

Ultrazvučna ekstrakcija bioaktivnih spojeva

Helena Drmić, Anet Režek Jambrak*

Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska

pregledni rad

Sažetak

U današnje vrijeme, traže se alternative klasičnim, toplinskim metodama procesiranja hrane. Jedna od novijih tehnika jest tehnika minimalnog procesiranja hrane, pod kojom podrazumijevamo i tretiranje ultrazvukom. Ultrazvučna tehnologija može biti vrlo korisna kod minimalnog procesiranja hrane, jer je prijenos akustične energije kroz proizvod brz i cjelovit, što omogućava redukciju ukupnog vremena obrade, te nižu potrošnju energije. Djelovanjem industrije nastaje sve više otpadnih materijala, a u želji očuvanja globalnih resursa i poboljšanja energetske efikasnosti, istražuju se načini ekstrakcije aktivnih tvari iz bioloških izvora sa ciljem primjene u prehrambenoj i farmaceutskoj industriji te medicini. Metodom ultrazvučne ekstrakcije bioaktivnih tvari nastoji se smanjiti upotreba otapala ili potpuno izbjevati njihova upotreba. Ograničava se povišenje temperature tijekom tretmana te se dobiva veći prinos ekstraktivnih, bioaktivnih tvari. U ovom radu prikazan je mehanizam ultrazvučno inducirane ekstrakcije te primjeri ekstrakcije aktivnih tvari iz različitih biljnih materijala. Ultrazvuk može poboljšati postojeće mehanizme ekstrakcije te omogućiti nove mogućnosti komercijalne ekstrakcije. Primjena (ultrazvučne kemije) sonokemije nudi bolji prinos željenih komponenti, povećanu stopu ekstrakcije te postizanje smanjenja vremena tretiranja.

Ključne riječi: ultrazvuk, ultrazvučna kemija, ekstrakcija, bioaktivne tvari

Uvod

Jedan od stalnih izazova s kojima se prehrambeni tehnolozi susreću jest razvoj tehnologije izrade novih prehrambenih proizvoda i razvoj funkcionalnih proizvoda. Danas se osobito razmatraju metode ne-toplinske obrade u koje spadaju primjena ultrazvuka, obrada visokim pritiskom, pulsirajućim električnim i magnetskim poljem itd. (Wan i sur., 2005; Lelas, 2006). Primjena ultrazvuka ranije je bila uglavnom ograničena na čišćenje i emulgiranje dok se danas otkrivaju prednosti uporaba ultrazvuka na različitim područjima, poput kristalizacije, sušenja, ekstrakcije, filtracije, zamrzavanja, homogenizacije, sterilizacije, degradacije itd. (Fairbanks, 2001; Mason, 1992; Povey, 1998). U ovom radu istraživana je primjena ultrazvuka za ekstrakciju biokomponenti. Na taj način želi se postići veći prinos željenih supstanci, što je glavni interes sa strane industrije, uz smanjenje vremena ekstrakcije i redukcije u korištenju otapala (Albu i sur., 2004, Balachandran i sur., 2006). Novi pristup ekstrakciji, djelovanjem ultrazvuka omogućava poboljšanu bioraspodivnost mikronutrijenata zadržavajući pritom njihova izvorna svojstva. Moguće je izbjeći nastajanje slobodnih radikala, osobito u vodenim sustavima kako bi se izbjegla degradacija bioaktivnih sastojaka. S druge strane radikali se mogu koristiti u

smislu postizanja ciljane hidroksilacije polifenola i karotenoida (Ashokkumar i sur., 2008), čime bi se omogućilo povećanje njihove biološke aktivnosti. Metode koje su se donedavno koristile za ekstrakciju, poput ekstrakcije otapalima, vrućom vodom, lužinama i sl., mogu uzrokovati degradaciju željenih komponenti zbog visokih temperatura, drugog vremena ekstrakcije ili loše određenih sigurnosnih kriterija tijekom zračenja. Ekstrakcija bioaktivnih komponenti ultrazvukom (20-100 kHz) jedna je od novijih tehnika koje omogućuju visoku reproducibilnost u kraćem vremenu (Caili i sur., 2006), jednostavnije rukovanje, niže temperature te korištenje manjih količina otapala (Chemat, Tomao i Viot, 2008). Tijekom tretiranja ultrazvukom kavitacije uzrokuju bubrenje stanica te probijanje staničnih stjenki (Vinatoru, 2001), što omogućuje visoke brzine difuzije kroz staničnu stjenku te jednostavnije ispiranje sastojaka stanice. Uz otapalo, temperaturu i pritisak, za optimiziranje procesa potrebno je dobro posložiti faktore ultrazvučnog tretiranja poput frekvencije, vremena tretiranja, snage ultrazvuka te distribucije ultrazvučnih valova. Da bi se postigao maksimalan prinos potrebno je optimizirati uvjete temperature, snage ultrazvuka te izbor otapala (Wang i Weller, 2006).

*Corresponding author: University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Croatia; arezek@pbf.hr

Ultrazvuk

U današnje doba istraživanje ultrazvuka se višestruko povećalo zbog njegove potencijalne primjene u prehrambenoj industriji, za analizu i modifikaciju prehrambenih proizvoda. Ako je primijenjena frekvencija visoka, govorimo o dijagnostičkom ultrazvuku niske energije, a ako je frekvencija niska, govorimo o ultrazvuku visoke energije. Dijagnostički ultrazvuk, tj. ultrazvuk niskog intenziteta (intenzitet manji od 1 W cm^{-2}) djeluje u frekvencijskom rasponu od 2 MHz na više (Mason i Luche, 1996). On ne uzrokuje fizičke niti kemijske promjene u svojstvima medija na koji je primijenjen te se zato smatra neinvazivnom tehnikom, a koristi se kao analitička tehnika za kontrolu obrade hrane, mjerenja teksture, sastava (Povey i Mason, 1998; Režek Jambrak i sur., 2010), viskoznosti, brzine protjecanja, kontrolu pakiranja, određivanja razine kapljevine u bačvama ili tankovima, koncentracije tvari u hrani itd. Ultrazvuk visokog intenziteta sa rasponom frekvencija od 20 do 100 kHz (Povey i Mason, 1998, Villamiel i de Jong, 2000, Režek Jambrak i sur., 2010) te visokih intenziteta (u rasponu od 1 do 1000 W cm^{-2}), može uzrokovati fizičke promjene materijala te određene kemijske reakcije u materijalima na kojima je primijenjen. Koristi se za čišćenje (Crawford, 1963), otplinjavanje tekućina, homogenizaciju tekućina (Villamiel i de Jong, 2000), sušenje, omekšavanje mesa, ekstrakciju, emulgiranje (Povey i Mason, 1998), destilaciju, kristalizaciju (Mason i sur., 1996), sterilizaciju itd. U prehrambenoj industriji bitan je potencijal za primjenu ultrazvuka kao metode ne-toplinske obrade hrane budući da može uzrokovati inaktivaciju enzima i mikroorganizama (Lopez-Malo i sur., 2001), poboljšavanje emulgiranja i dispergiranja ili ubrzavanje određenih kemijskih reakcija.

Frekvencije valova zračenja koje se najčešće koriste u svrhu ultrazvučnog čišćenja, 18-120 kHz, leže odmah iznad čujnog spektra frekvencija. Zvučni val je određen svojom amplitudom (A) i varijabilnom frekvencijom (f) te valnom duljinom (l) i koeficijentom prigušenja (α). Amplituda (A) je izravno proporcionalna električnoj energiji koja se primjenjuje na transduktor te se smanjuje s porastom udaljenosti zbog prigušenja, a do prigušenja dolazi zbog adsorpcije i raspršivanja. Koeficijent prigušenja (α) je mjera smanjenja amplitude ultrazvučnog vala nakon njegova prolaska materijalom te se može definirati slijedećim izrazom:

$$A = A_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (1)$$

gdje je: A_0 početna amplituda zvučnog vala, a x prijedena udaljenost (Režek Jambrak i sur., 2010).

Mehanizam i djelovanje ultrazvuka

Ultrazvuk visokog intenziteta može se stvoriti na različite načine, pokretanjem tekućine, mlazom plina ili na najčešće upotrebljavan način u sustavu prehrambene industrije pomoću električne snage. Generator pretvara napon istosmjerne struje u visoke frekvencije od cca. 25 kHz (25000 ciklusa po sekundi) električne energije. Električna ili mehanička energija se pretvara u energiju zvuka pomoću ultrazvučnih pretvarača. Takvi elektroakustični sustavi su uglavnom piezoelektrični (Mason, 1998), ili rijetko magnetnostriktivni pretvornici. Piezoelektrični kristali se šire i kontrahiraju u promjenjivom električnom polju. Uslijed privlačenja polariziranih molekula dolazi do pojave mehaničkih vibracija koje se pojačavaju na pojačalu te se ultrazvučni valovi sondom emitiraju u medij. Prolaskom ultrazvučnog vala kroz medij dolazi do nastanka longitudinalnih valova, što pak dovodi do stvaranja područja promjenjivih kompresija i ekspanzija tlaka (Sala i sur., 1995, Povey i Mason, 1998). Dolazi do formiranja milijuna mikroskopskih mjehurića (šupljina), koji se proširuju pod utjecajem negativnog tlaka, a potom naglo implodiraju pod utjecajem pozitivnog tlaka. Za pretvarače je bitno odsustvo zraka u sondi, zbog vrlo niske akustičke impedancije i visoke akustične apsorpcije zraka, koji dovode do gubitka akustične energije (Gallego-Juarez, 1998). Ultrazvučne zrake mogu biti usmjerene geometrijski; primjerice pomoću leća ili sa sfernim zakrivljenim sondama te elektroničkim putem; podešavanjem relativne faze elemenata u područje sonde ("faznom polju"). S dinamičkim prilagođavanjem elektronskih signala do elemenata u faznom polju, zrake mogu biti raspoređene na različitim lokacijama, a odstupanja zbog strukture tkiva mogu se ispraviti.



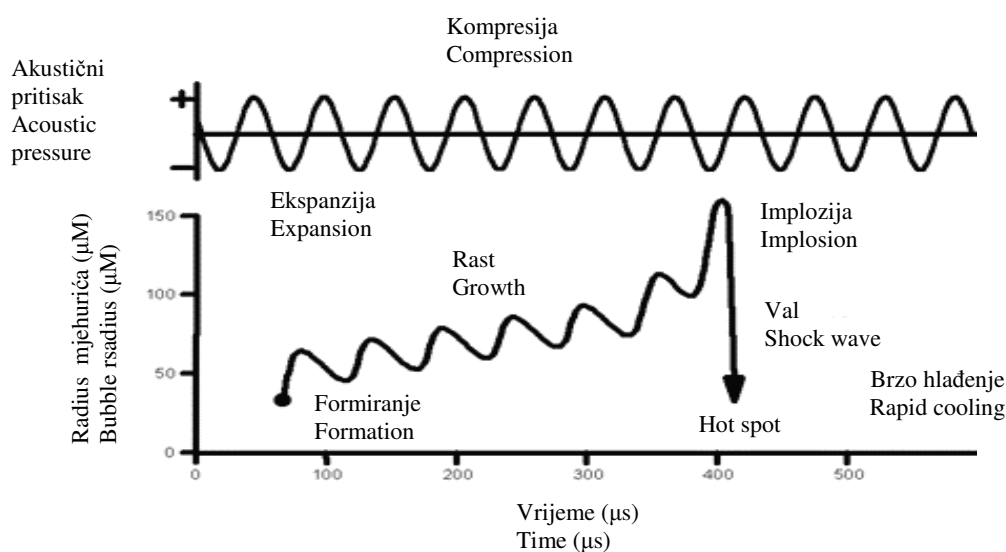
Slika 1. Fotografski prikaz kavitacijskog mjehurića (Suslick, 1994)

Fig. 1. Photograph of cavitation bubble (Suslick, 1994)

Kavitacija

Prilikom širenja zvučnog vala kroz tekući medij nastaju longitudinalni valovi što dovodi do izmjeničnih ciklusa kontrakcije i ekspanzije te ekspanzivnih vrtloga. Kao rezultat oscilacija tlaka u mediju mjehurići osciliraju te uvijek u fazi ekspanzije malo više narastu nego što se smanje tijekom faze kompresije (Suslick, 1990). U određenom trenutku, kao što je prikazano na Slici 2, kada mjehurić dosegne određenu kritičnu veličinu ne može više učinkovito apsorbirati energiju, a bez ulazne energije šupljina se ne može samo održavati i mjehurić se

urušava sam u sebe. Kritična veličina mjehurića ovisi o primijenjenoj frekvenciji i mediju koji se tretira, npr. pri frekvenciji ultrazvuka od 20 kHz, kritična veličina je okvirno 170 μm (Suslick, 1994). Takve ciklusne fluktuacije tlaka dovode do formiranja velikog broja udubljenja, koje nastaju zbog povećane difuzije plina u mjehuriću tijekom ekspanzijskog ciklusa, uslijed povećanja površine mjehurića. Kada energija ultrazvuka nije dostatna da se zadrži plinska faza u mjehuriću dolazi do brze kondenzacije kada se kondenzirane molekule sudaraju velikom brzinom, pri čemu nastaju udarni valovi.



Slika 2. Usporedba ciklusa kompresije i ekspanzije sa formiranjem, rastom i implodzijom kavitacijskog mjehurića (Suslick, 1994)
Fig. 2. Comparison of compression and expansion cycles with formation, growth and implosion of cavitation bubble (Suslick, 1994)

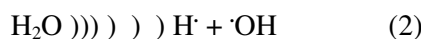
Takvi udarni valovi uzrokuju vrlo visoke temperature (do 5500 K) i tlakove (do 100 MPa) (Leighton, 2007, Suslick, 1990), što dovodi do mijenjanja fizikalno-kemijskih svojstava lokalnih molekula. Za stvaranje kavitacija najvažniji faktor je frekvencija ultrazvuka. Pri frekvencijama višim od 1 MHz male su šanse za kavitaciju, a iznad 2,5 MHz nema kavitacija (Sala i sur., 1995). Osim o frekvenciji i intenzitetu ultrazvuka, pojava kavitacije ovisi o svojstvima proizvoda poput viskoznosti medija, gustoći, površinskoj napetosti medija, prisutnosti otopljenih plinova itd. Također, temperatura je obrnuto proporcionalna početku kavitacije.

Intenzitet kavitacije koja se događa u tekućem mediju ovisi uvelike s koligativnim svojstvima tog medija, koji uključuju tlak pare, površinsku napetost, viskozitet i gustoću, kao i bilo kojem drugom svojstvu koje se odnosi na broj atoma, iona, molekula u mediju. Energija potrebna za formiranje mjehurića

kavitacije u tekućem mediju je razmjerna površinskoj napetosti i tlaku pare (Leighton, 2007). Stoga, što je veća površinska napetost tekućine, biti će veća energija potrebna za stvaranje kavitacijskih mjehurića, a posljedično će biti veća energija udarnog vala koji se proizvodi kada mjehurić implodira. U čistoj vodi na primjer, čija je površinska napetost oko 70 mN m^{-1} , kavitacija se jako teško proizvodi pri temperaturi okoliša. To je međutim moguće proizvesti lakše kada je u vodu dodan površinski aktivni agens, čime se smanjuje površinsku napetost na oko 30 mN m^{-1} . Na isti način, kada je tlak pare tekućine nizak, kao što je slučaj s hladnom vodom, kavitaciju je teško postići, ali postaje sve lakše kako raste temperatura. Svaka tekućina, zapravo, ima karakterističnu temperaturu pri kojoj kavitacija pokazuje najveću aktivnost, uglavnom prilično ograničen raspon temperatura.

Ultrazvučna kemija (sonokemija)

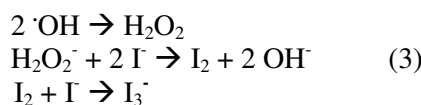
Cijeli proces formiranja, rasta i kolapsa (urušavanja) mjehurića u polju djelovanja ultrazvuka se naziva akustična kavitacija. Uslijed tih ekstremnih uvjeta molekule otapala i otopljenih tvari unutar mjehurića se razlažu te stvaraju visoko reaktivne radikale. Na primjer, ako se sonifikacija provodi u vodenom mediju, nastaju H^\bullet i OH^\bullet radikali (Henglein, 1993):



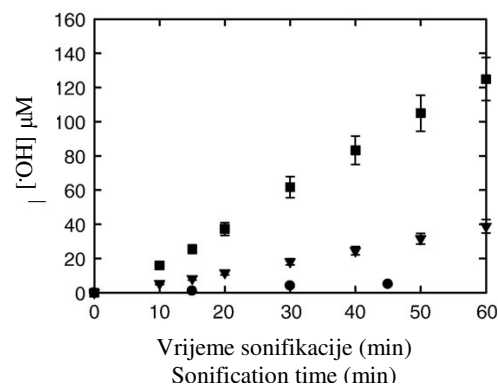
Prilikom upotrebe UZV tehnologije u obradi hrane ili pri ekstrakciji, glavni problemi su:

- Reakcije koje može izazvati kavitacijom generirani hidroksilni radikal tijekom obrade hrane.
- Korištenje selektivnih aditiva tijekom UZV tretmana u cilju minimiziranja reakcija koje započinju hidroksilni radikali.

Hidroksilni radikali su visoko reaktivne prirode te difundiraju od kavitacijskog mjehurića kroz medij za sonifikaciju. Njima nije moguće upravljati te ulaze u reakcije sa supstancama koje se sonificiraju, pa tako mogu dovesti do degradacije polimera, oksidacije lipida itd. Moguće ih je kvantificirati pomoću joda. Reakcijom između dva OH^\bullet radikala nastaje vodikov peroksid, koji može oksidirati jodidne ione, čime nastaje molekularni jod. U suvišku jodidnih iona molekularni jod prelazi u I_3^- kompleks. Koristeći apsorpciju i koeficijent molarne ekstinkcije, OH^\bullet radikal se može odrediti kolorimetrijskim metodama (Awtry i Connick, 1951).



Istraživanja pokazuju da se nepoželjne reakcije između ultrazvučno generiranih radikala i sastojaka hrane mogu minimalizirati korištenjem nižih frekvencija ultrazvuka prilikom obrade hrane (Slika 3). Ipak, ultrazvuk visokih frekvencija se također može koristiti za obradu hrane, ukoliko u otopini imamo odgovarajuće antioksidanse. Određene studije su prepoznale potencijal sonokemijske hidroksilacije fenolnih komponenti kao efikasan način poboljšavanja antioksidativnih svojstava određenog materijala.



Slika 3. Prinos OH^\bullet radikala generiranih sonifikacijom u vodi pri različitim frekvencijama ultrazvuka (■ 358 kHz, ▼ 1062 kHz, ● 20 kHz). Primjećujemo da puno više OH^\bullet radikala nastaje pri višim frekvencijama (Ashokkumar i sur., 2008)

Fig. 3. Yield of OH^\bullet radicals generated with sonification in water under different ultrasound frequencies (■ 358 kHz, ▼ 1062 kHz, ● 20 kHz). Lot more OH^\bullet radicals as formed at higher frequencies (Ashokkumar et al., 2008)

Ovisno o procesu za koji se ultrazvuk koristi, kemijski efekti kavitacije mogu predstavljati prednost ili nedostatak. Na primjer, OH^\bullet radikali koji nastaju tijekom sonifikacije mogu naštetiti kvaliteti nekih sastojaka hrane, ali mogu i poboljšati funkcionalnost određenih sastojaka hrane (poboljšanje stupnja hidroksilacije određenih komponenti hrane, gdje takva adicija hidroksilnog radikala poboljšava funkcionalnost komponente). To je slučaj sa fenolom i sličnim antioksidansima (Bravo, 1998), čija aktivnost u hrani ovisi o više faktora, uključujući stupanj hidroksilacije (Ashokkumar i sur., 2008).

Ekstrakcija

Ekstrakcija je tehnološka operacija potpunog ili djelomičnog odjeljivanja smjese tvari koje imaju nejednaku topivost u različitim otapalima. Može se provesti korištenjem tekućine, tj. otapala iz krutine ili neke druge tekućine koja sadrži željenu tvar. Općenito za ekstrakciju vrijedi slijedeće:

1. Kod ekstrakcije čvrstih tvari treba povećati površinu uzajamnog djelovanja među fazama (usitnjavanjem i homogenizacijom)
2. Kod ekstrakcije u sredini treba povećati brzinu gibanja faza
3. Prilikom povećanja količine tvari treba produljiti vrijeme trajanja ekstrakcije

Za vrijeme mirovanja odvija se prijenos mase, tj. otopljene tvari prelaze iz namirnice u otapalo.

Prijenos mase odvija se u tri stupnja:

1. željena komponenta se otapa u otapalu
2. smjesa otopljene tvari i otapala prelazi iz namirnice na površinu
3. otopljena tvar se raspršuje u volumenu otapala

Vrijeme potrebno za ekstrakciju ovisi o topljivosti komponente u otapalu, temperaturi ekstrakcije, površini namirnice izloženoj otapalu, viskoznosti otapala i volumnom protoku otapala.

Iz tih razloga, pogodno je provođenje ekstrakcije pri višim temperaturama zbog ubrzanja procesa ekstrakcije, jer dolazi do povećanja brzine otapanja komponente, kao i brzine difuzije komponente u volumen otapala (Raso i sur., 1995). Ipak, temperature rijetko prelaze 100 °C jer tada uglavnom dolazi do oštećenja željene supstance ili ekstrakcije nepoželjnih tvari. Budući da je brzina prijenosa mase direktno proporcionalna površini namirnice, to se prije ekstrakcije namirnica usitnjava do određenog stupnja i homogenizira. Viskoznost otapala mora biti dovoljno niska da otapalo može lako proći sloj krutih čestica, a također, veći protok otapala smanjuje granični sloj između koncentrirane otopine i površine čestica, te time povećava brzinu ekstrakcije.

Izbor otapala za ekstrakciju ovisi o vrsti i svojstvima komponente koju se želi ekstrahirati. Prilikom izbora potrebno je uzeti u obzir (Albu i sur., 2004): polarnost; točku ključanja - treba biti što niža, da olakša odvajanje otapala od komponente; reaktivnost - otapalo ne smije reagirati sa ekstraktom, niti se smije razgrađivati; viskozitet - otapalo mora imati nizak viskozitet; stabilnost otapala na toplinu, kisik i svjetlo; sigurnost pri upotrebi - po mogućnosti nezapaljivo, neškodljivo za tehničara i konzumenta te prilikom odlaganja ne smije ugrožavati okoliš; mora biti dostupno u dovoljnim količinama; cijena - po mogućnosti što jeftinije; pogodnost za ponovnu upotrebu.

Heksan je dostupno, jeftino i efikasno otapalo za ulja. Nadalje, povećana je i upotreba alternativnih otapala poput alkohola (izopropanola i etanola) te super kritičnog ugljik dioksida, zbog brige o zdravlju, sigurnosti i okolišu. Nakon provođenja ekstrakcije otapalo je potrebno ukloniti i to uz pomoć grijanja, destilacije, otparavanja ili neke druge prikladnije operacije.

Ultrazvučna ekstrakcija

Ultrazvuk visoke snage, uslijed djelovanja kavitacija na stanični materijal, točnije stanične stjenke, omogućuje veće prodiranje otapala u materijal te također povećava prijenos mase. Uslijed pucanja

staničnih stjenki dolazi do direktnog kontakta sa sadržajem stanice (Vinatoru, 2001). Na taj način se ubrzava ekstrakcija te se povećava njena efikasnost.

Industrijska važnost primjene ultrazvukom potpomognute ekstrakcije (nadalje u tekstu UAE - „Ultrasound assisted extraction“) u tehnologiji prerade hrane jest od interesa u smislu povećanja ekstrakcije komponenti iz biljnog i životinjskog materijala. Tehnologijom UAE možemo potencijalno povećati ekstrakciju određenih komponenti, kao što su polifenoli (Springett, 2001), antocijani (Springett, 2001), aromatske tvari (Vinatoru, 2001), polisaharidi (Ebringerova i Hromadkova, 1997), ulja (Chemat i sur., 2004) i funkcionalnih spojeva (Balachandran i sur., 2006), kada se ultrazvuk koristi kao predtretman obrade namirnice. Iz industrijskog gledišta, glavni interes jest što veći prinos takvih komponenti, budući da se tehnologija UAE može jednostavno povezati sa postojećim procesima minimalnog procesiranja te primjena ekstrakcije u vodenoj sredini gdje se organska otapala mogu zamijeniti s otapalima koja su generalno priznata kao sigurna (GRAS - „generally recognised as safe“) te smanjenje količine otapala i skraćanje ekstrakcijskog vremena (Vilkhu i sur., 2008). Upotreba ultrazvuka u svrhu ekstrakcije kod sirovina visoke cijene jest ekonomična alternativa za tradicionalne procese ekstrakcije što je zahtjev industrije za njen održivi razvoj.

Novi postupci UAE nude potencijal za modifikaciju biljnog materijala čime se omogućava (Vilkhu i sur., 2008) poboljšana biorasplošivost mikronutrijenata zadržavajući njihovu prirodnu kvalitetu, istovremena ekstrakcija i enkapsulacija mikronutrijenata te izbjegavanje nastajanja hidroksilnih i vodikovih radikala. To je osobito važno u vodenim sustavima kako bi se izbjegla degradacija bioaktivnih sastojaka te potencijal korištenja radikala u cilju postizanja ciljane hidroksilacije polifenola i karotenoida, čime bi se omogućilo povećanje njihove biološke aktivnosti.

UAE uključuje i biljni materijal, ulja, proteine i bioaktivne sastojke iz biljnog i životinjskog materijala, u svrhu povećanja prinosa ekstrahirane komponente, povećanja stope ekstrakcije, postizanja smanjenja vremena procesiranja te veće propusnosti. Mehanički učinak ultrazvuka, tj. djelovanje kavitacija na staničnu stjenku biljke, dovodi do oštećenja stjenke, čime se poboljšava prijenos mase i olakšava pristup otapala staničnom sadržaju tako rezultirajući u većim prinosima ekstrakcije kao što je prikazano u Tablici 1.

Tablica 1. Primjeri poboljšanja performansi ekstrakcije korištenjem ultrazvuka (Vilkhu i sur., 2008)**Table 1.** Examples of results and performance improvement using ultrasound (Vilkhu et al., 2008)

Uzorak Sample	Ultrazvuk Ultrasound	Otapalo Solvent	Performanse Results and performance
Bademovo ulje Almond oil	UZV kupelj, 20 kHz Ultrasound bath, 20 kHz	Superkritični ugljikov dioksid Supercritical CO ₂	30 % povišenje prinosa ili smanjenje vremena redukcije 30 % increase in yield or decrease in reduction time
Biljni ekstrakti (komorač, hmelj, neven, menta) Plant extracts (fennel, hop, calendula, mint leaf)	Miješana kupelj, 20 do 2400 kHz Ultrasound bath, 20 to 2400 kHz	Voda i etanol Water and ethanol	34 % povećanje prinosa uz miješanje 34 % increase in yield with shaking
Ginseng saponini Saponins from Ginseng	Kupelj, 38.5 kHz Ultrasound bath, 38.5 kHz	Voda, metanol i n-butanol Water, methanol, and n-buthanol	Trostruko povećanje brzine ekstrakcije Triple increase in extraction speed
Đumbir Ginger	Kupka, 20 kHz Ultrasound bath, 20 kHz	Superkritični ugljikov dioksid Supercritical CO ₂	30 % povišenje prinosa ili smanjenje vremena redukcije 30 % increase in yield or decrease in reduction time
Sojini proteini Soy proteins	Kontinuirano, 20 kHz, 3 W po gramu Continuous, 30 kHz, 3 W per gram	Voda i lužina (NaOH) Water alkali (NaOH)	53 % i 23 % povećanje prinosa u odnosu na ekvivalentne UZV kupelji 53 % and 23 % increase in yield as compared to same ultrasound baths
Sojini izoflavoni Soy isoflavons	Kupelj, 24 kHz Ultrasound bath, 24 kHz	Voda i otapalo Water and solvent	15 % povećanje učinkovitosti ekstrakcije 15 % increased performance of extraction
Rutin Rutin	Kupelj, 20 kHz Ultrasound bath, 20 kHz	Voda i metanol Water and methanol	20 % povećanje u 30 minuta 20 % increase in 30 minutes
Karnozinska kiselina Carnosic acid	Kupelj, 20 kHz i 40 kHz Ultrasound bath, 20 kHz and 40 kHz	Butanon i etil-acetat Butanone and ethyl-acetate	Redukcija u ekstrakcijskom vremenu Reduction of extraction time
Polifenoli, amino k. i kafein (zeleni čaj) Polyphenols, amino acids and caffeine (green tea)	Kupelj, 40 kHz Ultrasound bath, 40 kHz	Voda Water	Povećan prinos pri 65 °C, u usporedbi sa 85 °C Increase yield at 65 °C, as compared to 85 °C

Učinak ultrazvuka je puno korisniji pri nižim frekvencijama (18–40 kHz), dok je praktično zanemariv u rasponu od 400–800 kHz, jer kod nižih frekvencija dominiraju mehanički učinci fenomena

kavitacije kao što su turbulencije i strujanje tekućine. Djelovanje različitih frekvencija na poboljšanje prinosa prikazano je u Tablici 2.

Tablica 2. Utjecaj primijenjene frekvencije na prinos ekstrakcije (Vinatoru, 2001)
Table 2. Influence of applied ultrasound frequency on extraction yield (Vinatoru, 2001)

UZV frekvencija (kHz) Ultrasound frequency (kHz)	Biljni materijal Plant material	Rezultati Results
2400	Kora <i>Cinchona-e</i> Shell of <i>Cinchona</i>	Nema prinosa (previsoke frekvencije ultrazvuka) No yield (to high frequencies of ultrasound)
400	Ulje kikirikija Peanut oil	Prinos poboljšan kada se koristi heksan kao otapalo Yield improved when hexan is used as solvent
500	Listovi beladone Leafs of <i>belladonna</i>	Sličan prinos kao i kod maceracije, očuvanje alkaloida Similar yield as at maceration, preserving of alkaloids
25	Korijenje <i>Rauwolfia-e</i> Roots of <i>Rauwolfia</i>	Isti prinos nakon sonifikacije (15 min) i maceracije (8 sati) Same yield after sonification (15 min) and maceration (8 hours)
20-40	Anđeoska truba <i>Brugmansia</i>	9 % više alkaloida u 1 satu, 40 kHz su efikasnije 9 % more alkaloids in 1 h, 40 kHz frequencies are efficient
20	Kora <i>Cinchona-e</i> Shell of <i>Cinchona</i>	15 % više alkaloida u 1,5 h UZV ekstrakciji nego 7 h Soxhletom 15 % more alkaloids in 1.5 h of ultrasound extraction than in 7 hours of Soxhlet
1000	Otrovni orah <i>Nux vomica</i>	Prinos alkaloida UE (20 min) 1,2 i 0,95 %, dok kod SE 0,64 i 0,94 % (8 h) Yield of alkaloids (ultrasound extraction, 20 min) 1.2 and 0.95 %, while for Soxhlet extraction 0.64 % and 0.94 % (8 h)
800	Listovi digitalisa Digitalis leafs	Malo povišen prinos UE, ali dolazi do smanjenja koncentracije glikozida uslijed formiranja H ₂ O ₂ Light increase in yield with ultrasound extraction, but reduction in glycoside concentration because of formation of H ₂ O ₂
20	Berberin Berberin	50 % viši prinos UE (0,5 h) nego ekstrakcija lužinama (24 h) 50 % higher yield with ultrasound extraction (0.5 h) than with alkali (24 h)
1000	Kopriva Nettle	UE daje bolje rezultate nakon 5 min korištenja 1 W cm ⁻² UZV Ultrasound extraction gives better results for 5 min usage of ultrasound intensity 1 W cm ⁻²
800	Oman i kolotoč <i>Inula chritmoides</i> <i>Telekia speciosa</i>	Bolji prinos u kraćem vremenu (10-40 min), nema degradacije inulina Better yield in shorter time (10-40 min), no inulin degradation
1000	Amarant Amaranth	5 min sonifikacije ne šteti ekstrahiranim aminokiselinskim komponentama 5 min of sonification does not degrade aminoacid components

Ekstrakcija polifenola iz narančine kore upotrebom ultrazvuka

U posljednje vrijeme velika upotreba citrusa u domaćinstvu i industrijskim pogonima, najčešće za proizvodnju soka, rezultirala je akumuliranjem velike količine nusproizvoda poput kore, sjemenki, membrana itd. Ti nusprodukti se mogu koristiti za proizvodnju melase, pektina, eteričnih ulja, limonena itd. Također, oni su odličan izvor fenolnih spojeva,

osobito karakterističnih flavanon glikozida, koji uključuju naringin, hesperidin, narirutin i neohesperidin (Kamran Khan i sur., 2010). Postoje neke sumnje u potencijalnu toksičnost i potencijalnu kancerogenost dugotrajnog korištenja sintetskih antioksidansa, poput butiliranog hidroksianisola (BHA) i butiliranog hidroksitoluena (BHT), što je povećalo interes u izolaciji prirodnih antioksidansa (Moire i sur., 2001). Također, antioksidansi su izuzetno važni prilikom proizvodnje i skladištenja

određenih namirnica. Oksidacija lipida je jedan od najvažnijih procesa u degradaciji hrane (Albu i sur., 2004). Inicijatori lipidne oksidacije su različiti i uključuju UV svijetlo, slobodne radikale, toplinu, enzime, mikroorganizme te metale i metaloproteine.

Antioksidansi su komponente sposobne usporiti ili potpuno spriječiti autooksidaciju jer mogu reagirati sa slobodnim radikalima ili zaustaviti lančanu reakciju oksidacije.

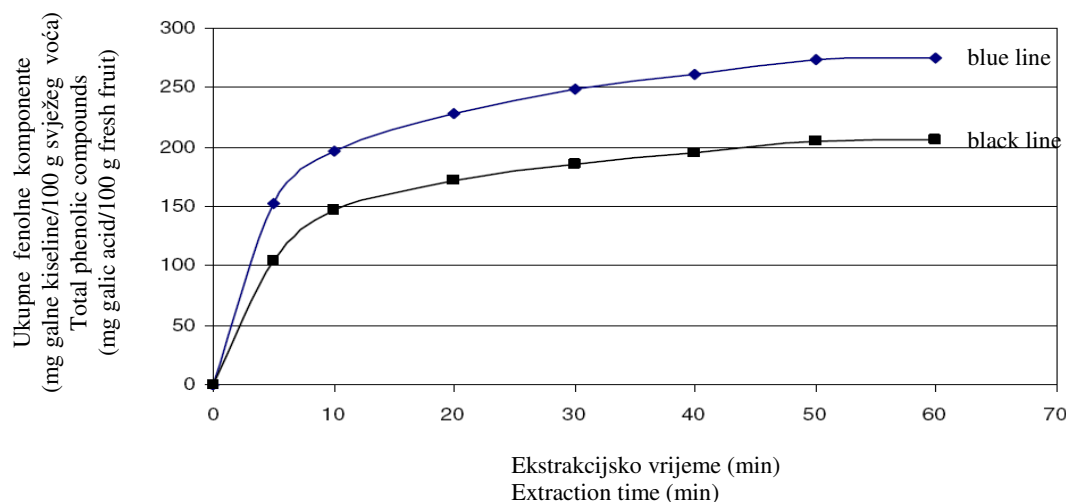
Tablica 3. Prikaz rezultata nedavnih istraživanja ekstrakcije polifenola ultrazvukom (Kamran Khan i sur., 2010)

Table 3. Recent results of research of ultrasound assisted extraction of polyphenols (Kamran Khan et al., 2010)

Biljni materijal Plant material	Produkti Products	Rezultati Results
Mandarina <i>Citrus unshiu Marc</i>	Fenolne kiseline (PA)	Sličan prinos postignut UAE (10–40 min); maceracija (8 h)
Mandarin	Phenolic acids (PA)	Similar yield after UAE (10-40 min); maceration (8 h)
Kaučuk <i>Folium eucommiae</i>	Flavonoidi	UAE se pokazao efikasnijim od ekstrakcije enzimima, toplinom i mikrovalovima
<i>Folium eucommiae</i>	Flavonoids	UAE has shown to be efficient that enzyme, heat or microwave extraction
Žitno brašno <i>Triticum aestivum</i>	Heteroksilani bogati fenolima	Smanjenje ekstrakcijskog vremena sa 60 min (SE) na 5 min (UAE)
Wheat flour	Heteroxilans rich in phenols	Reduction in extraction time from 60 min (SE) to 5 min (UAE)
Mandarina <i>C. reticulata</i>	Hesperidin	Slični prinosi ekstrakcije UZV i SE, ali manja degradacija hesperidina UZV-om
Mandarin	Hesperidine	Similar yield of UAE and Soxhlet extraction, but lighter ultrasound degradation of hesperidine
Mandarina <i>C. unshiu Marc</i>	Fenolne kiseline i flavanon glikozidi	Povišenje polifenolnih sastojaka i antioksidativne aktivnosti u ekstraktu dobivenom UAE
Mandarin	Phenol acids and flavanon glycosides	Increase in phenolic compounds and antioxidative activity in extract obtained by UAE
Mandarina <i>C. reticulata</i>	Ukupne fenolne komponente (UFK)	Produženjem vremena sonifikacije i temperature je povišen i UFK
Mandarin	Total phenolic compounds (TFC)	Prolongation of sonification time and temperature results as increase in TFC
Krilasta kurika <i>Euonymus alatus</i>	Flavonoli rutin i kvercetin	Efikasnost UAE promatrana mikroskopski
<i>Euonymus alatus</i>	Flavonols rutin and quercetin	Efficiency of UAE observed microscopically

Iz Tablice 3 možemo uočiti prednosti primjene ultrazvuka u ekstrakciji polifenola. U radu Kamran Khana i sur. (2010) standardna ekstrakcija (SE) fenola iz narančine kore provedena je pri istim uvjetima kao i UAE, osim sonifikacije. Ukupne fenolne komponente ekstrahirane pomoću UAE u vremenu od 15 minuta su značajno više od onih dobivenih standardnom ekstrakcijom tijekom 60 minuta. Zbog mehaničkog utjecaja na stanične stijenke UAE omogućuje više ekstrakcijske prinose u kraćem vremenskom razdoblju, čime se smanjuje utrošak energije. Količine naringina i hesperidina dobivene UAE (70,3 i 205,2 mg/100 g svježeg proizvoda) su značajno više od onih dobivenih

SE (50,9 i 144,7 mg/100 g svježeg proizvoda). Nije dokazana degradacija flavona uslijed sonifikacije jer do razgradnje fenola dolazi pri višim frekvencijama (potrebno je da nastanu hidroksilni radikal u homolizi vode) od onih korištenih za ovo ispitivanje (20 kHz). Prinos ekstrakcije je također bitna funkcija ekstrakcije, te je za UAE 10,9 %, a za SE 8,6 %, a prednosti UAE nad SE možemo primijetiti i u razlici prinosa ukupnih fenolnih komponenti iz Slike 4. Visoki ukupni fenolni sadržaj, koncentracija flavanona te veći ekstrakcijski prinos (10,9 %) su dokazali efikasnost primjene optimiziranog UZV tretmana u usporedbi s konvencionalnim metodama.



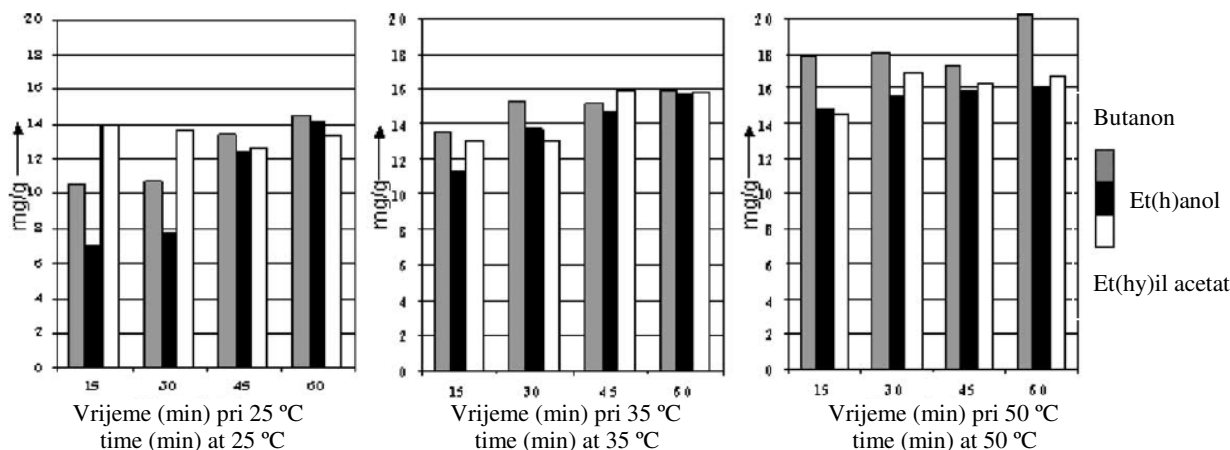
Slika 4. Usporedba ukupnog fenolnog sadržaja (mg GK/100 g svježeg voća) dobivenih ekstrakcijom pomoću UZV (plava linija) i ekstrakcije otapalima (crna linija) (Kamran Khan i sur., 2010)

Fig. 4. Comparison of total phenolic composition (mg GK/100 g fresh fruit) obtained with ultrasound (blue line) and solvent extraction (black line) (Kamran Khan et al., 2010)

Iako su isti volumeni otapala korišteni u oba postupka ekstrakcije, znatno je skraćeno vrijeme procesa te shodno tome i unos energije, bez utjecaja na prinos ekstrakcije. UAE se zato može smatrati zelenom tehnikom, tj. tehnikom prihvatljivom za okoliš. UAE polifenola iz nusprodukata proizvoda hrane, koristeći neškodljiva otapala, ima jak potencijal za industrijski razvoj, u svrhu dobivanja različitih ekstrakata bogatih prirodnim antioksidansima, čime bi se mogli zamijeniti sintetski antioksidansi. S tim ciljem moramo usporediti UAE i SE uspoređivanjem antioksidativnog potencijala ekstrahiranih komponenti. Fenolni antioksidansi imaju svojstvo brzog reduciranja reaktivnih spojeva kisika (ROS), koji uključuju slobodne radikale (Kamran Khan i sur., 2010), čime štite biomolekule poput npr. polinezasićenih masnih kiselina od oksidacije. Nažalost, naringenin i hesperidin su relativno slabi antioksidansi, budući da nemaju kateholnu grupu, koja je najvažnija strukturalna determinanta jakih antioksidansa te stoga reagiraju vrlo sporo sa stabilnim DPPH radikalom i nemaju industrijsku primjenu.

Ekstrakcija antioksidansa iz biljke Ružmarin (Rosmarinus officinalis)

U želji povećanja efikasnosti ekstrakcije karnozinske kiseline (KK) iz biljke ružmarina (*Rosmarinus officinalis*, L.), Albu i sur. (2004) su proveli istraživanje ekstrakcije ultrazvukom, koristeći butanon, etil-acetat i etanol kao otapala. Ekstrahirani su i suhi i svježi listovi biljke, pri istoj temperaturi. Kao što je vidljivo iz Slike 5, sonifikacijom su poboljšani prinosi svih triju otapala i skraćeno vrijeme ekstrakcije. Sonifikacijom je također omogućeno da etanol, inače loš izbor za ekstrakciju konvencionalnim metodama, postigne sličan nivo efikasnosti ekstrakcije kao i ostala otapala. Također, ekstrakcija osušene biljke sa etanolom se pokazala efikasnijom od one sa svježim materijalom, vjerojatno zbog prisutnosti vode.



Slika 5. Usporedba dobivenih količina ekstrahirane komponente pri različitim temperaturama sa različitim otapalima, ekstrakcijom sa ultrazvukom (Albu i sur., 2004)

Fig. 5. Comparison of yield in extraction compounds at different temperatures with different solvents, with ultrasound extraction (Albu et al., 2004)

Rezultati su potvrdili da količina ekstrahirane karnozinske kiseline ovisi o temperaturi. Butanon je postigao najefikasniju ekstrakciju, zatim etil acetat te etanol. Rezultati efikasnosti ovih otapala se mogu pripisati njihovim polarnostima. Rezultati ekstrakcije ultrazvukom pokazuju da temperatura utječe na KK te smanjuje razliku između otapala. Ekstrakcija KK uz etanol kao otapalo je značajno poboljšana djelovanjem ultrazvuka te je ista količina KK ekstrahirana u etanolu u 15 minuta kao što je u 3 sata u vodenoj kupelji (Albu i sur., 2004). To se može pripisati intenzifikaciji prijenosa mase. Ultrazvuk može probiti stanične stjenke, što rezultira boljim kontaktom otapala i biljnog materijala. Rezultati ekstrakcije u kojoj se koristila ultrazvučna kupka (40 kHz) su slični onima dobivenim korištenjem ultrazvučne sonde (20 kHz), omogućujući efikasnu ekstrakciju pri 50 °C za samo 15 minuta. Također, dodavanje vode u etanol kao otapalo, pokazalo se neefikasnim opet potvrđujući da voda iz svježeg ružmarina utječe na efikasnost ekstrakcije.

Ekstrakcija mentola iz biljke paprene metvice (Mentha piperita) upotrebom ultrazvuka

Za potencijalnu zamjenu konvencionalnog destruktivnog procesa ekstrakcije mentola iz biljke paprene metvice (*Mentha piperita*, L.), Shotipruk i sur. (2001) su promatrali djelovanje ultrazvuka na prinos ekstrakcije. Rezultati su pokazali da su biljke tretirane ultrazvukom za 1 h pri 22 °C u standardnoj ultrazvučnoj kupelji od 40 kHz otpustale otprilike 17,8 mikrograma mentola po gramu tkiva lista (2 %

od ukupnog proizvoda). Iznos otpuštenog mentola povećan je sa povećanjem vremena tretiranja i u velikoj mjeri je podložan temperaturi vode ultrazvučne posude. Povećanje količine ekstrakta sa 2 % na 12 % od ukupnog proizvoda je primijećeno kada je temperatura povećana sa 22 °C na 39 °C. Kada su efekti temperature izolirani dokazano je da ekstrakciju uzrokuje mehanizam kavitacije. Tretirane biljke su ostale održive i spremne za naknadnu ultrazvučnu ekstrakciju nakon otprilike 4 dana oporavka. Međutim, količina ekstrakta u naknadnim ekstrakcijama je smanjena. Eksperimentom je prikazana mogućnost korištenja on-line ultrazvuka, nedestruktivne metode ekstrakcije kako bi se omogućilo kontinuirano otpuštanje unutarstaničnih metabolita iz biljke uz očuvanje njene životnosti (Shotipruk i sur., 2001).

Zaključak

Primjena ultrazvuka je vrlo atraktivna tema i predmet interesa velikog broja znanstvenika i istraživača zbog komercijalne prednosti i jedinstvenih rezultata obrade ultrazvukom. Ultrazvučno potpomognutom ekstrakcijom (UAE) se mogu postići isplativi dobitci u učinkovitosti ekstrakcije i njejoj brzini, što bi, kad bi bilo ostvareno u industrijskim razmjerima, predstavljalo vrijedan ekonomski dobitak u odnosu na standardne metode ekstrakcije. Također, postoji potencijal za primjenu UAE za poboljšanje ekstrakcije u vodenim medijima i mogućnost zamjene organskih otapala s onima koja su općenito priznata kao sigurna („GRAS“). UAE također može pružiti priliku za bolju ekstrakciju

bioaktivnih komponenti osjetljivih na toplinu, s obzirom da se provodi pri nižim temperaturama. Tu je i potencijal postizanja simultane ekstrakcije i enkapsulaciju ekstrahirane komponente te ciljane hidroksilacije bioaktivnih komponenti, npr. fenola, kako bi im se povećala bioaktivnost, tj. njihova antioksidativna svojstva. Ekstrakcija ovisi o primijenjenoj frekvenciji, intenzitetu ultrazvuka, vremenu tretiranja i polarnosti medija, koji može biti čista otopina ili smjesa otapala. Pri nižim frekvencijama dominira fenomen kavitacije, koji uzrokuje mikrorupture staničnog materijala, tj. stjenki, tako omogućivši prodiranje otapala u biomaterijal i povećavajući prijenos mase.

Literatura

- Albu S., Joyce E., Paniwnyk L., Lorimer J.P., Mason T.J. (2004): Potential for the use of ultrasound in the extraction of antioxidants from *Rosmarinus officinalis* for the food and pharmaceutical industry, *Ultrason Sonochem.* 11, 261–265.
- Ashokkumar M., Sunartio D., Kentish S., Mawson R., Simons L., Vilku K., Versteeg C. (2008): Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionality: A preliminary study on a model system, *Innovat. Food. Sci. Emerg. Tech.* 9, 155–160.
- Awtrey, A.D., Connick, R.E. (1951): The absorption spectra of I_2 , I_3^- , I^- , IO_3^- , $S_4O_6^{2-}$, and $S_2O_3^{2-}$, *J. Am. Chem. Soc.* 73, 1842-1843.
- Balachandran, S., Kentish, S.E., Mawson, R., Ashokkumar, M. (2006): Ultrasonic enhancement of the supercritical extraction from ginger, *Ultrason. Sonochem.* 13, 471-479.
- Bravo, L. (1998): Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance, *Nutr. Rev.* 56, 317-333.
- Caili, F., Haijun, T., Quanhong, L., Tongyi, C., Wenjuan, D. (2006): Ultrasound assisted extraction of xyloglucan from apple pomace, *Ultrason. Sonochem.* 13, 511-516.
- Chemat F., Grondin I., Shum Cheong Sing A., Smadja J. (2004): Deterioration of edible oils during food processing by ultrasound, *Ultrason. Sonochem.* 11, 13–15.
- Chemat, F., Tomao, V., Viro, M. (2008): Ultrasound assisted extraction in food analysis. In: Handbook of food analysis instruments, Boca Raton, Florida, USA, Semih Ötleş, pp. 85- 103.
- Crawford, A.E. (1963): A practical introduction to ultrasonic cleaning, *Ultrasonics* 1, 65.
- Ebringerova, A., Hromadkova, Z. (1997): The effect of ultrasound on the structure and properties of the watersoluble corn hull heteroxytan, *Ultrason. Sonochem.* 4, 305-309.
- Fairbanks, H.V. (2001): Drying powdered coal with the aid of ultrasound, *Powder technol.* 40 (1-3), 257-264.
- Gallego-Juarez, J.A. (1998): Some applications of air-bone power ultrasound to food processing. In: *Ultrasound in Food Processing*, Povey, M.J.W., Mason, T.J. (ed.), Blackie Academic and Professional: Glasgow, UK, pp. 127-143.
- Henglein, A. (1993): Contributions to various aspects of cavitation chemistry. In: *Advances in Sonochemistry*, Mason, T. J. (ed.), pp. 17-83.
- Kamran Khan M., Abert-Vian M., Fabiano-Tixier A.S., Dangles O., Chemat F. (2010): Ultrasound-assisted extraction of polyphenols (flavanone glycosides) from orange (*Citrus sinensis* L.) peel, *Food Chem.* 119, 851–858.
- Leighton T. G. (2007): What is ultrasound?, *Prog. Biophys. Mol. Biol.* 93, 3–83.
- Lelas, V. (2006): Nove tehnike procesiranja hrane, *Dairy* 56 (4), 311-330.
- Lopez-Malo, A., Jimenez-Fernandez, M., Palou, E. (2001): *Penicillium digitatum* spores inactivation by combining thermoultrasonification treatments and antimicrobial agents, IFT 2001 Annual meeting Technical Program Abstracts, pp. 151.
- Mason, T.J. (1992): Industrial sonochemistry: potential and practicality, *Ultrason. Sonochem.* 30 (3), 192-196.
- Mason, T.J., Luche, J.L. (1996): Ultrasound as a new tool for synthetic chemists. In: *Chemistry under extreme or non classical conditions*, van Eldk, R., Hubbard, C.D., (ed.), John Wiley and sons, Inc. and Spektrum Akademischer Verlag, New York., pp. 317-380.
- Moure, A., Cruz, J. M., Franco, D., Dominguez, J. M., Sineiro, J., Dominguez, H. (2001): Natural antioxidants from residual sources, *Food Chem.* 72, 145–171.
- Povey, M.J.W. (1998): Ultrasonics of food, *Contemp. Phys.* 39 (6), 467-478.
- Povey, M.J.W., Mason, T.J. (1998): *Ultrasound in Food Processing*, Blackie Academic and Professional, London.
- Raso, J., Manas, P., Pagan, R., Sala, F.J. (1999): Influence of different factors on the output power transferred into medium by ultrasound, *Ultrason. Sonochem.* 5, 157–162.
- Režek Jambrak, A., Lelas, V., Herceg, Z., Badanjak, M., Werner, Z. (2010): Primjena ultrazvuka visoke snage u sušenju voća i povrća, *Kem. Ind.* 59 (4), 169–177.
- Sala, F.J., Burgos, J., Condon, S., Lopez, P., Raso, J. (1995): Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes. In: *New methods of Food Preservation*. Gould, G.W. (ed.), Blackie Academic and Professional: London.
- Shotipruk, A., Kaufman, P. B., Wang, H. Y. (2001): Feasibility Study of Repeated Non-lethal Ultrasonic Extraction of Menthol from *Mentha piperat*, *Biotechnol. Prog.* 17, 924-928.
- Springett, B. (2001): Effect of agronomic factors on grape quality for wine production. In: *Raw Ingredient Quality in Processed Foods*, Springett, M.B. (Ed.), Maryland: Aspen Publishers, pp. 125–146.

- Suslick, K.S. (1994): The chemistry of ultrasound. In: The Yearbook of Science and the Future 1994; Encyclopaedia Britannica: Chicago, pp. 138-155.
- Suslick K. (1990): Sonochemistry, *Science* 247, 1439-1445.
- Villamiel, M., de Jong, P. (2000): Influence of high intensity ultrasound and heat treatment in continuous flow on fat, proteins, and native enzymes of milk, *J. Agric. Food. Chem.* 48, 472-478.
- Vilkhu K., Mawson R., Simons L., Bates D. (2008): Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry — A review, *Innovat. Food. Sci. Emerg. Tech.* 9, 161–169.
- Vinatoru, M. (2001): An overview of the ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from herbs, *Ultrason. Sonochem.* 8, 303-313.
- Wan, J., Mawson, R., Ashoukkumar, M., Ronacher, K., Coventry, M.J., Roginski, H., Versteeg, C. (2005): Emerging processing technologies for functional foods, *Aust. J. Dairy. Tech.* 60, 59-61.
- Wang, L., Weller C.L. (2006): Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants, *Trends. Food. Sci. Tech.* 17, 300-312.

Received: October 25, 2010

Accepted: December 17, 2010

Ultrasound assisted extraction of bioactive compounds

Helena Drmić, Anet Režek Jambrak*

University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Croatia

review

Summary

Many novel and innovative techniques are nowadays researched and explored in order to replace or improve classical, thermal processing technologies. One of newer technique is technique of minimal food processing, under what we assume ultrasound processing. Ultrasound technology can be very useful for minimal food processing because transmission of acoustic energy through product is fast and complete, which allows reduction in total processing time, and therefore lower energy consumption. Industrial processing is growing more and more waste products, and in desire of preservation of global recourses and energy efficiency, several ways of active compounds extraction techniques are now explored. The goal is to implement novel extraction techniques in food and pharmaceutical industry as well in medicine. Ultrasound assisted extraction of bioactive compounds offers increase in yield, and reduction or total avoiding of solvent usage. Increase in temperature of treatment is controlled and restricted, thereby preserving extracted bioactive compounds. In this paper, several methods of ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from plant materials are shown. Ultrasound can improve classic mechanisms of extraction, and thereby offer novel possibilities of commercial extraction of desired compounds. Application of sonochemistry (ultrasound chemistry) is providing better yield in desired compounds and reduction in treatment time.

Keywords: ultrasound, sonochemistry, extraction, bioactive compounds