса (Elansari and Bekhit 2017).

Проведено је низ истраживања која су за циљ имала развој метода одмрзавања: одмрзавање на собној температури, одмрзавање код температура нижих од собне температуре, одмрзавање у пари, контактано одмрзавање итд (Chandirasekaran and Thulasi 2010). Конвенционалне методе одмрзавања могу утицати на квалитет меса и довести до раста микроорганизама, повећаног губитка масе током одмрзавања, губитка боје, смањена способности везања воде, развоја ужеглости и дјелимичне денатурације протеина (Zhuang and Savage 2012). Chandirasekaran and Thulasi (2010) су истраживали утицај микроталасног одмрзавања са неким класичним методама и утврдили да је микроталасно одмрзавање најбржа метода (10 мин), док је одмрзавање на собној температури најспорије. Испитивана је могућност коришћења неколико нових технологија одмрзавања меса: одмрзавање под високим притиском, микроталасно одмрзавање, омско одмрзавање, одмрзавање помоћу ултразвука, одмрзавање помоћу радиофреквентног загријавања и одмрзавање у вакууму (Dong et al. 2011; Gambuteanu et al. 2013). Ове модерне методе одмрзавања имају за циљ минимизирање губитка масе током одмрзавања и очување квалитета прехранбених производа. Оне захтијевају употребу специфичне опреме, због чега њихова употреба може бити ограничена високим инвестиционим трошковима.

5.3. Нове технологије за прераду и конзервацију хране

5.3.1. Радиофреквентно и микроталасно загријавање

Међу новим поступцима за обраду хране издвајају се технологије које се заснивају на принципу диелектричног загријавања. Диелектрично загријавање омогућава брзо и уједначено загријавање хране и осигурава безбједност и квалитет прехранбених производа (Zhao et al. 2000). Диелектрични поступци се заснивају на интеракцији јонских набоја и дипола садржаних у прехранбеном производу са електромагнетним пољем, које омогућава загријавање производа по цијелој запремини (Pereira and Vicente 2010). На принципу диелектричног загријавања засновани су микроталасно загријавање (МТ) и радиофреквентно загријавање (РФ) (Piyasena et al. 2003). Ове технологије нуде брзо загријавање хране без директног контакта, али оне се међусобно разликују према начину стварања и дубини продирања електромагнетских таласа (Wang et al. 2003). Khan et al. (2017) су цитирајући истраживања проведена у посљедње двије деценије, навели низ примјера коришћења радиофреквентног и микроталасног загријавања у преради хране.

Интензивно се изучава примјена радиофреквентног загријавање (РФ) за сушење производа од меса у комадима (на примјер, сушење пршута). РФ технологија се такође користи за одмрзавање меса. Пастеризација надјева кобасица помоћу РФ има низ предности у односу на класичне технологије (на примјер, повећање енергетске ефикасности, повећање дубине продирања таласа и повећање квалитета производа). Обрада меса са РФ утиче на смањење времена обраде и губитак сока, те побољшање сензорних својстава (боја и текстура производа) и квалитета производа од меса. Третирање меса током сушења пршута помоћу РФ технологије повољно утиче на одрживост готовог производа.

Misra et al. (2017) су приказали развојни пут РФ од фазе истраживања до практичне примјене у прехранбеној индустрији. Према њиховим наводима, радиофреквентно загријавање је први пут кориштено током сушења меса. Иако су добијени задовољавајући резултати, практична примјена РФ је одложена због високих трошкова енергије потребне за обраду. То питање је касније ријешено, што је подстакло на нове облике примјене РФ (на примјер, пастеризација емулзије кобасица).

Први покушаји примјене РФ током прераде сировина биљног поријекла били су средином 20. вијека током печења хлеба и сушења поврћа. 1960-их година двадесетог вијека, РФ технологија је кориштена током одмрзавања смрзнутих производа, а 1974. године у практичну примјену уведена је РФ технологија у производњи воћних сокова од брескве, дуње и наранџе.

Технологије засноване на РФ не утичу на смањење укупног квалитета прехранбених производа. Tang et al. (2005) су утврдили да не постоје значајне разлике у садржају протеина, масти, воде, пепела и натријум-хлорида у ролницама од ћурећег меса које су топлотно третиране помоћу РФ и водене паре.

Они су такође утврдили да третмани производа под наведеним условима не утичу на садржај витамина тиамина и рибофлавина.

Микроталасно загријавање (МТ) се користи у прехранбеној индустрији током сушења, стерилизације, пастеризације, темперирања, одмрзавања или печења прехранбених производа. Истраживање и практична примјена МТ показују низ предности у односу на класичне технологије. Те предности се односе на: вријеме топлотне обраде, безбједно руковање, равномјерно загријавање, једноставно одржавање и лако руковање (Chandrasekaran et al. 2013).

МТ дјелује конзервишуће на микроорганизме. Поред тога, микроталаси врло ефикасно инактивирају ензиме у различитим намирницама. Shenga et al. (2010) су током пастеризације јаја и љуске јајета помоћу МТ (инактивација *S. Typhimurium*) добили добре резултате без оштећења љуске. Примјена МТ је ограничена на храну са високим садржајем воде и масти.

Истраживања су показала да примјена МТ технологија у одређеном степену може имати негативан утицај на нутритивну вриједност хране (Khan et al. 2017). Cinquanta et al. (2010) су показали да третман хране на 70°C у трајању од 1 мин узрокује губитак садржаја каротеноида (заостала количина витамина 13%) уз незнатно смањење садржаја витамина С (преостала количина витамина 96,1% - 97%).

Chandrasekaran et al. (2013) су анализирали различите начине примјене микроталасне обраде хране (микроталасна пећница, микроталасна пастеризација и микроталасно сушење). Размотрили су предности и факторе који утичу на микроталасно кување хране и микроталасну пастеризацију свјежих сокова, млијека и других прехранбених производа. И почетку 21. вијека настављена су истраживања о могућностима кориштења радиофреквентног (РФ) загријавања током сушења производа биљног поријека (на примјер, поврће, зачини, производи од кромпира, тјестенине и снек производи итд). Како наводе Khan et al. (2017), РФ загријавање има примјену у пекарској индустрији током процеса печења тијеста.

Познавање диелектричних особина је веома важно за пројектовање микроталасне пећнице. Утврђено је да на расподјелу температуре током загријавања микроталасима утичу облик, величина и положај хране која се обрађује.

Производи припремљени у микроталасној пећници боље задржавају укус, боју, квалитет и храњиву вриједност у поређењу са производима који су топлотно обрађени класичним методама. Због већег топлотног утицаја, микроталасна пастеризација омогућава уништење микроорганизама на температурама знатно нижим од оних које су потребне код конвенционалне пастеризације. Утврђено је да је микроталасна пастеризација ефикасна у уништавању патогена и инактивацији ензима. Комбинација микроталасног са другим методама сушења, као што су сушење на ваздуху или инфрацрвено сушење, или сушење у вакууму, или сушење комбиновано са смрзавањем, даје производе бољих карактеристика у односу на производе сушене појединачним методама или сушене само микроталасима.

Треба нагласити да, без обзира на позитиван утицај МТ на смањење присуства патогених микроорганизама и инактивацију ензима у храни, његова примјена и даље остаје контраверзна. Поступак пастеризације хране помоћу МТ технике комерцијално се користи у неким европским земљама, док америчка прехранбена индустрија још увијек нерадо прихвата ову технологију (Khan et al. 2017).

Потребно је наставити истраживања у циљу побољшања примјене и могућности њеног кориштења у одређеним областима. Посебно треба истражити методе за добијање готових прехранбених производа са задовољавајућим сензорним и нутритивним својствима. Обраду прехранбених производа микроталасима прво треба провести у лабораторији, затим на пилот постројењима и на крају у индустријским условима (Chandrasekaran et al. 2013).

5.3.2. Употреба ултразвука и мегазвука

Употреба енергије звука у прехранбеној индустрији је релативно нова. Развоју технологије, која се заснива на примјени звука, помогло је раније кориштење ултразвука за мјерења, дијагностиковање и боље познавање интеракција између енергије звука и хране. Ултразвук представља дио свјетлосног спектра фреквенције изнад 20 kHz (Rastogi 2011). Конзервишуће дјеловање ултразвука је везано за кавитацију, која се јавља у третираној течности. Ова појава утиче на повећање силе смицања, што се може употријебити током процеса чишћења, хомогенизације или смањења онечишћења (Roselló-Soto et al. 2015; Zinoviadou et al. 2015).

Због широког опсега фреквенција (од ≈ 20 kHz до > 2 MHz) и велике флексибилности технологије ултразвука, постоје бројне потенцијалне и тренутно примјењиве апликација ултразвука у прехранбеној индустрији. Детаљан преглед неких могућности описали су Feng et al. (2011) и Knoerzer et al. (2016). Ултразвук се користи у дијагностици и поступцима резања смрзнуте или хране меке конзистенције, те током процеса хомогенизације производа (на примјер, умаци и мајонез), екстракције (на примјер, повећање приноса ароматичних и нутритивних материја, деареације (на примјер, уклањање гасова из течних производа прије конзервирања или пуњења) итд (Tiwari and Mason 2012). У свом раду Misra et al. (2017) навели су више актуелних примјера употребе ултразвука: нове методе за израду пјене, нове методе за промјену мицела казеина у производима од млијека, нове методе за промјену текстуре и структуре хране, нови поступак за издвајање млијечне масти из млијека. Примјена технологија, које се заснивају на примјени ултразвука високог интензитета, има велику могућност у преради млијека и побољшању функционалних својстава готових производа (Guimaraes et al. 2018).

5.3.3. Технологија пулсирајуће свјетлости и ултраљубичасте свјетлости

Технологија пулсирајуће свјетлости обухвата примјену интензивних и кратких импулса (100–400 ms) "бијеле свјетлости" (таласне дужине 200–1110 nm), односно пулсирајућа ултраљубичаста свјетлост (таласна дужина < од 380 nm). Најинтензивније дјеловање на микроорганизме има ултраљубичаста свјетлост таласне дужине од 254 nm (Jimenez-Sanchez et al. 2015; Kaya and Unluturk 2016). Ефикасност дјеловања ове пулсирајуће свјетлости одређују сљедећи параметри: транспарентност медија/хране који се третира, доза енергије, број импулса и дебљина производа. Осим тога, на ефикасност примјене ултраљубичасте свјетлости утичу таласна дужина и трајање третмана (Palgan et al. 2011; Morales-de la Pena et al. 2019). Механизам инактивације микроорганизма помоћу ултравиолентне свјетлости заснива се на разградњи нуклеинских киселина, оштећењу интегритета цитоплазматских мембрана и нарушавању активности ензима (Ramos-Villarroel et al. 2012).

Morales-de la Pena et al. (2019) су анализирали резултате већег броја истраживања и као могуће правце примјене технологије пулсирајуће свјетлости и предлажу сљедеће могућности: деконтаминација површина у контакту са храном, деконтаминација течних производа и воде и деконтаминација пилећег меса. McLeod et al (2018) су примјеном пулсирајуће свјетлости различитих утицаја (1,25–18 J/cm²) смањили популацију неколико врста патогених микроорганизма у свјежем пилећем месу: *Salmonella enteritidis* (0.9–2.4-log), *Listeria monocytogenes* (1.1– 2.0-log), *Staphylococcus aureus*(1.3–3.0-log), *Escherichia coli* (1.1– 2.9-log), *Pseudomonas* (1.7–3.0-log), *Brochothrix thermospacta* (1.3–3.0-log) и *Carnobacterium divergens* (1.5–1.8-log).

5.3.4. Обрада хране високим притиском

Обрада хране помоћу високог притиска (ХХП) може испунити захтјеве потрошача који предност дају свјежој, природној и здравој храни (Alpas 2016), односно храни бољег укуса, продуженог рока трајања и израђеној без додатка адитива. ХХП се описује као поступак обраде хране ултрависоким притиском или високим хидростатским притиском (Грујић 2003; Khan et al. 2017). Високи притисак је први пут примијењен у прехранбеној индустрији почетком 19. вијека (Medina-Meza et al. 2014).

У производњи хране користе се притисци у распону од 100 МПа до 900 МПа (Fons-Sole i sar. 2004; Morales-de la Pena et al 2019). Овим притиском храна се обрађује одређено вријеме (5-20 минута). Као медијум за стварање притиска служи вода за пиће, јер она испуњава потребне хигијенске захтјеве. Запремина хране се смањује пропорционално количини примјењеног притиска. Овом техником се истовремено обрађује цијели производ, без обзира на његову величину и облик. Током третмана, производ задржава свој првобитни облик. Пошто је притисак у

цијелој количини производа (паковања) једнак, то у производу не настају шупљине, које нарушавају структуру и изглед и у којима се могу задржати микроорганизми. Предности ХХП над обрадом хране која подразумева повећање температуре производа, односе се на смањење оштећења због дјеловања топлоте, краће вријеме обраде, задржавање свјежине, текстуре и боје, очување садржаја витамина С итд (Vega-Galvez et al. 2011; Barba et al. 2012; Pardo and Zufía 2012). Обрада хране високим хидростатским притиском не захтијева вријеме потребно за загријавање прије обраде и хлађење послје обраде, због чега је знатно краће у односу на термичке поступке (Fons-Sole i sar. 2004).

Инхибиција микроорганизама помоћу ХХП је посљедица промјена у структури ћелијских мембрана (Santhirasegaram et al. 2016). Неке хемијске реакције изазване ХПП, такође, дјелују у правцу инактивације микроорганизама (Georget et al. 2015). Од свих микроорганизама плијесни су најосјетљивије на утицај ХХП, док су споре неких бактерија веома отпорне на ову врсту третмана (Uchida R and Silva 2017).

Третман високим притиском, генерално, има дјелотворан утицај на инактивацију већине вегетативних облика патогених микроорганизама и микроорганизама који изазивају кварење хране при притисцима између 300 МПа и 500 МПа и до 50°C (Alpas et al. 1999). Треба напоменути да отпорност вегетативних микроорганизама зависи од врсте микроорганизама и од фазе раста. Поред тога, на отпорност микроорганизама утичу састав хране, рН, активност воде и присуство антимикробних супстанци. Степен инактивације се може повећати при вишим или нижим температурама. Alpas et al. (2000) су доказали да високи хидростатски притисак примијењен у комбинацији са благом топлотом и повећаном киселомашћу, може бити ефикасан метод за инактивисање *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli O157:H7* и *Salmonella*. Умјерено високи притисци (300-600 МПа) убијају вегетативне облике, смањују стопу раста и размножавања микроорганизама, док врло високи притисци узрокују инактивацију микроорганизама. Најчешће кориштени притисци од 350 МПа у трајању 30 минута, или 400 МПа у трајању од 5 минута, узрокују десетороструко смањење броја вегетативних ћелија бактерија, квасаца или плијесни (Грујић и сар. 2007). Сматра се да су повећање пермеабилности ћелијских мембрана и губитак интрацелуларног садржаја главни узрци инактивације микроорганизама, денатурације ензима и заустављања реакција метаболизма у ћелијама микроорганизама.

Високи хидростатски притисак инхибира дјеловање ензима у храни. Истраживања су показала да сви ензими нису подједнако осјетљиви на високе притиске. Високи притисак инхибира дјеловање једног броја ензима, док истовремено стимулише дјеловање других ензима, а на треће ензиме нема никаквог утицаја. Цитирајући резултате више истраживања Fons-Sole i sar. (2004) наводе примјере ензима на које се односи претходно речено: пероксидазе из грашка могу издржати притисак до 1200 МПа; реакције које се одвијају под утицајем целулаза могу бити убрзане до 15 пута, док се многи ензими на собној температури инактивишу код притиска 100-200 МПа.

Иако се помоћу високог хидростатског притиска могу обрађивати и течни и чврсти производи, поступак се не може универзално примијенити на све врсте прехранбених производа. Посебно погодни за обраду помоћу ХХП су кисели прехранбени производи. Високи хидростатски притисак се најчешће примјењује током прераде воћа и поврћа, али постоје примјери практичне примјене током израде производа животињског поријекла: полуготова и готова јела са месом и поврћем, остриге, шунка, комадићи пилећег меса итд (Khan et al. 2017), јогурта, желеа, дресинга за салате итд.

У свијету је схваћен значај ХХП-а за спречавање кварења хране и очување сензорних, нутритивних и функционалних својстава третираних производа (Alpas 2016; Wang et al. 2016). Према наводима Misra et al. (2017), ХХП се користи за израду производа од млијека (на примјер, сир, кравље млијеко), рибе и плодови мора (на примјер, атланска скуша, калифорнијска пастрмка), меса и производа од меса (на примјер, говеђе месо), производа од воћа и поврћа (на примјер воћни сокови), готове хране, салате и умаци, храна за кућне љубимце (Barba et al. 2012; Alpas 2016).

5.3.5. Високи хидродинамички притисак

Поред претходно описаног поступка високог хидростатског притиска, у сврху хомогенизације или стварања емулзије примјењује се високи хидродинамички притисак (ХДП). Овај поступак је познат и под називима "хомогенизација под високим притиском (притисак 150 - 200 МПа) или "хомогенизација под ултра високим притиском" (притисак 350-400 МПа). У ту сврху се користи машина позната као хомогенизатор високог притиска. Овај поступак се најчешће примјењује у индустрији прераде млијека (до 50 МПа). Течност се пропушта кроз веома уски отвор у генератору високог притиска. Том приликом долази до пада притиска, који генерише интензивне механичке силе и напрезање у ламинарном току на улазу вентила (Schuchmann 2016). Долази до уситњавања капљица и деагломерације честица, које значајно утичу на квалитет одређених производа. Овај поступак хомогенизације је прилично ефикасан у поређењу са другим техничким рјешењима.

Током низа истраживања доказано је да високи хидродинамички притисак (било сам, било у комбинацији са другим поступцима) дјелује на патогене микроорганизме тако што доводи до деградације ћелија бактерија. Та чињеница је одређујућа за његово кориштење током израде различитих прехранбених производа (на примјер, млијека) (Misra et al. 2017). Поред тога, високи хидродинамички притисак може да промијени структуру макромолекула у храни и дјелује на стабилност ензима. Yuan et al. (2012) су испитивали утицај високог хидродинамичког притиска на молекуле протеина и утврдили да под притиском долази до реакција агрегације и хидрофобних интеракција, посљедица чега су промјене у структури протеина. Ове промјене су веома важне за макроструктуру колоида у различитим производима (Trujillo et al. 2016; Misra et al. 2017).

Примјену високог хидродинамичког притиска током израде различитих производа од млијека (на примјер, јогурт и сир) детаљно су описали Trujillo et al. (2016). Током експеримента је добијен јогурт одличног квалитета, код којег током складиштења није дошло до синерезе. У овом случају не постоји потреба за додавањем млијека у праху и додатног побољшања текстуре, што је често неопходно током конвенционалне производње јогурта. Позитивне промјене у микроструктури и текстури сирева, због бољег задржавања сирутке и боље повезаности молекула протеина, представљају потенцијал за развој нових сирева са високом физичком стабилношћу масних глобула и дјелимичном разградњом или агрегацијом мицела казеина. Иако ХДП има велики потенцијал за практичну примјену, неопходно је досадашња испитивања, која су спроведена у лабораторији или на пилот опреми, потврдити у индустријским условима. Поред тога, неопходно је систематски радити на повећању енергетске ефикасности процеса (Schuchmann 2016; Trujillo et al. 2016).

5.3.6. Хипербарично складиштење

Неколико случајних догађаја је показало да се прехранбени производи могу успјешно чувати код повишеног притиска (већег од атмосферског) и ниских температура (Misra et al. 2017). Први случај: јабуке и сендвичи, који су се више мјесеци налазили у потопљеној подморници Алвин на дубини од 1540 m, притиску ≈ 15 MPa и температури 4°C , сачували су оригинална својства. Наиме, подморница је извађена 10 мјесеци након потапања, а сендвичи и јабуке у њој су били микробиолошки потпуно исправни и задржали су састав и првобитна сензорна својства. Други случај: соја, рижa и пшеница нису се промијениле након годину дана складиштења под водом на дубини од 30 m ($\approx 0,3$ MPa). Трећи случај: експеримент проведен током чувања свјеже рибе под притиском ($24,1$ MPa / 1°C) током 12 и 21 дана, показао је да је у наведеним условима дошло до инхибиције биохемијских реакција и раста микроорганизама у храни. Недавно је проведено више истраживања са циљем да се процијени оправданост конзервације хране под притиском на промјењивој (неконтролисаној) собној температури, а метода је добила назив хипербарично складиштење (Misra et al. 2017). Они (Misra et al. 2017) су навели резултате истраживања која су се односила на складиштење различитих производа, међу којима она која се односе на резану кувану шунку.

Предности примјене хипербаричног складиштења као методе конзервације хране су: мања потрошња енергије (Moreira et al. 2015), мањи отисак угљеника (Vermejo-Prada 2015), продужење рока трајања прехранбених производа у односу на производе складиштене само хлађењем (Pinto et al. 2016) итд.

5.3.7. Озонизација

Као што је познато озон (O_3) је алотропни облик кисеоника. Он посједује антимицробна и антиоксидативна својства (Naito and Takahara 2006; Cesar et al.

2012). Дјеловање озона на бактерије, Sarron et al. (2013) објашњавају на два начина: први механизам, озон оксидира ензиме аминокиселина, сулфхидрилне групе, протеине и пептиде, и други механизам, озон оксидује полинезасићене масне киселине и преводи их у пероксиде. Послије деградације незасићених липида ћелијске опне постају пропустљиве па ћелијски садржај кроз њих лакше излази, што доводи до угинућа микроорганизама. Практична примјена озона има низ предности: потпуна разградња на гасовити кисеоник, висок оксидациони потенцијал (од 2,07 V) који га чини ефикасним антимикуробним средством, утицај на различите микроорганизме у релативно ниским концентрацијама, утицај на различите материје садржане у ћелијама микроорганизама (полинезасићене масне киселине, нуклеинске киселине, цитоплазматски ензими итд) (Fisher et al. 2000; Das et al. 2006). У Сједињеним Америчким Државама Министарство за храну (ФДА) је одобрило употребу гасовитог и течног озона као антимикуробног агенса за кориштење током складиштења, обраде и прераде прехранбених производа (Khadre et al. 2001).

Озон у високој концентрацији дјелује кородивно, што мијења сензорна својства и негативно утиче на прихватљивост прехранбених производа (Akbas and Ozdemir 2006). Поред тога, високи трошкови и ниска ефикасност током инактивације неких врста микроорганизама (споре, вируси и цисте) ограничавају већу употребу озона у прехранбеној индустрији.

5.3.8. Пулсирајуће електрично поље

Технологија пулсирајућих електричних поља (ПЕФ) обухвата примјену кратких пулсева (трајање од микросекунде до милисекунде) електричног поља интензитета реда 20-40 kV/cm (Fons-Sole i sar. 2004). Santhirasegaram et al. (2016) под ПЕФ подразумевају дјеловање високонапонских импулса (15–80 kV/cm) у кратком времену (μs -ms) на храну, која пролази између двије електроде.

Инактивација микроорганизама у електричном пољу се заснива на више механизма: формирање пукотина у ћелијским мембранама, настанак слободних радикала, који индукују оксидацију и промјене у ћелијској структури, нарушавање метаболизма, формирање топлоте током трансформације индуковане струје итд.

ПЕФ је алтернативна не-термичка техника пастеризације која се, захваљујући способности да инактивише микроорганизме, користи за продужење одрживости прехранбених производа. Ова технологија је једна од највише истражених технологија од свих не-термичких техника и често се примјењује у преради хране. Примјена ове технологије смањује посљедице одређених промјена у биолошким материјалима које могу настати током обраде производа помоћу топлоте или додавања хемијских материја или ензима (Donsi et al. 2010; Vorobiev and Lebovka 2010).

Најважнији параметри ПЕФ-а који утичу на инактивацију микроорганизама су снага електричног поља, вријеме обраде, број импулса и ширина импулса (Hamilton and

Sale 1967). Да би инактивација микроорганизама била успјешна потребно је у релативно кратком временском периоду обезбиједити велики број импулса електричног поља ($> 18 \text{ kV/cm}$) (Khan et al. 2017). ПЕФ има неколико критичних параметара, које треба узети у обзир током оптимизације процеса обраде (на примјер, јачина електричног поља, вријеме обраде, облик импулса, ширина импулса, фреквенција импулса, поларитет и температура).

Антимикробна активност ПЕФ зависи од многих фактора, укључујући јачину електричног поља, вријеме и температуру третмана, облик таласа пулса, врсту и почетни број микроорганизама, те карактеристике производа који се обрађује. Код третирања производа са струјом уједначених пулсева, инактивација микроорганизама се повећава са повећањем броја пулсева. Martin-Belloso et al. (1997) су утврдили да се инактивација *E.coli* у течном јајету повећава са повећањем трајања импулса за константан број пулсева. Инактивација микроорганизама линеарно корелира са интензитетом ПЕФ, тако да већи интензитет води ка већем уништењу микроорганизама. Већи интензитет ПЕФ може утицати на сензорна својства прехранбених производа (Khan et al. 2017).

У имплементацији ПЕФ третмана у прехранбеној индустрији уочени су неки недостаци: тешкоћа у преради производа са високом електричном проводљивошћу, високи почетни трошкови за развој постројења за третман ПЕФ, недостатак информација о “анализи животног циклуса производа” на основу којег би се процијенио стварни утицај и цијена у односу на конвенционалне методе топлотне обраде хране.

За потребе пастеризације ПЕФ-ом се могу третирати само хомогене течности. ПЕФ је нови не-термички поступак конзервисања хране који се интензивно користи као замјена за топлотне третмане (Cortes et al 2008). Овај поступак се може користити за ефикасно смањење броја микроорганизама у храни уз устовремено очување квалитета производа (боја, мирис, укус и садржај храњивих материја).

Технологија пулсирајућих електричних поља у будућности може постати једна од водећих метода не-термичке обраде и конзервисања хране. Низ експеримената проведених током конзервисања јаја, млијека, јогурта, меса и других намирница показали су да пулсирајућа електрична поља не само да инактивирају микроорганизме и ензиме него значајно утичу на продужење одрживости производа уз минималну промјену физичких и хемијских својстава хране (Martin-Belloso et al. 1997; Fons-Sole i sar. 2004; Grujić i sar. 2007; Gómez et al. 2019).

Фреквенција, ширина импулса и поларитет пулса током обраде сока од јагоде имају утицај на антиоксидативни потенцијал сока (Odriozola-Serrano et al. 2009). Khan et al. (2017) утврдили утицај ПЕФ на садржај фенолних једињења и антоцијана и на сензорна својства вина.

Технологија пулсирајућих електричних поља врло ефикасно дјелује на микроорганизме и ензиме, повољно утиче на продужење одрживости производа уз минималну промјену физичких и хемијских особина хране, па би у скорој будућности могла постати једна од најпримјењиванијих метода не-термичке

обраде и конзервисања хране (Grujić i sar. 2007). Технологије пулсирајућих електричних поља високог интензитета може се користити за повећање приноса воћних сокова, третман воде, спречавање биоонечишћења у води итд.

5.3.9. Омско загријавање

Омско загријавање (електрично загријавање) представља једну од директних техника електромагнетног загријавања, код које се електрична струја директно примењује за загријавање хране. Омско загријавање је познато као Џулово (Joule) гријање, електропроводљиво загријавање, гријање директним електричним отпором, и електрично загријавање. Ово је техника стерилизације која се може дефинисати као “процес у коме се електрична струја пропушта кроз храну да би се она загријала” (Sastru and Barach 2000; Sastru 2005). Омско загријавање не захтијева пренос топлоте кроз чврсту и течну храну или унутар чврстих честице у течној храни (Khan et al. 2017). Концепт омског загријавања није нов и његова прва примјена у преради хране била је у 19. вијеку када је примјењено за пастеризацију млијека (Misra et al. 2017). До интензивније примјене технологије омског загријавања дошло је осамдесетих година 20. вијека. Посебан утицај на овај напредак је имала замјена скупих титанијумових електрода са електродама од нерђајућег челика (Chen et al. 2010).

Током омског загријавања долази до оштећења ћелија микроорганизама, што узрокује њихову инактивацију (Sun et al. 2008). Ниска фреквенција струје (50-60 Hz) дјелује у правцу формирања набора и пукотина на површини микроорганизама (Knirsch et al. 2010), што у поређењу са традиционалним топлотним техникама смањује D-вриједност код многих врста микроорганизама (на примјер, *Bacillus licheniformis*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Streptococcus thermophilus* и *Byssochlamys fulva*) (Pereira et al. 2007). Утицај омског загријавања на инактивацију квасца (*Saccharomyces cerevisiae*) израженије је код повишених температура, док код ниских температура нема разлике у инактивацији квасаца омским и класичним поступком загријавања.

5.3.10. Хладна атмосферска плазма

Хладна плазма настаје током електричног пражњења у гасовима код атмосферског притиска (или у вакууму). Настајање плазме је посљедица дјеловања електромагнетног поља на гас (обично O₂ или N₂), при чему настаје смјеса различитих хемијских облика (електрони, јони, ултравиолетни фотони и набијене честице). Настале честице реагују са састојцима хране (Вајер et al. 2015). Хемијски облици из хладне плазме брзо и ефикасно инактивишу микроорганизме. Како наводе Misra et al. (2017) и Barba et al. (2018), међу не-термалним технологијама у настајању, хладна плазма заузима значајно мјесто. Врло брзо хладна плазма је нашла примјену као нови поступак дезинфекције у прехранбеној индустрији.

Посљедњих година хладна плазма је примијењена у медицини, пољопривреди и конзервасању и преради хране.

Хладна плазма ефикасно дјелује током инактивације патогених бактерија, бактерија изазивача кварења хране, затим инактивацији спора и вируса у прехранбеним производима (Julák et al. 2011; Sysolyatina et al. 2014; Vujadinović et al. 2014b; Vukić et al. 2016; Puligundla and Mok 2016; Vukić et al. 2017; Barba et al. 2018). Хладна плазма се може користити за стерилизацију амбалажних материјала и конзервасање хране упаковане у пластичне фолије: спанаћ, јагоде, чери парадајз, сир (Misra et al. 2017), свињско месо (Fröhling et al. 2012), говеђе месо (Jayasena et al. 2015) и месо перади (Wang et al. 2016).

Треба поменути могућности комбинованог дјеловања хладне плазме са другим поступцима конзервасања. Matan et al. (2014) су предложили истовремено третирање хране са хладном плазмом и биљним екстрактима или етеричним уљима који показују антимикробно дјеловање.

5.4. Комбиновано дјеловање више поступака конзервасања и технологија препрека

Потрошачи су веома заинтересовани за минимално прерађене прехранбене производе (Mukhopadhyay and Ukuku 2018), производе у које нису додати адитиви, производе који имају већу безбједност и дужи рок употребе (Khan et al. 2016). Захваљујући овим чињеницама, концепт препрека (познат као комбиноване методе, комбиновани процеси, технологија препона или комбиноване технике) је технологија која истовремено утиче на смањење губитака нутритивног и сензорног квалитета и побољшање безбједности хране (Leistner 1985; Rahman 2015). Технологија препрека се заснива на синергистичком дјеловању различитих фактора (на примјер, рН, a_w , садржај соли, температура складиштења, итд.). На инхибицију или инактивацију микроорганизама (Rahman et al. 2016). Примјена ове технологије има за циљ повећање укупног квалитета хране уз истовремено смањење интензитета примјењеног третмана (Leistner 1985). Употреба технологије препрека се сматра једним од кључних праваца развоја поступака чувања хране у будућности.

Комбиновано дјеловање топлоте и пулсирајућег електричног поља има синергистичко дјеловање на смањење броја бактерија и продужење рока трајања млијека (Sharma et al. 2014). Mertens (1992) је утврдио да током комбинованог дјеловања пулсирајућег електричног поља и топлотне обраде (60-75°C) долази до смањења броја бактерија у хладном млијеку и продужења трајности у односу на третмане појединачним поступцима. Примјена пулсирајућег електричног поља током загријавања обраног млијека повољно дјелује на квалитет, присуство бактерија и рок одрживости млијека у поређењу са појединачним ПЕФ третманима

или примјеном само конвенционалног поступка загријавања млијека (Walkling-Ribeiro 2009; 2015).

Khan et al. (2017) наводе неколико истраживања о комбинованом дјеловању гама зрачења (γ -зрачења) и смрзавања свјежих шампа; синергијском инхибиторном дјеловању против *Listeria monocytogenes* у шунки, када је γ -зрачење комбиновано са етарским уљем оригана, етарским уљем цимета и низином. Трајност овако израђених производа је продужена до 28 дана, а број бактерија у производима није достигао ниво детекције.

Синергистичко дјеловање озона и топлоте, односно озона и ултравиолентног зрачења показало је добре резултате на инактивацију *Salmonella enterica* и *Salmonella enteritidis* у јајима, те спора и вегетативних ћелија *Clostridium perfringens* на површини комада говеђег меса (Khan et al. 2017).

Да би се смањило вријеме обраде, осигурала безбједност хране и повећао квалитет производа, постоји интерес да се примјена микроталаса комбинује са другим техникама за прераду хране. Chandrasekaran et al. (2013) су комбиновањем технологије микроталаса са другим методама сушења (сушење на ваздуху, сушење помоћу инфрацрвених таласа, сушење у вакууму или сушење смрзнутих производа лиофилизацијом), добили боља својства осушених производа у односу на производе осушене само у микроталасној пећници. Maktabi et al. (2011) су анализирали комбиновано дјеловање загријавања хране помоћу ултравиолентних таласа, ласерског зрачења или микроталасног зрачења у поређењу са конвенционалним методама загријавања на *E coli* и друге патогене бактерије. Резултати су показали да је укупна редукција бактерија била значајно већа када су конвенционалне топлотне третмана (ултравиолентно, ласерско или микроталасно загријавање) провели у серији у односу на збир редуктованих вриједности када је храна обрађена појединачним третманима. Поред тога, ови аутори (Maktabi et al. 2011) су закључили да редослијед третмана током конзервисања препрекама, такође, има утицај на смањење броја бактерија у узорцима хране.

5.5. Примјери употребе нових технологија

5.5.1. Примјена пулсирајућег електричног поља током сољења свињског меса

Пулсирајуће електрично поље, као што је раније описано, је технологија која утиче на пермеабилност ћелијских мембрана. Када се храна постави између двије електроде, које емитују понављајуће кратке импулсе струје високог напона, долази до формирања пукотина у ћелијским мембранама. Ова појава може утицати на структуру хране, способност задржавања воде и побољшање преноса масе (McDonnell et al. 2014). С обзиром да третман не утиче на повећање температуре хране, прехранбени производи након обраде задржавају висок

квалитет. Обрада свињског меса пулсирајућим електричним пољем (3 kV/cm; 5 kJ/kg) прије потапања у саламуру може побољшати дифузију соли у месо (Тоерфл et al. 2007).

McDonnell et al. (2014) су објавили резултате својих истраживања о утицају пулсирајућег електричног поља на процес самалурења и дифузије соли у комаде свињског меса. Испитивање су провели на *M. Longissimus thoracis et lumborum* 48 сати *post-mortem* (мишићи су имали рН вриједност између 5,5-5,8). Из сваког мишића је издвојено по 9 узорака (6 x 2 x 2 cm, 30 ± 0,5 g). Након тога узорци су обрађени пулсирајућим електричним пољем (максимални излазни напон од 25 kV, ширина импулса од 4-32 ms и фреквенција од 1000 Hz). Размак између електрода је био константан (60 mm). Резултати ових истраживања показују да технологија пулсирајућег електричног поља убрзава процес дифузије соли и скраћује вријеме сољења свињског меса.

5.5.2. Обрада говеђег меса помоћу микроталаса и гама-таласа (γ-таласа)

Примјена гама зрачења (испод 10 kGy) може се користити за елиминисање или знатно смањење броја микроорганизама, узрочника кварења хране и патогених микроорганизама који се преносе храном (Lee et al. 1995). Јонизујуће зрачење и микроталасно загријавање синергистички дјелују на инактивацију микроорганизама (Shamsuzzaman et al. 1992). Промјена ових поступака омогућава прераду хране код нижег нивоа радијације и ниже температуре у односу на појединачну примјену ових поступака. Поред тога, комбиновани поступак омогућава постизање бољих сензорних својстава и боље микробиолошке безбједности прехранбених производа у односу на производе који су обрађени само зрачењем или само топлотом.

Nagy et al (2002) су провели испитивање које је имало циљ да утврди утицај γ-зрачења и третмана микроталасима узорака свјежег говеђег меса, мљевеног меса и пљескавица од говеђег меса, на присутне микроорганизме и њихов раст током складиштења на 5°C. Поред тога, испитали су утицај појединачних и комбинованих третмана на хемијски састав и сензорна својства говеђег меса. Као извор γ-зрака користили су Cobalt-60 (2,5 kGy/h). Узорци меса су озрачени гама зрацима у дози од 1,0 kGy; 3,0 kGy и 5,0 kGy, након чега су складиштени 2 седмице на 5°C. У другом експерименту узорци меса су загријавани у микроталасној пећници на радној фреквенцији од 2,450 MHz у трајању од 10, 20 или 30 s. Након загријавања, узорци су остављени у пећници још 3 минута како би се успоставила унутрашња равнотежа топлоте. У трећем експерименту узорци говеђег меса су обрађени комбинованим третманом: зрачење γ-зрацима (различите дозе) и микроталасно загријавање 20 s. У различитим интервалима током складиштења на 5°C, узимани су узорци који су кориштени за микробиолошке, органолептичке и хемијске анализе.

Када су узорци говеђег меса са почетним бројем бактерија од $4,9 \times 10^6$ CFU/g изложени гама зрацима у дози од 5,0 kGy, број бактерија је смањен за 2-3 log циклуса. Када су узорци након третмана загријани у микроталасној пећници, број бактерија је смањен за 1 log циклус (излагање 20 s) и за 2 log циклуса (излагање 30 s). Необрађени узорци меса на 5°C имали су рок трајања краћи од 7 дана, док су узорци који су били озрачени дозом од 3 kGy, затим загријани у микроталасној пећници 20 s имали рок трајања дужи од 2 седмице. Третман γ -зрацима је имао веома мали утицај на мирис и укусу претходно третираних узорака. Аутори (Nagy et al. 2002) су закључили је да комбиновани третмани говеђег меса и производа од меса помоћу гама зрака (3,0 kGy) и микроталасног загријавања (излагање 20 s) значајно повећава одрживост и безбједност производа уз мали утицај на његов хемијски и сензорни квалитет.

5.5.3. Примјена пулсирајућег електричног поља у преради млијека

Током посљедње деценије у свијету су порасли захтјеви потрошача за куповином млијека, током чије прераде и складиштења су кориштене технологије које могу побољшати квалитет и стабилност производа и смањити потрошњу енергије током обраде, односно технологија које не угрожавају безбједност производа и процеса производње. Једна технологија која може испунити наведене захтјеве јесте обрада млијека пулсирајућим електричним пољем (ПЕФ).

Busckow et al (2014) су описали могућност кориштења пулсирајућег електричног поља за обраду млијека током његовог складиштења. Ранија истраживања, о чему је писано на претходним страницама, показала су да пулсирајуће електрично поље дјелује конзервишуће тако што инхибира патогене микороорганлизме и микроорганлизме који утичу на кварење млијека. Busckow et al (2014) су анализирали велики број истраживања о дјеловању пулсирајућег електричног поља на различите аспекте безбједности и квалитета млијека (инактивација микороорганлима, инактивација ензима у млијеку, хемијске промјене састојака млијека, промјена физичких својстава млијека, промјене функционалних својстава протеина и масти из млијека, те промјене сензорних својстава и нутритивне вриједности млијека). Након детаљног приказа проведених истраживања, аутори су дали своје мишљење.

Иако литература у потпуности не објашњава механизам хемијских и физичких промјена које настају током обраде млијека са ПЕФ-ом, јасно је да је величина тих промјена занемариво мала у односу на топлотну пастеризацију. У раду (Busckow et al 2014) приказан је утицај ПЕФ обраде млијека (параметри обраде: вријеме третмана 20-40 μ s, 30-35 kV/cm, излазна температура млијека 40-70°C) на одабране микроорганлизме, ензиме, хранљиве материје и функционалне и сензорне особине млијека. Под овим условима ПЕФ третмана, да би се избјегло прегријавање производа, потребно је провести најмање један интермедијарни корак хлађења. Обрада млијека помоћу ПЕФ-а утиче на инактивацију већине

микроорганизама без значајне промјене сензорних или функционалних својстава млијека. Висока отпорност неких ензима у млијеку може бити корисна (на примјер, лактопероксидаза), али у одређеним случајевима може утицати на смањење квалитета обрађеног млијека током складиштења. Предност кориштења ове технологије огледа се у малом ризику од проблема раслојавања, јер протеини у млијеку не денатуришу или коагулишу код ниских температура обраде. Обрада млијека ПЕФ-ом уз благо повећање температуре дјелује синергистички, што повећава ефикасност у инактивацији микроорганизама. Међутим, у том случају неопходно је извршити процјену ризика потенцијално лошег утицаја на карактеристике квалитета и/или рока трајања млијека.

Примјена ПЕФ технологије у индустрији прераде млијека и у наредним годинама ће представљати велики инжењерски изазов. Већина досадашњих истраживања је проведена са малом количином узорака на шаржној лабораторијској опреми. Пренос производње са пилот-постројења на производњу са индустријском опремом комерцијалног капацитета, често је веома тежак или неизводљив. Поред тога, примјена нове технологије захтијева велика инвестициона улагања, што поскупљује цијену готовог производа. Повећање трошкова ПЕФ процеса, у односу на конвенционалну топлотну обраду, може поднијети само израда производа који има високу цијену. Према томе, ову технологију је оправдано примијенити у сврху повећања безбједности и квалитета скупих производа од млијека (на примјер, колострум, сирутка и млијечни напици са воћем, течне млијечне формуле, биоактивни производи на бази млијека и сирово млијеко). Пастеризација млијека помоћу ПЕФ-а дјелује повољно на очување квалитета већине протеина и храњивих материја (на примјер, витамина) у млијеку, те сензорних својстава која су важна за потрошаче (на примјер, млијеко, сир и јогурт итд). Vuckow et al. (2014) сматрају да апликација ПЕФ-а захтијева нова систематска истраживања и процјену аспеката безбједности, квалитета и утицаја на здравље потрошача.

5.5.4. Примјена технологије пулсирајућег електричног поља током производње помфрита од кромпира

Fauster et al. (2018) су тестирали могућност примјене пулсирајућег електричног поља у процесу производње помфрита од кромпира у индустријским условима. Том приликом су анализирали утицај третмана на перформансе процеса производње и квалитет производа. Послије прања, кромпир се љушти и сијече. Након тога, слиједи оптичко сортирање, бланширање, сушење и пржење кромпира и на крају замрзавање и паковање готовог производа (Brennan and Grandison 2012). Постојећу шему производње могуће је проширити са обрадом кромпира пулсирајућим електричним пољем. Овај корак треба увести одмах након прања кромпира.

Принцип на којем се заснива утицај пулсирајућег електричног поља на квалитет готовог производа заснива се на дјеловању електричног поља на повећање пермеабилности мембрана у ћелијама кромпира. С обзиром на величину биљних

ћелија (10-100 nm), ниже вриједности електричног поља (1-2 kV/cm) могу довести до промјена на мембранама, што олакшава прераду сировине. У неколико истраживања, која су анализирали Fauster et al. (2018), утврђена је могућност за побољшања преноса масе и повећања ефикасности процеса екстракције различитих једињења из биљног материјала, када су исти претходно третирани са електричним импулсима. Додатном предобрадом помоћу пулсирајућег електричног поља, може се смањити унос уља у производ током пржења. Нижи унос уља, не само што повећава нутритивну вриједност производа, већ представља и економску корист за предузеће, јер је цијена уља често већа од цијене основне сировине (кромпира).

Истраживања која су проведене у лабораторијским условима прије 15-20 година показала су позитивно дјеловање технологије пулсирајућег електричног поља током обраде кромпира у процесу производње помфрита (на примјер, утицај на структуру, унос масти, ослобађање шећера и брзину сушења). То је био повод да се истражи могућност примјене пулсирајућег електричног поља (ПЕФ) на својства кромпира и квалитет помфрита добијеног од њега (Fauster et al. 2018). За испитивање је кориштен комерцијални кромпир са просјечним садржајем скроба од 13-15% и садржајем суве материје између 20 и 23%.

За третман кромпира у индустријским условима, кориштен је континуирани систем са паралелним плочастим електродама удаљеним 170 mm и максималним капацитетом од 20 t/h. Пошто је ПЕФ јединица постављена између машине за прање и уређаја (на пару) за гуљење кромпира, третман је неочишћени кромпир. Примјењени су правоугаони импулси са ширином импулса од 10 μ s са константном јачином поља од 1,0 kV/cm. Примјењена фреквенција је аутоматски подешена од стране ПЕФ јединице у зависности од масе производа (15-16 t/h) и проводности воде носиоца (600-800 μ S/cm), како би се одржао константан укупан специфичан унос енергије. Послије третмана ПЕФ-а, кромпир је прерађен у складу са установљеном шемом индустријске прераде.

Ова испитивања (Fauster et al. 2018) су указала на значајан утицај предтретмана кромпира са ПЕФ-а на процес производње помфрита: смањење количине покорице која се одваја током гуљења кромпира, мањи лом комадића кромпира током сјечења и мањи унос масти. То је имало повољан утицај на квалитет производа и ефикасност процеса. Поред тога, утврђено је значајно смањење количине скроба који се издваја из кромпира током сјечења и испирања комадића кромпира након сјечења. Аутори (Fauster et al. 2018) наводе и друге предности примјене пулсирајућег електричног поља на квалитет помфрита: лакше резања кромпира на уједначене комаде глатке површине, могућност кориштења третмана на неогуљени кромпир, смањење количине нуспроизвода, повољан утицај на процесе и производе у бочним токовима производне линије (на примјер, израда кромпир пиреа).

Замјена конвенционалног поступка предгријавања, који се користи за омекшавање ткива кромпира и који захтијева високу потрошњу енергије (> 100 kJ/kg), примјена пулсирајућег електричног поља захтијева само 0,2 kJ/kg (уз

одржавање или чак побољшање карактеристике квалитета) представља економску корист за предузеће. Додатна уштеда се може видјети у смањењу количине лома комада/штапића кромпира, смањењу губитка скроба и смањењу утроска масти током процеса пржења (Fauster et al. 2018).

5.6. Закључак и будући трендови

Током посљедње двије деценије дошло је до великих промјена у прехранбеној индустрији. Без обзира што је задржана већина принципа класичних технологија, уведени су нови поступци обраде и конзервисања намирница биљног и животињског поријекла. Очекује се да ће овај тренд бити настављен и у наредним деценијама, због чега се од свих учесника у ланцу хране/исхране, односно ланцу снабдјевања у ширем контексту, захтијева да буду активни на том плану.

Класичне технологије, прије свега примјена ниских и високих температура, задржаће своју позицију водећих технологија. Ипак, очекују се одређене промјене прије свега на увођењу нове опреме, примјени информационо-комуникационих технологија и аутоматизације процеса, увођењу нових поступака паковања (активно паковање, паметно паковање) и нових амбалажних материјала (биополимери и нанобиополимери) итд.

Захтјеви потрошача везани за безбједност и квалитет производа ће и даље бити присутни. Поред тога, јачаће потражња за производима који су минимално прерађени или током њихове обраде није кориштена висока температура. То ће утицати на примјену технологија минималне обраде (ПЕФ, јонузујуће зрачење хране, високи хидростатски притисак, омско загријавање и други) у свакодневну праксу прехранбене индустрије.

Неповољан утицај неких технологија на сензорне и нутритивне вриједности хране, може се превазићи комбинованим коришћењем више технологија конзервисања и/или технологије са препрекама. Суштина технологије са препрекама је у наизмјеничном комбиновању више благих поступака чиме се може обезбиједити микробиолошка безбједност хране уз побољшање сензорних својстава.

Нове технологије за прераду хране обећавају смањење потрошње енергије, смањене емисије, повећање поузданости, продуктивности и побољшање квалитета производа. Комбиновано кориштење два или више набројаних технолошких поступака смањује трошкове дезинфекције, смањује количину употребљених средстава за дезинфекцију, минимизира ефекте третмана на прехранбене производе и продужава рок трајања.

Иако се неке од описаних технологија већ налазе у примјени у индустријским условима (на примјер, високи хидростатски притисак и пулсирајуће електрично поље), и даље је потребан опсежан рад на унапређењу њихове примјене и активна сарадња између истраживача (универзитета) и инжењера из различитих области (прехранбена технологија, електронска и машинска технологија, информационе

технологије итд.) Потребно је подстаћи бржи развој како би се смањили трошкови опреме, успоставио начин обраде (континуирани, полуконтинуирани или шаржни), као и повећала ефикасност рада и комуникација. У вријеме растуће потражње за безбједном и квалитетном храном, комбинација неколико разматраних технологија може послужити као полазна тачка за будућа истраживања.

Литература

- Aidani E, Aghamohammadi B, Akbarian M, Morshedi A, Hadidi M, Ghasemkhani N and Akbarian A (2014) Effect of chilling, freezing and thawing on meat quality: A review. *International Journal of Biosciences* 5 (4): 159–169
- Akbas MY and Ozdemir M (2006) Effect of different ozone treatments on aflatoxin degradation and physicochemical properties of pistachios. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86(13): 2099-2104
- Akhtar S, Khan MI and Faiz F (2013) Effect of thawing on frozen meat quality: A comprehensive review. *Pakistan Journal of Food Science* 23 (4): 198–211
- Alpas H (2016) Industrial use of high hydrostatic pressure in food industry: realities for food safety. 3rd European Food Safety & Standards Conference, Valensiya, Espanya, 25 - 26 October 2016
- Alpas H, Kalchayanand N, Bozoglu F and Ray B (2000) Interactions of high hydrostatic pressure, pressurization temperature and pH on death and injury of pressure-resistant and pressure-sensitive strains of foodborne pathogens. *International Journal of Food Microbiology* 60(1): 33–42
- Alpas H, Kalchayanand N, Bozoglu F, Sikes A, Dunne CP and Ray B (1999) Variation in resistance to hydrostatic pressure among strains of food-borne pathogens. *Applied and Environmental Microbiology* 65(9): 4248–4251
- Amaral VG, Silva KE, Cavalcanti NR, Cappato PL, ... and Cruz GA (2017) Dairy processing using supercritical carbon dioxide technology: theoretical fundamentals, quality and safety aspects. *Trends in Food Science and Technology* 64: 94-101
- Barba FJ, Esteve MJ and Frígola A (2012) High pressure treatment effect on physicochemical and nutritional properties of fluid foods during storage: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 11(3): 307–322
- Bermejo-Prada A (2015) Hyperbaric storage of food at room temperature: Characterization in strawberry juice. Tesis doctoral, Complutense University of Madrid
- Berry M, Fletcher J, McClure P and Wilkinson J (2008) Effects of freezing on nutritional and microbiological properties of foods. In: *Frozen Foods Science and Technology* (Editor: Evans JA). Blackwell Publishing, Ames
- Boonsumrej S, Chaiwanichsiri S, Tantratian S, Suzuki T and Takai R (2007) Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing. *Journal of Food Engineering* 80 (1): 292–299

- Brennan JG and Grandison AS (2012) *Food Processing Handbook*. John Wiley and Sons
- Buckow R, Chandry SP, Ng YS, McAuley MC and Swanson GB (2014) Opportunities and challenges in pulsed electric field processing of dairy products. *International Dairy Journal* 34: 199-212
- Chandirasekaran V and Thulasi G (2010) Effect of Different Thawing Methods on Physico-Chemical Characteristics of Frozen Buffalo Meat. *Journal of Food Technology* 8: 239-242
- Cesar J, Sumita TC, Junqueira JC, Jorge AOC and do Rego MA (2012) Antimicrobial effects of ozonated water on the sanitization of dental instruments contaminated with *E. coli*, *S. aureus*, *C. albicans*, or the spores of *B. atrophaeus*. *Journal of Infection and Public Health* 5(4): 269-274
- Chandrasekaran S, Ramanathan S and Basak T (2013) Microwave food processing, review. *Food Research International* 52(1): 243-261
- Chen C, Abdelrahim K and Beckerich I (2010) Sensitivity analysis of continuous ohmic heating process for multiphase foods. *Journal of Food Engineering* 98(2): 257–265
- Cinquanta L, Albanese D, Cuccurullo G and Di Matteo M (2010) Effect on orange juice of batch pasteurization in an improved pilot-scale microwave oven. *Journal of Food Science* 75(1): E46-E50
- Cortes C, Esteve MJ and Frígola A (2008) Color of orange juice treated by high intensity pulsed electric fields during refrigerated storage and comparison with pasteurized juice. *Food Control* 19(2): 151-158
- Das E, Gürakan GC and Bayındırlı A (2006) Effect of controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and gaseous ozone treatment on the survival of *Salmonella Enteritidis* on cherry tomatoes. *Food Microbiology* 23(5): 430-438
- de Toledo Guimaraes J, Silva KE, de Freitas QM, de Almeida Meireles AM and da Cruz GA (2018) Non-thermal emerging technologies and their effects on the functional properties of dairy products. *Current Opinion in Food Science* 22:62–66
- Dong Q, Li Y, Liang N and Mao Q (2011) Selection and optimization of thawing treatment for the frozen pork. *Shengwu Jiagong Guocheng* 9: 66–70
- Donsì F, Ferrari G and Pataro G (2010) Applications of pulsed electric field treatments for the enhancement of mass transfer from vegetable tissue. *Food Engineering Reviews* 2(2): 109–130
- Elansari A and Bekhit AEI-Din A (2017) Freezing/Thawing Technologies of Meat. In: Bekhit A.El-Din A (ed) *Advances in Meat Processing Technology*. Taylor & Francis/CRC Press, Boca Raton, London, New York, 219-259
- Estevez M (2011) Protein carbonyls in meat systems: A review. *Meat Science* 89: 259–279
- Fauster TD, Schlossnikl F, Rath R, Ostermeier F, Teufel S, Jaeger H (2018) Impact of pulsed electric field (PEF) pretreatment on process performance of industrial French fries production. *Journal of Food Engineering* 235: 16-22
- Feiner G (2006) *Meat Products Handbook: Practical Science and Technology*. CRC Press Cambridge, UK, pp 73–74

- Feng H, Barbosa-Cánovas GV and Weiss J (2011). Ultrasound technologies for food and bioprocessing. Springer, New York, Dordrecht, Heidelberg
- Fisher CW, Lee D, Dodge B-A, Hamman KM, Robbins JB and Martin SE (2000) Influence of catalase and superoxide dismutase on ozone inactivation of *Listeria monocytogenes*. *Applied and Environmental Microbiology* 66(4): 1405-1409
- Fons-Sole E, Grujić R, Vučić G, Škipina B i Mirjanić D (2004) Savremene tehnologije i bezbjednost namirnica. Tehnološki fakultet Banja Luka, Universitat de Lleida
- Fröhling A, Durek J, Schnabel U, Ehlbeck J, Bollin J and Schlüter O (2012) Indirect plasma treatment of fresh pork: Decontamination efficiency and effects on quality attributes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 16: 381–390
- Gambuteanu C, Borda D and Alexe P (2013) The effect of freezing and thawing on technological properties of meat: Review. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* 19 (1): 88–93
- Georget E, Sevenich R, Reineke K, Mathys A, Heinz V, Callanan M, Rauhc C, Knorr D (2015) Inactivation of microorganisms by high isostatic pressure processing in complex matrices: a review. *Innovative Food Science and Emerging Technology* 27: 1-14
- Gómez B, Munekata PES, Gavahian M, ... and Lorenzo MJ (2019) Application of pulsed electric fields in meat and fish processing industries: An overview. *Food Research International* 123: 95-105
- Grujić R and Savanović D (2018) Analysis of myofibrillar and sarcoplasmic proteins in pork meat by capillary gel electrophoresis. *Foods and Raw Materials* 6 (2): 421–428
- Grujić R, Grujić S, Djurasinovic P and Pavlovic P (2010) Workers responsibility in food businesses during implementation of food safety system. *ATI – Applied Technologies & Innovations* 1 (1): 43-48
- Grujić R, Miletić I i Stanković I (2007) Nauka o ishrani čovjeka, Knjiga druga. Univerzitet u Banjoj Luci/Tehnološki fakultet, Banja Luka
- Grujić R (2003) Savremene tehnologije i bezbjednost namirnica. *Hemijska Industrija* 57(10): 449-455
- Grujić R, Petrović Lj, Pikula B and Amidžić Lj (1993) Definition of the Optimum Freezing Rate - 1. Investigation of Structure and Ultrastructure of Beef M. *longissimus dorsi* Frozen at Different Freezing Rates. *Meat Science* 33: 301-318
- Hamilton WA and Sale AJH (1967) Effects of high electric fields on microorganisms: II. Mechanism of action of the lethal effect. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects* 148(3): 789–800
- Hinarejos Gómez E (2013) Study of pork meat freezing process by infrared thermography and dielectric spectroscopy. Unpublished MSc thesis. Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos Para el Desarrollo, València, Spain.
- Hsieh C, Lai CH, Ho WJ, Huang S and Ko WC (2010) Effect of thawing and cold storage on frozen chicken thigh meat quality by high-voltage electrostatic field. *Journal of Food Science* 75 (4): 193–197

- Huang G, Chen S, Dai C, Sun L, Sun W, Tang Y, Xion F, He R and Ma H (2017) Effects of ultrasound on microbial growth and enzyme activity. *Ultrason Sonochem* 37: 144-149
- Jayasena DD, Kim HJ, Yong HI, Park S, Kim K, Choe W and Jo C (2015) Flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma treatment of pork butt and beef loin: Effects on pathogen inactivation and meat-quality attributes. *Food Microbiology* 46: 51–57
- Jimenez-Sanchez C, Lozano-Sanchez J, Segura-Carretero A and Fernandez-Gutierrez A (2015) Review: alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. Part 1: techniques and applications. *Critical Reviews in Food Science* 57(3): 501- 523
- Julák J, Janoušková O, Scholtz V and Holada K (2011) Inactivation of prions using electrical dc discharges at atmospheric pressure and ambient temperature. *Plasma Processes and Polymers* 8(4): 316–323
- Kaya Z and Unluturk S (2016) Processing of clear and turbid grape juice by a continuous flow UV system. *Innovative Food Science and Emerging Technology* 33: 282-288
- Khadre M, Yousef A and Kim J (2001) Microbiological aspects of ozone applications in food: A review. *Journal of Food Science Chicago* 66(9): 1242-1253
- Khan I, Tango N C, Miskeen S, Lee HB and Oh D-H (2017) Hurdle technology: A novel approach for enhanced food quality and safety - A review. *Food Control* 73: 1426-1444
- Khan I, Miskeen S, Khalil AT, Phull A-R, Kim SJ and Oh D-H (2016) Foodborne pathogens: *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes* an unsolved problem of the food industry. *Pakistan Journal of Nutrition* 15(6): 505
- Knirsch MC, Dos Santos CA, de Oliveira Soares AAM and Penna TCV (2010) Ohmic heating: a review. *Trends in Food Science & Technology* 21(9): 436-441
- Knoerzer K, Juliano P and Smithers GW (2016) Innovative food processing technologies: Extraction, separation, component modification and process intensification. Woodhead Publishing, Duxford, UK
- Lee MS, Sebranek JG, Olson DG and Dickson JS (1995) Irradiation and packaging of fresh meat and poultry. *Journal of Food Protection* 59: 62–72
- Leistner L (1985) Hurdle technology applied to meat products of the shelf stable product and intermediate moisture food types. In: *Properties of water in foods*, Springer, pp 309-329
- Maktabi S, Watson I and Parton R (2011) Synergistic effect of UV, laser and microwave radiation or conventional heating on *E. coli* and on some spoilage and pathogenic bacteria. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 12(2): 129-134
- Martin-Belloso O, Vega Marcado H, Quin BL, Chang FJ and Barbos-Canovas GV (1997) Inactivation of *Escherichia coli* suspended in liquid egg using pulsed electric fields. *Journal of Food Preservation* 21: 193-208
- Matan N, Nisoa M, Matan N and Aewsiri T (2014) Effect of cold atmospheric plasma on antifungal activities of clove oil and eugenol against molds on areca palm (*Areca catechu*) leaf sheath. *International Biodeterioration and Biodegradation* 86(Part C): 196–201

- McDonnell KC, Allen P, Chardonnerau SF, Arimi MJ and Lyng GJ (2014) The use of pulsed electric fields for accelerating the salting of pork. *LWT - Food Science and Technology* 59: 1054-1060
- McLeod A, Liland KH, Haugen JE, Sørheim O, Meyhrer KS and Holck AL (2018) Chicken fillets subjected to UV-C and pulsed UV light: reduction of pathogenic and spoilage bacteria and changes in sensory quality. *Journal of Food Safety*, 38: 1-15
- Medina-Meza IG, Barnaba C and Barbosa-Canovas GV (2014) Effects of high pressure processing on lipid oxidation: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 22: 1-10
- Mertens B (1992) Developments of nonthermal processes for food preservation. *Food Technology* 46(5): 124-133
- Misra NN, Koubaa M, Roohinejad S, Juliano P, Alpas H Inácio SR, Saraiva AJ and Barbah JF (2017) Landmarks in the historical development of twenty first century food processing technologies. *Food Research International* 97: 318–339
- Monteiro SHMC, Silva EK, Alvarenga VO, Moraes J, Freitas MQ, Silva MC, Raices RSL, Sant'Ana AS, Meireles MAA and Cruz AG (2018) Effects of ultrasound energy density on the non-thermal pasteurization of chocolate milk beverage. *Ultrason Sonochem* 42: 1-10
- Morales-de la Pena M, Welti-Chanes J and Martín-Belloso O (2019) Novel technologies to improve food safety and quality. *Current Opinion in Food Science* 30: 1–7
- Moreira SA, Fernandes PAR, Duarte R, Santos DI, Fidalgo LG, Santos MD, ... and Saraiva JA (2015) A first study comparing preservation of a ready-to-eat soup under pressure (hyperbaric storage) at 25 °C and 30 °C with refrigeration. *Food Science & Nutrition* 3(6): 467–474
- Mukhopadhyay S, Ukuku OD (2018) The role of emerging technologies to ensure the microbial safety of fresh produce, milk and eggs. *Current Opinion in Food Science* 19: 145–154
- Nagy AH, Mahrou RS and Youssef MB (2002) Effect of gamma-ray and microwave treatment on the shelf-life of beef products stored at 5°C. *Food Control* 13: 437–444
- Naito S and Takahara H (2006) Ozone contribution in food industry in Japan. *Ozone: Science and Engineering* 28(6): 425-429
- Negi PS (2012) Plant extracts for the control of bacterial growth: Efficacy, stability and safety issues for food application. *International journal of Food Microbiology* 156(1): 7-17
- Novaković B and Grujić R (2018) The specifics of the insurance system to protect food from international contamination in the production of powdered food products. *Journal of Hygienic engineering and design* 23: 46-53
- Novakovic B and Grujić R (2017) Importance of adequate hand hygiene of food handlers in snails meat processing. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 21: 23-28
- Odriozola-Serrano I, Soliva-Fortuny R and Martín-Belloso O (2009) Impact of high-intensity pulsed electric fields variables on vitamin C, anthocyanins and antioxidant capacity of strawberry juice. *LWT-Food Science and Technology* 42(1): 93-100

- Palgan I, Caminiti IM, Munoz A, Noci F, Whyte P, Morgan DJ, Cronin DA and Lyng JG (2011) Effectiveness of High Intensity Light Pulses (HILP) treatments for the control of *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in apple juice, orange juice and milk. *Food Microbiology* 28: 14-20
- Pardo G and Zufía J (2012) Life cycle assessment of food-preservation technologies. *Journal of Cleaner Production* 28: 198–207
- Pereira R and Vicente A (2010) Environmental impact of novel thermal and nonthermal technologies in food processing. *Food Research International* 43(7): 1936-1943
- Pereira R, Martins J, Mateus C, Teixeira J and Vicente A (2007) Death kinetics of *Escherichia coli* in goat milk and *Bacillus licheniformis* in cloudberry jam treated by ohmic heating. *Chemical Papers* 61(2): 121-126
- Petrović Lj, Grujić R and Petrović M (1993) Definition of the Optimal Freezing Rate - 2. Investigation of the Physico Properties of Beef *M. longissimus dorsi* Frozen at Different Freezing Rates. *Meat Science* 33: 319-331
- Pinto C, Moreira SA, Fidalgo LG, Santos MD, Delgadillo I and Saraiva JA (2016) Shelf-life extension of watermelon juice preserved by hyperbaric storage at room temperature compared to refrigeration. *LWT - Food Science and Technology* 72: 78–80
- Piyasena P, Dussault C, Koutchma T, Ramaswamy H and Awuah G (2003) Radio frequency heating of foods: Principles, applications and related propertiesda review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 43(6): 587-606
- Puligundla P and Mok C (2016) Non-thermal plasmas (NTPs) for inactivation of viruses in abiotic environment. *Research Journal of Biotechnology* 11(6): 91–96
- Radovanović R and Grujić R (2016a) Bezbednost hrane - novi zahtevi regulative, novi izazovi za proizvođače. *Kvalitet i izvrsnost* 5(9-10): 35-39
- Radovanović R i Grujić R (2016b) Bezbednost hrane: HACCP v/s HARPC", XVIII naučni skup "Sistem kvaliteta uslov za uspešno poslovanje i konkurentnost" 45-51
- Radovanović R, Grujić R and Antonić B (2009) Dobra praksa ishrane (DPI): Novi integrisani pristup upravljanju bezbednosti hrane. *Kvalitet* XIX (1-2): 30-33
- Rahman MS (2015) Hurdle technology in food preservation. In: *Minimally processed foods*, Springer, pp 17-33
- Rahman MS (2006) State diagram of foods: Its potential use in food processing and product stability. *Trends in Food Science and Technology*, 17: 129–141
- Rahman S, Khan I and Oh DH (2016) Electrolyzed water as a novel sanitizer in the food industry: Current trends and future perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 15(3): 471-490
- Ramos-Villaruel AY, Aron-Maftei N, Martín-Belloso O and Soliva-Fortuny R (2012) Influence of spectral distribution on bacterial inactivation and quality changes of fresh-cut watermelon treated with intense light pulses. *Postharvest Biology and Technology* 69: 32-39
- Rastogi NK (2011) Opportunities and challenges in application of ultrasound in food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 51(8): 705–722
- Roselló-Soto E, Galanakis CM, Brnčić M, Orlien V, Trujillo FJ, Mawson R ... and Barba FJ (2015) Clean recovery of antioxidant compounds from plant foods, byproducts

- and algae assisted by ultrasounds processing. Modeling approaches to optimize processing conditions. *Trends in Food Science & Technology* 42(2): 134–149
- Santhirasegaram V, Razali Z and Somasundram C (2016) Safety improvement of fruit juices by novel thermal and nonthermal processing. In: Kotzekidou P (ed) *Food Hygiene and Toxicology in Ready-to-Eat Foods*. Academic Press, pp 209–223
- Sarron E, Cochet N and Gadonna-Widehem P (2013) Effects of aqueous ozone on *Pseudomonas syringae* viability and ice nucleating activity. *Process Biochemistry* 48(7): 1004–1009
- Sastry SK (2005) Advances in ohmic heating and moderate electric field (MEF) processing. In Barbosa-Cánovas G,V, Tapia MS, Cano M.P (eds) *Novel Food Processing Technologies*
- Sastry SK and Barach JT (2000) Ohmic and inductive heating. *Journal of Food Science* 65(S8): 42–46
- Savanović D, Grujić R, Savanović J (2019) The influence of the freezing rate on the physico-chemical properties of pork meat (*M. Longissimus dorsi*). *APTEFF*, 50: 228-235
- Savanović MD, Grujić DR, Savanović MJ, Mandić US, Rakita MS (2018) Analysis of frozen chicken meat using differential scanning calorimetry. *Food and Feed Research*, 45 (2): 129-137
- Savanović D, Grujić R, Rakita S, Torbica A and Božičković R (2017) Melting and crystallization DSC profiles of different types of meat. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly* 23 (4): 473–481
- Schuchmann HP (2016) Advances in hydrodynamic pressure processing for enhancing emulsification and dispersion. In: Knoerzer K, Juliano P, Smithers G (eds) *Innovative food processing technologies*. Woodhead Publishing, San Diego, pp 387–412
- Shamsuzzaman K, Chuaqui-Offermanns N, Lucht L, McDougall T and Borsa J (1992) Microbiological and other characteristics of chicken breast meat following electron-beam and sous-vide treatments. *Journal of Food Protection*, 55: 528–532
- Sharma P, Bremer P, Oey I and Everett DW (2014) Bacterial inactivation in whole milk using pulsed electric field processing. *International Dairy Journal* 35(1): 49-56
- Shenga E, Singh R and Yadav (2010) Effect of pasteurization of shell egg on its quality characteristics under ambient storage. *Journal of Food Science and Technology* 47(4): 420-425
- Sun H, Kawamura S, Himoto J-I, Itoh K, Wada T and Kimura T (2008) Effects of ohmic heating on microbial counts and denaturation of proteins in milk. *Food Science and Technology Research* 14(2): 117-123
- Sysolyatina E, Mukhachev A, Yurova M, Grushin M, Karalnik V, Petryakov A, Trushkin N, Ermolaeva S and Akishev Y (2014) Role of the charged particles in bacteria inactivation by plasma of a positive and negative corona in ambient air. *Plasma Processes and Polymers* 11(4): 315–334
- Šetrajčić JP, Markoski B, Rodić D, Pelemiš SS, Vučenović SM, Škipina B, Mirjanić DLJ (2013) Absorption Features of Symmetric Molecular Nanofilms, *Nanoscience and Nanotechnology Letters* 5(4): 493-497

- Tang X, Cronin DA and Brunton NP (2005) The effect of radio frequency heating on chemical, physical and sensory aspects of quality in Turkey breast rolls. *Food Chemistry* 93(1): 1-7
- Tango CN, Khan I, Park YS and Oh DH (2016) Growth of *Staphylococcus aureus* in cooked ready-to-eat ground fish as affected by inoculum size and potassium sorbate as food preservative. *LWT-Food Science and Technology* 71: 400-408
- Tiwari BK and Mason TJ (2012) Ultrasound processing of fluid foods. In: Cullen PJ, Tiwari BK and Valdramidis VP (eds) *Novel thermal and non-thermal technologies for fluid foods*. Academic Press, San Diego, pp 135–165
- Toepfl S, Heinz V and Knorr D (2007) High Intensity Pulsed Electric Fields applied for Food Preservation. *Chemical Engineering and Processing* 46(6): 537-546
- Tomović V, Vujadinović D, Grujić R, Jakanović M, Kevrešan Ž, Šlaljec S, Šoljić B and Vasiljev D (2016) Auswirkung der Endpunkttemperatur im Inneren auf den Mineralstoffgehalt von Schweinerückenbraten, *Fleisch Wirtschaft*, No. 12,
- Tomović V, Vujadinović D, Grujić R, Jakanović M and Kevrešan S (2014) Effect of end-point internal temperature on mineral contents of boiled pork loin, *Journal of Food Processing and Preservation*, 39 (6): 1854-1858
- Trujillo A-J, Roig-Sagués A-X, Zamora A and Ferragut V (2016) High-pressure homogenization for structure modification. In: *Innovative food processing technologies: Extraction, separation, component modification and process intensification* (Editors: Knoerzer K, Juliano P and Smithers G.W). Woodhead Publishing, pp 315–344
- Uchida R and Silva FV (2017) Alicyclobacillus acidoterrestris spore inactivation by high pressure combined with mild heat: modeling the effects of temperature and soluble solids. *Food Control* 73: 426-432
- Vega-Galvez A, Miranda M, Aranda M, Henriquez K, Vergara J, Tabilo-Munizag, G, et al. (2011) Effect of high hydrostatic pressure on functional properties and quality characteristics of Aloe vera gel (*Aloe barbadensis* Miller). *Food Chemistry* 129(3): 1060-1065
- Vorobiev E and Lebovka N (2010) Enhanced extraction from solid foods and biosuspensions by pulsed electrical energy. *Food Engineering Reviews* 2(2): 95–108
- Vujadinović D, Grujić R, Tomović V and Torbica A (2014a) Effects of temperature and method of heat treatment on myofibrillar proteins of pork. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly (CICEQ)* 20 (3): 407– 415
- Vujadinović D, Odžaković B, Grujić R, Perić M and Pavlović M (2014b) Influence of heat treatment process on the acceptability of pasteurized beetroot. *Quality of life* 5 (1-2): 39-45
- Vukić M, Vujadinović D, Ivanović M, Gojković V and Grujić R (2017) Color change of orange and carrot juice blend treated by non-thermal atmospheric plasma. *Journal of Food Processing and Preservation* e13525; doi.org/10.1111/jfpp.13525

- Vukić M, Vujadinović D, Gojković V and Grujić R (2016) Influence of Cold Plasma Treatment on Textural and Color Characteristics of Two Tomato Varieties, *Quality of Life* 13(1-2): 12-16
- Walkling-Ribeiro M, Anany H and Griffiths MW (2015) Effect of heat-assisted pulsed electric fields and bacteriophage on enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7. *Biotechnology Progress* 31(1): 110-118
- Walkling-Ribeiro M, Noci F, Cronin D, Lyng J and Morgan D (2009) Antimicrobial effect and shelf-life extension by combined thermal and pulsed electric field treatment of milk. *Journal of Applied Microbiology* 106(1): 241-248
- Wang CY, Huang HW, Hsu CP and Yang BB (2016) Recent advances in food processing using high hydrostatic pressure technology. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56(4): 527-540
- Wang Y, Wig TD, Tang J and Hallberg LM (2003) Dielectric properties of foods relevant to RF and microwave pasteurization and sterilization. *Journal of Food Engineering* 57(3): 257-268
- Ćurguz Z, Mirjanić D (2018) Determination of equilibrium equivalent of thoron and radon concentration in schools of the city of Banja Luka *Contemporary materials IX-1*: 31 – 37
- Ćurguz Z, Mirjanić D, Popović M (2017) Comparison of concentration of radon measurement short-term (active) and longterm (passive) method *Contemporary materials VII-2*: 170 – 180
- Yuan B, Ren J, Zhao M, Luo D and Gu L (2012) Effects of limited enzymatic hydrolysis with pepsin and high-pressure homogenization on the functional properties of soybean protein isolate. *LWT - Food Science and Technology* 46(2): 453–459
- Zhao Y, Flugstad B, Kolbe E, Park JW and Wells J (2000) Using capacitive (radio frequency) dielectric heating in food processing and preservation: a review. *Journal of Food Process Engineering* 23(1): 25-55
- Zhuang H, Savage EM (2012) Postmortem aging and freezing and thawing storage enhance ability of early deboned chicken pectoralis major muscle to hold added salt water. *Poultry Science* 91: 1203–1209
- Zinoviadou KG, Galanakis CM, Brnčić M, Grimi N, Boussetta N, Mota MJ, ... and Barba F.J (2015). Fruit juice sonication: Implications on food safety and physicochemical and nutritional properties. *Food Research International*, 77 (Part 4): 743–752

Modern technologies in the production of food products

Radoslav Grujić, Dragoljub Mirjanić

Some forms of food preservation have been in use for thousands of years, though preservation as an industrial food processing has been discussed for the last 100 years. During this period, the basic principles underlying the preservation process were adopted. The main purpose of food preservation is to prevent the growth of microorganisms in food products, that is, to reduce the risk to human health of possible food poisoning. Some preservation technologies (processes based on the use of high temperatures) are effective in this respect, however, they can cause harm to the composition, nutritional and sensory properties. Consumers have therefore emphasized their desire to consume foods that have "natural properties" of taste and color, even when is not stored under special conditions. Foods of animal origin are particularly sensitive to the harmful effects of microorganisms. This review provides insight into contemporary research into new conservation technologies, during which it is possible to preserve nutritional and sensory properties and at the same time inactivate microorganisms causing food spoilage and foodborne pathogens. New technologies which are applied during the production and preservation of foods respect the principles relating to the conservation of resources and the reduction of energy consumption and processing time. Non-thermal procedures (so-called minimal food processing procedures) which are based on the application of pulsed electric fields, high hydrostatic pressure, high-intensity light, oscillating magnetic field, electromagnetic waves of different frequencies and ultrasound are presented in detail. The use of new technologies allows to reduce production costs, increase productivity, save energy and water, affect production reliability, improve product quality, improve sustainability and reduce emissions in the food/nutrition chain.

Key words: Food processing, Preservation, Classic technologies, New technologies

