

Sumutuskuivaus karvaan maun muokkaajana

TkK-Tutkielma
Turun yliopisto
Bioteknologian Laitos
Biotekniikka
Huhtikuu 2024
Vilma Kivistö

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -järjestelmällä.

TURUN YLIOPISTO

Bioteknologian laitos

VILMA KIVISTÖ

Sumutuskuivaus karvaan maun muokkaajana

TkK-tutkielma, 15 s.

Biotekniikka

Huhtikuu 2024

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -järjestelmällä.

Tutkielman tarkoituksena on syventyä sumutuskuivauksen merkitykseen maun muokkaajana. Karvas maku koetaan usein epämiellyttävänä ja on usein haaste tuotteiden kehittämisessä elintarviketeollisuudessa. Monet terveelliseksi luokitellut elintarvikkeet ja yhdisteet ovat karvaan makuisia, mikä voi vaikuttaa tuotteen hyväksyttävyyteen. Sumutuskuivaus on yleisin kapselointimenetelmä, jonka avulla voidaan suojata erilaisia yhdisteitä kalvon sisään. Menetelmässä nestemäinen seos sumutetaan kuumaan kaasuvirtaan, jolloin nopean veden haihtumisen myötä syntyy pienten kapseloiden muodostamaa kuivaa jauhetta. Sumutuskuivauksen ja karvaan maun peittämisen yhdistäminen tuo esiin näkökulman terveellisten tuotteiden kehittämisessä ottamalla samalla huomioon kuluttajien mieltymykset.

Tässä tutkielmassa selvitetään sumutuskuivauksen vaikutuksia karvaan maun peittämisessä ja bioaktiivisten yhdisteiden suojaamisessa. Tutkielman alussa esitellään karvaisten yhdisteiden kirjoa ja perehdytään sumutuskuivauksen menetelmään katsausartikkeleiden pohjalta. Sumutuskuivauksesta tehtyjen tutkimusten avulla pystyttiin arvioimaan kapseloinnin tehokkuutta ja selvittämään, kuinka se vaikuttaa karvaan maun vähentämiseen erilaisilla terveellisillä yhdisteillä. Tutkimuksissa on analysoitu esimerkiksi kofeiinin, proteiinihydrosylaattien ja polyfenoliuutteiden sumutuskuivausta.

Tutkimukset osoittavat sumutuskuivauksen olevan pääosin tehokas bioaktiivisten aineiden suojaamisessa ja yhdisteiden maun parantamisessa. Lisäksi tutkimukset korostavat sumutuskuivattujen yhdisteiden hyödyntämistä funktionaalisten elintarvikkeiden kehittämisessä. Tämän perusteella voidaan sanoa sumutuskuivauksella olevan merkittävä rooli karvaan maun peittämisessä. Lisätutkimuksia tarvitaan siinä, miten sumutuskuivattujen yhdisteiden käyttö vaikuttaa tuotteen ulkonäköön ja säilyvyyteen pitkällä aikavälillä. Tämä on tärkeää terveellisinä vaihtoehtoina markkinoitujen tuotteiden laadun varmistamiseksi.

Asiasanat: **Kapselointimenetelmät, sumutuskuivaus, karvas maku**

Sisällys

1 Johdanto	2
2 Karvas maku ja karvaat yhdisteet elintarvikkeissa	3
3 Sumutuskuivaus	5
3.1 Menetelmä.....	5
3.2 Kapselointiin vaikuttavat ominaisuudet.....	6
3.3 Edut ja rajoitteet.....	7
4 Karvaiden yhdisteiden sumutuskuivaus.....	9
4.1 Tutkimuksia sumutuskuivauksen vaikutuksista eri yhdisteillä	9
4.1.1 Vihreä tee.....	10
4.1.2 Kaakaon kuoret.....	10
4.1.3 Proteiinihydrosylaatti.....	11
5 Sumutuskuivauksen vertailu kapselointimenetelmään	12
6 Yhteenveto	13
Lähteet.....	14

1 Johdanto

Maku on keskeinen tekijä, kun arvioidaan ruoan miellyttävyyttä. Karvas maku ruoassa voi viestiä ruoan pilaantumisesta tai jopa varoittaa sen myrkyllisyydestä. Ruoan terveellisyyteen kiinnitetään myös paljon huomiota nykypäivänä, mutta monet terveelliset elintarvikkeet ja niiden ainesosat sisältävät karvaan makuisia yhdisteitä. Tämä tuo haasteita terveellisten elintarvikkeiden käytölle, sillä karvas maku voi tehdä elintarvikkeesta epämiellyttävän. (Yan ja Tong 2023.)

Yksi keino peittää epämiellyttävää makua elintarvikkeissa on erilaiset kapselointimenetelmät, joista yleisin on sumutuskuivaus. (Mirzapour-Kouhdasht ja muut 2023). Sumutuskuivauksessa aktiivinen aine ympäröidään ohuesti kapselointimateriaalilla. Kapseloiminen mahdollistaa yhdisteiden suojaamisen ympäristön vaikutuksilta ja niiden vapautumisen kontrolloimisen esimerkiksi pH:n ja lämpötilan avulla sekä helpottaa esimerkiksi nestemäisten aineiden käsittelyä kuivattamalla. Lisäksi kapseloinnin avulla voidaan lisätä terveellisiä ainesosia elintarvikkeisiin ilman, että se vaikuttaa tuotteen makuun, hajuun tai ulkonäköön. Sumutuskuivausmenetelmän yhtenä sovelluskohteena on bioaktiivisten aineiden kapselointi, mikä mahdollistaa niiden hyödyntämisen funktionaalisten elintarvikkeiden kehittämisessä. (Arenas-Jal ja muut 2020.)

Tässä tutkielmassa selvitetään kapseloinnin vaikutusta karvaan makuisten yhdisteiden suojaamisessa ja maun muokkaamisessa elintarviketeollisuudessa. Tutkielmassa keskitytään tarkemmin sumutuskuivauksen menetelmään ja sen vaikutukseen karvaiden yhdisteiden maun peittämisessä. Alussa esitellään karvaan maun ilmenemistä ja karvaan makuisia yhdisteitä eri elintarvikkeissa. Tutkielmassa tuodaan esille sumutuskuivauksesta tehtyjä erilaisia tutkimuksia, jotka ovat tarkastelleet sumutuskuivausta, erityisesti yhdisteiden säilyvyyden ja karvaan maun neutraloinnin näkökulmasta. Lisäksi sumutuskuivausta vertaillaan muuhun elintarviketeollisuudessa käytettyyn kapselointimenetelmään, jotta voidaan ymmärtää paremmin sen käytön tehokkuutta.

2 Karvas maku ja karvaat yhdisteet elintarvikkeissa

Karvas maku on yksi viidestä perusmausta, ja se havaitaan usein pistävänä ja voimakkaana makuna. Karvauuden aistimisen tarkoitus on suojella elimistöä myrkyllisten yhdisteiden nielemiseltä. Makujen aistimus alkaa makuyhdisteiden sitoutuessa makureseptoreihin, joita on koko kielen pinnalla. (Wooding ja muut 2021.) Karvaan maun aistimusta tuottaa 25 eri T2-reseptoria ihmisen kielen makunystyröissä. Nämä G-proteiinikytkentäiset reseptorit tunnistavat suussa liuenneita karvaita yhdisteitä, ja niistä signaali välittyy signaalinsiirtoreittiä pitkin aivoihin. (Maehashi ja Huang 2009.) Ihmisillä T2R-geenien erot aiheuttavat herkkyyseroja eri karvaille yhdisteille, mikä voi tuottaa haasteita karvaan maun voimakkuuden arvioinnissa. (Wooding ja muut 2021).

Karvasta makua aiheuttavia yhdisteitä on olemassa laaja kirjo. Suurin osa yhdisteistä on peräisin kasveista tai muodostuu elintarvikkeiden varastoinnin tai käsittelyn aikana tapahtuvien kemiallisten reaktioiden seurauksena. Karvaita yhdisteitä jaetaan eri yhdisteryhmiin niiden kemiallisen rakenteen perusteella. Yhdisteryhmiä ovat esimerkiksi alkaloidit, terpenoidit, fenoliyhdisteet sekä peptidit ja hydrofobiset L-aminohapot. Yksi yleisesti tunnettu alkaloidi on kofeiini, jota on esimerkiksi kahvissa, teessä ja kaakaossa. Fenoliyhdisteisiin kuuluvat karvaan makuiset fytokeemikaalit, joita on sitrushedelmissä, kahvissa ja viinissä. Alkaloidit, terpenoidit ja fenoliyhdisteet esiintyvät luonnostaan kasviperäisissä elintarvikkeissa, ja ne ovat myös terveellisiä suositeltavissa määrissä. (Yan ja Tong 2023.)

Elintarvikkeiden varastoinnin aikana tapahtuvat kemialliset reaktiot voivat johtaa karvaan maun muodostumiseen. Yksi reaktio on hapettuminen, jossa happi reagoi esimerkiksi lipidien kanssa. Lipidien hapettumisessa syntyy erilaisia karvaan makuisia yhdisteitä, kuten aldehydejä. Reaktiot voivat olla epähaluttuja, esimerkiksi leivän säilytyksessä, koska ne voivat vaikuttaa merkittävästi elintarvikkeen laatuun ja kuluttajien mieltymyksiin. (Jensen ja muut 2011.)

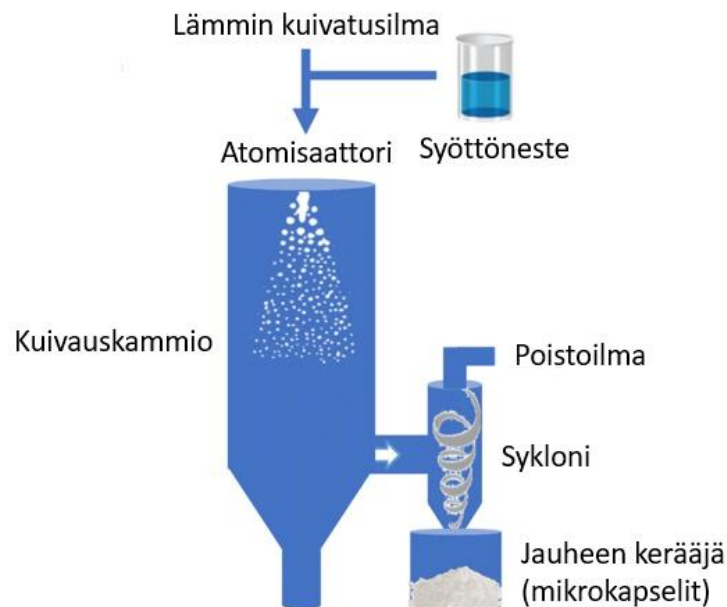
Näiden karvaiden yhdisteiden lisäksi karvaus voi syntyä elintarvikkeiden valmistusprosessissa esimerkiksi proteiinien fermentoinnissa tai hydrolysoinnissa. Hydrolyysissä proteiineja katkaistaan entsyymaattisesti pienemmiksi peptideiksi, jolloin hydrofobiset aminohapot aiheuttavat karvaan maun. (Maehashi ja Huang 2009.) Elintarvikkeiden käsittelyssä syntyneitä karvaita peptidejä ovat esimerkiksi

soijaproteiinihydroksylaatti ja kalaproteiinihydroksylaatti sekä maidosta peräisin olevat kaseiini- ja heraproteiinihydroksylaatti. Proteiinihydroksylaattien peptideillä on pieni molekyylipaino, ja lisäksi niillä on hyviä biologisia ominaisuuksia, kuten verenpaineen alentaminen sekä antioksidanttiset vaikutukset. Karvas maku voi kuitenkin terveyshyödyistä huolimatta vaikuttaa niiden kuluttamiseen negatiivisesti, jos kuluttajat päättävät olla ostamatta tuotetta maun perusteella. Karvaan maun peittäminen on tällöin olennainen osa elintarvikkeiden valmistusprosessia, jotta tuotteet olisivat houkuttelevampia. (Mirzapour-Kouhdasht ja muut 2023.)

3 Sumutuskuivaus

3.1 Menetelmä

Sumutuskuivaus on yleinen ja vanhin menetelmä elintarvikkeiden tai niiden ainesosien mikrokapseloinnissa (Arenas-Jal ja muut 2020). Tässä fysikaalisessa kapselointimenetelmässä nestemäinen liuos, emulsio tai suspensio sumutetaan kuumaan kaasuvirtaan pieninä pisaroina. Kun vesi haihtuu nopeasti, syntyy pienten kapselien muodostamaa kuivaa jauhetta. Kapseloiden koko ja muoto vaihtelee kapselointiolosuhteiden mukaan. (Gharsallaoui ja muut 2007.) Kapselointia sumutuskuivaamalla on käytetty muun muassa öljyjen, aromien, polyfenolien, ravinteiden, väriaineiden, vitamiinien ja entsyymien kapselointiin (Furuta ja Neoh 2021). Kuvassa 1 on yksinkertaistettu sumutuskuivauksen laitteisto ja prosessi, joka sisältää syöttönesteen sumutuksen atomisaattorin läpi, kuivatusilman käytön ja kapseloiden jäähtymisen sekä keräämisen.



Kuva 1. Sumutuskuivauksen laitteisto ja prosessi.

(Muokattu kuvasta Arenas-Jal ja muut, 2020)

Ensimmäisenä mikrokapseleiden valmistuksessa kapselimateriaalista ja kapseloitavasta materiaalista muodostetaan homogenoitava syöttöneste. Hydrofobiset kapseloitavat materiaalit käsitellään emulgointiaineella, jolloin ne muodostavat emulsion kapselimateriaalin kanssa. (Furuta ja Neoh 2021.) Seuraavaksi dispergoitunut syöttöneste sumutetaan atomisaattorin läpi kuivauskammioon. Lämmin ja kuiva ilma saa veden haihtumaan nopeasti, jolloin muodostuu mikrokapseleita. Lopuksi kuivat mikrokapselit erotellaan syklonin avulla ja syntynyt jauhemainen tuote voidaan kerätä talteen. (Gharsallaoui ja muut 2007.)

3.2 Kapselointiin vaikuttavat ominaisuudet

Ennen sumutuskuivausta on tärkeää tehdä seoksesta stabiili, mihin vaikuttaa merkittävästi kapselointimateriaalin valinta. Kapselointimateriaalin pitää olla vesiliukoinen, ja sillä on oltava alhainen viskositeetti korkeassa pitoisuudessa. Vesiliukoisuus edistää materiaalin sekoittumista, ja alhainen viskositeetti helpottaa käsittelyä ja varmistaa tasaisen sumutuksen. Lisäksi kapselointimateriaalilla on oltava hyvä emulgointi- ja kalvonmuodostusominaisuus, jotka varmistavat tasalaatuisen kapselirakenteen. Hyvä kuivumisominaisuus nopeuttaa prosessia ja ehkäisee epätoivottuja sivuvaikutuksia, kuten kapselien liiallista tarttuvuutta toisiinsa. (Saifullah ja muut 2019.)

Monet kapseloitavat yhdisteet ovat hydrofobisia, jolloin niiden käsittely emulgointiaineella stabiloi seosta. Emulgointi vähentää pintajännitystä öljyn ja veden rajapinnassa, mikä pitää kapseloitavan materiaalin pisarat homogeenisesti dispergoituneina syöttönesteessä. (Furuta ja Neoh 2021.)

Kapselointiin vaadittavat ominaisuudet toteutuvat monilla kapselointimateriaaleilla. Elintarvikkeiden sumutuskuivaamiseen käytetään yleisemmin hiilihydraattipolymeerejä tai proteiineja, jotka on tarkemmin listattu taulukossa 1. Kapselimateriaaleja voidaan myös yhdistellä, jotta voidaan täydentää niiden heikkoja ominaisuuksia (Gharsallaoui ja muut 2007.) Esimerkiksi Wangin ja muiden (2020) tutkimuksessa soijapapuhydrosylaattien sumutuskuivauksessa kapselointimateriaalina käytettiin maltodekstriiniä ja soijaproteiini-isolaattia. Tämän yhdistelmän tarkoituksena oli suojata paremmin kapseloitavaa materiaalia, missä onnistuttiin. (Wang ja muut 2020).

Taulukko 1. Yleiset kapselointimateriaalit sumutuskuivauksessa.

Hiilihydraatti	Proteiini
Maltodekstriini	Heraproteiini
Arabikumi	Gluteiini
Tärkkelys	Gelatiini
Soijapapupolysakkaridi	Soijaproteiinit
Alginaatti	Maitoproteiinit

Onnistuneeseen kapselointiin vaikuttavat myös kuivausolosuhteet, kuten syöttönesteen lämpötila sekä kuivauksen syöttö- ja poistolämpötilat. Syöttönesteen korkea lämpötila alentaa emulsion viskositeettia, mikä voi pienentää pisaroiden kokoa. Kuivauskammioon tulevan ilman liian alhainen tai liian korkea lämpötila voi johtaa mikrokapseleiden epämuodostumiseen. Näitä lämpötiloja voidaan säätää optimaaliselle tasolle, jolloin voidaan välttää tuotteen vahingoittuminen. Tyypillinen tuloilman lämpötila on 150–220°C. Poistolämpötila riippuu materiaalin kuivumisominaisuuksista, ja sen ihannelämpötila elintarvikkeiden mikrokapseloinnissa on 50–80 °C. (Gharsallaoui ja muut 2007.)

3.3 Edut ja rajoitteet

Sumutuskuivaus on suosittu kapselointimenetelmä, koska se on halpa ja nopea suhteessa muihin kapselointimenetelmiin (Mirzapour-Kouhdasht ja muut 2023). Sumutuskuivaus sopii teolliseen tuotantoon, koska sen avulla voidaan käsitellä isoja yhdistemääriä yhdellä kertaa. Kuivausominaisuudet ja kapselointimateriaalit voidaan valita, ja mikrokapseleiden kokoa voidaan säätää niin, että tuotteesta tulee mahdollisimman stabiili ja helppokäyttöinen jauhe. (Gharsallaoui ja muut 2007.)

Sumutuskuivauksen avulla voidaan tehokkaasti hyödyntää kasvien eri osia, jotka muutoin menisivät hävikkiin. Esimerkiksi polyfenoleja sisältäviä kaakaon kuoria hyödynnettiin sumutuskuivauksella suklaapatukoiden valmistuksessa. Kapselointi voi myös suojata yhdisteitä ja säilyttää niiden aktiivisuuden pidempään. (Grassia ja muut 2021.)

Sumutuskuivauksen hyödyistä huolimatta sen käytössä on otettava huomioon erilaisia rajoitteita. Kuivausprosessiin tarvitaan paljon energiaa ja kuivauksessa käytettävää lämpöä ei pystytä hyödyntämään uudelleen, joten menetelmä ei ole erityisen energiatehokas. (Gharsallaoui ja muut 2007).

Laitteiston käyttö, sekä reaktiot kapselointimateriaalin ja kapseloitavan yhdisteen välillä eri olosuhteissa on tunnettava myös hyvin. Lämpöherkkien yhdisteiden sumutuskuivaus voi aiheuttaa haasteita, sillä korkea lämpötila voi vaikuttaa niiden laatuun ja säilyvyyteen. Elintarvikkeiden sumutuskuivauksessa kapselointimateriaalin käyttö on rajallinen elintarvikemääräysten ja alhaisten hintamarginaalin vuoksi. Lisäksi sumutuskuivaus soveltuu myös vain nestemäisille aineille. Tämä vuoksi vaaditaan erityistä huolellisuutta eri yhdisteiden näytteen valmistuksessa. (Furuta ja Neoh 2021.)

4 Karvaiden yhdisteiden sumutuskuivaus

4.1 Tutkimuksia sumutuskuivauksen vaikutuksista eri yhdisteillä

Elintarviketeollisuudessa sumutuskuivaus on suosittu menetelmä monien bioaktiivisten aineiden karvaan maun peittämisessä. Kapselointi muodostaa fyysisen seinän bioaktiivisen aineen ympärille ja vähentää bioaktiivisten aineiden liukoisuutta, mikä estää kosketuksen makuhermojen kanssa. (Furuta ja Neoh 2021.) Erillisiä tutkimuksia sumutuskuivauksen vaikutuksista peittää karvasta makua esitellään taulukossa 2, ja seuraavissa kappaleissa käsitellään näiden ajankohtaisimpien tutkimusten tuloksia. Tutkimuksissa käytettiin sumutuskuivausta parantamaan bioaktiivisten yhdisteiden säilyvyyttä, mutta niiden soveltamisessa oli eroja riippuen tutkittavasta yhdisteestä ja kapselointimateriaalista.

Taulukko 2. Tutkimuksia sumutuskuivauksesta

Kapseloitava yhdiste	Kapselointimateriaalit (Kapselointimateriaalin ja kapseloitavan yhdisteen suhde)	Tulokset	Lähde
Vihreän teen uute (katekiinit ja kofeiini)	12 eri biopolymeeriä	Kumien käyttö kapselointimateriaalina säilytti polyfenolit parhaiten. Pektini, alginaatti ja inuliini peitti parhaiten polyfenolien karvasta makua.	(Belščak-Cvitanović ja muut 2015)
Kaakaon kuoren uute (epikatekiini, katekiini ja prosyaniidiinit)	Maltodekstriini (1:5)	Ei merkittävää eroa karvauudessa näytteiden ja kontrollin välillä. Fenolipitoisuus säilyi pitkään. Maltodekstriini peitti kaakaon makua.	(Grassia ja muut 2021)
Kaseiinihydroksylaatti	Maltodekstriini (60:40)	Sumutuskuivaus vähensi hydroksylaatin hygroskooppisuutta ja karvasta makua.	(Sarabandi ja muut 2018)

4.1.1 Vihreä tee

Belščak-Cvitanovićin ja muiden (2015) tutkimuksessa arvioitiin eri kapselointimateriaalien vaikutuksia sumutuskuivaamalla vihreän teen sisältämiä bioaktiivisia aineita. Tutkimuksen tavoitteena oli löytää parhaat kapselointimateriaalit, jotka voivat säilyttää vihreän teen bioaktiiviset yhdisteet ja parantaa niiden toiminnallisia ominaisuuksia. Tutkimuksessa keskityttiin etenkin vihreän teen sisältämiin kofeiiniin ja katekiiniyhdisteisiin. Sumutuskuivaus suoritettiin 130 °C lämpötilassa, jotta katekiinit säilyvät paremmin kapselissa. Tutkimuksessa sumutuskuivattujen vihreän teeuutteen maun aistinvarainen arviointi suoritettiin kvantitatiivisella kuvailevalla analyysimenetelmällä, johon osallistui kymmenen koulutettua arvioijaa. (Belščak-Cvitanović ja muut 2015.)

Taulukossa 2 näkyvät tulokset, jossa kumien (arabikumi, guarkumi, LBG ja ksantaani) käyttö kapselointimateriaalina tuotti pienemmän partikkelikoon, korkeimman katekiinipitoisuuden ja parhaan vapautumiskinetiikan. Kapselointimateriaaleista pektiinin, inuliinin ja alginaatin käyttö kuitenkin peittivät parhaiten bioaktiivisten aineiden karvasta makua, koska karvaat yhdisteet imeytyvät niihin parhaiten. Tutkimuksessa ehdotetaan näiden kapselointimateriaalien yhdistämistä ja niillä kapseloitujen bioaktiivisten aineiden käyttämistä täyteenä erilaisissa elintarvikkeissa, kuten suklaassa. (Belščak-Cvitanović ja muut 2015.)

4.1.2 Kaakaon kuoret

Grassian ja muiden (2021) tutkimuksessa kaakaon kuorista eristettiin fenolisia yhdisteitä uutto-prosessin avulla. Uutteet kapseloitiin sumutuskuivauksella erilaisilla olosuhteilla ja kapselointimateriaalina käytettiin maltodekstriiniä. Kapseleita, jotka säilyttivät parhaiten polyfenolipitoisuuden, antioksidanttiaktiivisuuden ja kapselointisaannon, käytettiin suklaapatukoiden valmistuksessa. Kyseisen tutkimuksen tavoitteena oli parantaa suklaan antioksidanttisia vaikutuksia hyödyntämällä kaakaon kuorista peräisin olevia fenoliyhdisteitä. Lopputuotteista arvioitiin niiden antioksidanttikykyä, aistinvaraisia ominaisuuksia ja säilyvyyttä. (Grassia ja muut 2021.)

Taulukossa 2 tulokset viittaavat, että tutkimuksen aistinvaraisessa analyysissä ei havaittu merkittävää makueroa suklaapatukoissa, joihin oli lisätty sumutuskuivattuja ja kapseloimattomia karvaan makuisia fenoliyhdisteitä. Maltodekstriinien käyttö kuitenkin aiheutti ulkonäön muutoksia ja peitti osittain kaakaon alkuperäisen maun. Fenoleiden säilyvyys parani sumutuskuivauksen avulla, koska kapselit suojasivat fenoliyhdisteitä hapettumiselta. Tässä tapauksessa sumutuskuivauksella ei ollut merkitystä karvaan maun peittämisen kannalta. (Grassia ja muut 2021.)

4.1.3 Proteiinihydrolysaatti

Sumutuskuivausta on tutkittu myös proteiinihydrolysaattien kohdalla. Sarabandin ja muiden (2018) tutkimuksessa selvitettiin sumutuskuivauksen vaikutusta kaseiinihydrolysaatteihin, jotka oli valmistettu käyttäen pankreatiini- ja alkalaasi-entsyymiä 60, 120 ja 180 minuutin inkubaatioajoilla. Kapselointimateriaalina käytettiin maltodekstriiniä. Tutkimuksessa arvioitiin kapseloitujen kaseiinihydrolysaattien fyysisiä ominaisuuksia, stabiilisuutta ja kapseleiden rakennetta. Lisäksi kapseleita lisättiin pastilleihin ja tutkittiin niiden antioksidanttisten ominaisuuksien säilyvyyttä. Pastillien karvasta makua arvioitiin aistinvaraisen raadin avulla. (Sarabandi ja muut 2018.)

Tutkimuksen tulokset taulukossa 2 näyttävät, että sumutuskuivaus vähensi kaseiinihydrolysaatin hygroskooppisuutta, mikä paransi sen stabiilisuutta ja säilyvyyttä. Antioksidanttiset ominaisuudet pysyivät myös koko prosessin aikana. Lisäksi sumutuskuivaaminen maltodekstriinillä auttoi vähentämään kaseiinihydrolysaattien karvasta makua ja paransi niiden hyväksyttävyyttä pastilleissa. Tutkimuksen johtopäätöksenä sumutuskuivaus osoittautui käyttökelpoiseksi menetelmäksi kaseiinihydrolysaattien soveltamiseen elintarvikkeissa. (Sarabandi ja muut 2018.)

5 Sumutuskuivauksen vertailu kapselointimenetelmään

Kuten kappaleessa 4.1 käsitellyissä tapaustutkimuksissa havaittiin, sumutuskuivauksella voi olla merkittäviä eroja kapseloinnin tehokkuudessa ja karvaan maun peittämisessä. Tässä kappaleessa vertaillaan sumutuskuivausta toiseen kapselointimenetelmään, joka on pakastuskuivausmenetelmä. Vertailu on tärkeää, jotta voidaan ymmärtää paremmin eri kapselointimenetelmien tehokkuutta ja soveltuvuutta elintarvikkeiden valmistamiseen. Sumutuskuivausta verrataan useammassa tutkimuksessa pakastuskuivausmenetelmään, koska molemmat ovat yleisiä menetelmiä elintarvikkeiden kapseloinnissa (Buljeta ja muut 2022).

Pakastekuivaus suoritetaan alhaisemmassa lämpötilassa kuin sumutuskuivaus. Sen prosessi koostuu jäädyttämisestä, jään sublimoitumisesta ja ylimääräisen kosteuden poistamisesta. Menetelmä on aikaa vievä ja kallis, mutta se sopii lämpöherkkien ja helposti hapettuvien yhdisteiden kapseloimiseen. (Buljeta ja muut 2022.)

Wangin ja muiden (2020) tutkimuksessa vertailtiin sumutuskuivausta ja pakastuskuivausta soijaproteiinihydroksylaatin kapseloimiseksi käyttäen kapselointimateriaalina soijaproteiinin ja maltodekstriinin seosta. Vertailussa tarkasteltiin muun muassa menetelmien vaikutuksia karvaaseen makuun, hygroskooppisuuteen ja antioksidanttisiin ominaisuuksiin. Tulosten perusteella sumutuskuivaus osoittautui paremmaksi menetelmäksi kuin pakastuskuivaus, koska se vähensi enemmän soijaproteiinihydroksylaatin hygroskooppisuutta ja epämiellyttävää makua. (Wang ja muut 2020.)

Buljeta ja muut (2022) tuovat esiin erilaisia tutkimuksia, joissa on vertailtu näitä kahta menetelmää polyfenolien kapseloimiseksi. He korostavat pakastekuivauksen olevan luotettavampi menetelmä herkille polyfenoleille, vaikka teollinen tuotanto on kallista ja aikaa vievää. Kuitenkin he toteavat, että kapseloitavalla yhdisteellä ja käytettävällä kapselointimateriaalilla on paljon merkitystä onnistuneeseen kapselointiin. Tämän vuoksi sumutuskuivauksen tehokkaan soveltuvuuden arvioimiseksi tarvitaan edelleen paljon tutkimusta. (Buljeta ja muut 2022.)

6 Yhteenveto

Tutkielman tarkoituksena oli arvioida sumutuskuivauksen merkitystä karvaan maun muokkaajana elintarviketeollisuudessa. Karvaan makuiset yhdisteet ovat yleisiä erilaisissa elintarvikkeissa, ja karvauden vähentäminen voi parantaa tuotteiden hyväksyttävyyttä. Tutkielmassa tarkasteltiin sumutuskuivauksen prosessia ja sen käyttöä erilaisten yhdisteiden, kuten polyfenolien ja proteiinihydroksylaattien, kapseloinnissa sekä sen vaikutuksia lopputuotteen makuun ja laatuun.

Tutkimukset osoittavat, että elintarvikkeiden bioaktiivisia yhdisteitä voidaan tehokkaasti kapseloida sumutuskuivausmenetelmällä. Kapseleita voidaan hyödyntää pääosin eri elintarvikkeissa muuttamatta elintarvikkeiden makua ja samalla parantamalla elintarvikkeiden terveyttä edistäviä ominaisuuksia. Poikkeavia tutkimuksia on, mutta ne voivat johtua kapselointiolosuhteiden optimoinnin puutteista, eikä sumutuskuivauksen tehottomuudesta. Tutkimusten perusteella sopivan kapselointimateriaalin valinta riippuu kapseloitavasta yhdisteestä. Yleisesti maltodekstriini vaikuttaa monikäyttöiseltä kapselointimateriaalilta, joka sopii erilaisiin yhdisteisiin ja sovelluksiin.

Tämän tutkielman perusteella voidaan todeta, että sumutuskuivaus on hyvä valinta funktionaalisten elintarvikkeiden valmistuksessa, ilman aineen lisäyksestä johtuvaa epämiellyttävää makua. Sumutuskuivaus on yleinen kapselointimenetelmä sen prosessin nopeuden vuoksi. Menetelmässä on otettava huomioon kapseloitavan yhdisteen ominaisuudet, kapselointimateriaali sekä prosessiolosuhteet, jotka voivat vaikuttaa lopputuotteen laatuun. Lisätutkimusta tarvitaan ymmärtämään täysin sumutuskuivauksella valmistettujen kapseleiden käyttäytymistä eri elintarvikkeissa, ja sen mahdollisia pitkäaikaisia vaikutuksia tuotteen laatuun.

Lähteet

Arenas-Jal, M., Suñé-Negre, J. M. & García-Montoya, E. (2020) An overview of microencapsulation in the food industry: Opportunities, challenges, and innovations. *Eur Food Res Technol* **246**:1371–1382.

Belščak-Cvitanović, A., Lević, S., Kalušević, A., Špoljarić, I., Đorđević, V., Komes, D. & Nedović, V. (2015) Efficiency Assessment of Natural Biopolymers as Encapsulants of Green Tea (*Camellia sinensis* L.) Bioactive Compounds by Spray Drying. *Food Bioprocess Technol* **8**:2444–2460.

Buljeta, I., Pichler, A., Šimunović, J. & Kopjar, M. (2022) Polysaccharides as Carriers of Polyphenols: Comparison of Freeze-Drying and Spray-Drying as Encapsulation Techniques. *Molecules* **27**:5069.

Furuta, T. & Neoh, T. L. (2021) Microencapsulation of food bioactive components by spray drying: A review. *Dry Technol* **39**:1800–1831.

Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A. & Saurel, R. (2007) Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Res Int* **40**:1107–1121.

Grassia, M., Messia, M. C., Marconi, E., Demirkol, Ö. Şakiyan, Erdoğan, F., Sarghini, F. & Planeta, D. (2021) Microencapsulation of Phenolic Extracts from Cocoa Shells to Enrich Chocolate Bars. *Plant Foods Hum Nutr* **76**:449–457.

Jensen, S., Oestdal, H., Skibsted, L. H., Larsen, E. & Thybo, A. K. (2011) Chemical changes in wheat pan bread during storage and how it affects the sensory perception of aroma, flavour, and taste. *J Cereal Sci* **53**:259–268.

Maehashi, K. & Huang, L. (2009) Bitter peptides and bitter taste receptors. *Cell Mol Life Sci* **66**:1661–1671.

Mirzapour-Kouhdasht, A., McClements, D. J., Taghizadeh, M. S., Niazi, A. & Garcia-Vaquero, M. (2023) Strategies for oral delivery of bioactive peptides with focus on debittering and masking. *Npj Sci Food* **7**:22.

Saifullah, Md., Shishir, M. R. I., Ferdowsi, R., Tanver Rahman, M. R. & Van Vuong, Q. (2019) Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: A critical review. *Trends Food Sci Technol* **86**:230–251.

Sarabandi, K., Sadeghi Mahoonak, A., Hamishekar, H., Ghorbani, M. & Jafari, S. M. (2018) Microencapsulation of casein hydrolysates: Physicochemical, antioxidant and microstructure properties. *J Food Eng* **237**:86–95.

Wang, H., Tong, X., Yuan, Y., Peng, X., Zhang, Q., Zhang, S. & Li, Y. (2020) Effect of Spray-Drying and Freeze-Drying on the Properties of Soybean Hydrolysates. *J Chem* **2020**:1–8.

Wooding, S. P., Ramirez, V. A. & Behrens, M. (2021) Bitter taste receptors. *Evol Med Public Health* **9**:431–447.

Yan, J. & Tong, H. (2023) An overview of bitter compounds in foodstuffs: Classifications, evaluation methods for sensory contribution, separation and identification techniques, and mechanism of bitter taste transduction. *Compr Rev Food Sci Food Saf* **22**:187–232.