



**TURUN  
YLIOPISTO**

## **Limaskat elintarvikekäytössä**

LuK-tutkielma  
Turun yliopisto  
Bioteknologian laitos  
Biokemia  
Matilda Nikula  
Maaliskuu 2024  
Turku

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

TURUN YLIOPISTO  
Bioteknologian laitos  
Matilda Nikula: Limaskat elintarvikekäytössä  
LuK-tutkielma, 23 s.  
Biokemia  
03/2024

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

---

Limaskat ovat seisovassa vedessä viihtyviä pieniä vesikasveja. Ne kelluvat veden pinnalla ja niillä ei ole juuria. Limaskoita on hyödynnetty muun muassa eläinten rehuna, lääkekasvina ja ympäristön puhdistuksessa. Limaskat ovat keränneet viime vuosina huomiota myös mahdollisena proteiininlähteenä ihmisravinnossa.

Limaskan viljely on kestävä, koska sen kasvattaminen ei vie maapinta-alaa muiden viljelykasvien käytöstä ja se hyödyntää hyvin ravinteita. Nopea biomassan kasvu ja mahdollisuus vertikaaliviljelyyn tekee kasvatuksesta tehokasta. Jätevesien käyttämistä limaskojen viljelyssä tutkitaan vielä, mutta esimerkiksi kalojen rehun kohdalla sen on havaittu olevan turvallista.

Limaskojen ravintoainepitoisuudet vaihtelevat niin lajien kuin kasvuolosuhteiden mukaan. Erityistä limaskan ravitsemuksellisissa ominaisuuksissa on korkea proteiinipitoisuus ja aminohappojen hyvä hyötysuhde. Limaskat sisältävät myös monista muista kasveista poiketen runsaasti B12-vitamiinia. Limaskojen runsaat antioksidantti- ja fytokeemikaalipitoisuudet ovat myös huomion arvoisia. Ravitsemukselle haitallisia yhdisteitä limaskoissa on vain pieninä määrinä.

Limaskalla on hyvät mahdollisuudet tulevaisuuden eläinproteiinin korvaajana, sillä siitä eristetyllä proteiinilla on hyvät fysikaaliset ominaisuudet. Korvikkeiden aistittavat ominaisuudet vaativat vielä kehittämistä aistinvaraisten arviointien perusteella. Kuluttajien ennakoasenteet ovat myönteisiä, mutta EU:n elintarvikeeturvallisuusviranomaisen ei ole voinut vahvistaa tuoreen limaskan elintarvikeeturvallisuutta.

**Avainsanat:** Limaskat, Ravitsemus, Elintarvike, EU-lainsäädäntö, Elintarvikeeturvallisuus, Ruoka

# Sisällys

Johdanto	2
1 Yleisesti limaskoista	3
1.1 Taksonomia	3
1.2 Käyttökohteet	3
1.3 Viljely	4
2 Limaskat ja ravitsemus	6
2.1 Proteiini	6
2.2 Aminohapot	6
2.3 Hiilihydraatit	7
2.4 Rasvat	8
2.5 Kivennäisaineet	9
2.6 Terveyttä edistävät yhdisteet	9
2.6.1 Flavonoidit	9
2.6.2 Kasvisterolit	10
2.6.3 Vitamiinit	10
2.6.4 Pigmentit	11
2.7 Ravitsemusta haittaavat yhdisteet	12
3 Limaska elintarvikkeena	13
3.1 Kuluttajien asenteet	13
3.2 Aistittavat ominaisuudet	13
3.3 Terveysvaikutukset	14
3.4 Limaskan fysikaaliset ominaisuudet	15
3.5 Eläintuotteiden korvaajana	15
3.6 Säilöntäaineena	16
4 Elintarviketurvallisuus	17
4.1 Kontaminantit	17
4.2 EU-lainsäädäntö	17
5 Päätelmät	19
Viitteet	20

## Johdanto

Ruuantuotanto on suurin ympäristömuutosta aiheuttava ala. Luonnollisten elinympäristöjen muuttaminen viljelymaiksi on suurin lajien sukupuuttoon johtavista toimista. Kasvisproteiininlähteiden määrää ihmisravinnossa tulisi lisätä niin ympäristöllisten kuin terveydellisten etujen takia. Kasvisruokavaliolla on todistettu olevan elinikää pidentäviä vaikutuksia. Kasvisruokavalio laskee kakkostyyppin diabeteksen sekä sydän- ja verisuonisairauksien riskiä. Kasvispohjainen ruokavalio laskee myös ihmisen hiilijalanjälkeä ja veden kulutusta huomattavasti. (Willett ja muut 2019.)

Tässä tutkielmassa käsittelen limaskoita vaihtoehtona eläinperäiselle ravinnolle ja vertailen limaskan ominaisuuksia muihin yleisesti käytettyihin proteiinin lähteisiin ja vihanneksiin. Limaskat ovat kiinnostava elintarvikkeena, koska sillä on ihmiselle suotuista ravintoainekoostumus ja se sisältää terveydelle edullisia yhdisteitä. Limaskan viljelyn etuina ovat muun muassa vähäinen tilantarve ja suuri kasvunopeus. Limaskalla on myös pitkä käyttö- ja tutkimushistoria muun muassa biopuhdistuksessa, kansanlääketieteessä ja eläinten ruokana. (Baek ja muut 2021.)

Limaskat ovat pieniä, litteän ovaalin muotoisia kasveja. Ne kelluvat veden pinnalla ja niillä ei ole juuria eikä varsinaisia lehtiä. Limaskat viihtyvät seisovissa tai hitaasti virtaavissa vesistöissä lähes kaikkialla maapallolla, eteläisimpiä ja pohjoisimpia kolkkia lukuun ottamatta. (Hu ja muut 2022.) Limaskat lisääntyvät lähinnä suvuttomasti, mutta pystyvät myös kukkimaan (López-Pozo ja muut 2023). Limaskat pystyvät kaksinkertaistamaan biomassansa kloonautumalla 2—3 päivässä (Xu ja muut 2023). Kasvunopeudeltaan ne lyövät täten kaikki muut koppisiemeniset kasvit (Appenroth ja muut 2017).

Länsimaissa limaskoiden käyttökelpoisuus ihmisravintona on tiedostettu laajemmin vasta hiljattain, mutta Kaakkois-Aasiassa limaskan elintarvikekäytöllä on pitkät perinteet. Laosissa, Thaimaassa ja Myanmarissa erityisesti köyhät ovat käyttäneet limaskaa ravintona monien sukupolvien ajan. (Appenroth ja muut 2017.) Edellä mainituissa maissa limaskaa kutsutaan nimillä *khai nam*, *kai-pum* tai *kai nhae*, joiden kirjaimellinen suomenkielinen käännös on ”veden muna” (Appenroth ja muut 2018).

# 1 Yleisesti limaskoista

## 1.1 Taksonomia

Limaskat kuuluvat *Lemnaceae*-heimoon, joka jakautuu viiteen sukuun: *Spirodela*, *Landoltia*, *Lemna*, *Wolffiella* ja *Wolffia* (Xu ja muut 2023). Suvut voidaan jakaa kahdeksi alaheimoksi: *Lemnoideae* ja *Wolffioideae*. *Lemnoideae*-alaheimoon kuuluu *Spirodela*-, *Landoltia*- ja *Lemna*-suvut, *Wolffioideae*-heimoon kuuluu *Wolffiella*- ja *Wolffia*-suvut. (Les ja muut 2002.) Yhteensä limaskalajeja on löydetty 36 (Xu ja muut 2023). Appenroth tutkimusryhmineen (2017) päätyivät tutkimuksessaan siihen lopputulemaan, että *Wolffia microscopica* -laji soveltuisi ravitsemukseltaan parhaiten ihmisravinnoksi. Tästä huolimatta ihmisravintona yleisimmin käytetyt lajit ovat *Wolffia arrhiza* ja *Wolffia globosa* (de Beukelaar ja muut 2019).

## 1.2 Käyttökohteet

Toistaiseksi limaskojen käyttö ihmisravintona on vähäistä, mutta eläinrehuna se on jo vakiinnuttanut paikkansa osissa maailmaa. Englanninkielisen *duckweed*-nimityksen mukaisesti sitä käytetään ankkojen ravintona. Ankkujen lisäksi limaskalla ruokitaan muun muassa hanhia, sikoja, lampaita, nautoja, siipikarjaa ja kaloja. (Xu ja muut 2023.)

Limaskoista on löydetty lääketieteellisesti kiinnostavia yhdisteitä. Esimerkiksi *Spirodela polyrrhiza* -lajissa esiintyvillä flavonoideilla on lihavuutta ehkäiseviä vaikutuksia. Tutkimuksissa on löydetty jopa syövän hoitoon soveltuvia yhdisteitä limaskoista. Eräitä limaskalajeja hyödynnetään lääkeyrteinä kansanlääketieteessä Kiinassa, Koreassa ja joissakin Euroopan maissa. (Baek ja muut 2021.)

Limaskoilla on erinomainen kyky ottaa sisäänsä ympäröivän nesteen sisältämiä aineita. Edellä mainitun ominaisuuden ja hyvän ääriolosuhteiden sietokyvyn myötä limaskoita hyödynnetään fytoimediaatiossa eli biopuhdistuksessa. Limaskat pystyvät puhdistamaan epäorgaanista ja orgaanista ainetta sekä lääkejätettä. Limaskoilla puhdistetaan vettä muun muassa typestä ja fosforista, jotka saadaan uudelleen käyttöön levittämällä limaska pellolle lannoitteeksi. Limaskoilla puhdistetaan myös raskasmetalleilla saastunutta vettä. (Baek ja muut 2021.)

Limaskasta voidaan valmistaa myös uusiutuvaa energiaa ja biomuovia. Limaska soveltuu hyvin bioetanolin tuotantoon, koska se sisältää paljon tärkkelystä ja vähän ligniiniä. Limaskaa ei myöskään tarvitse jauhaa mekaanisesti, mikä on tuotannon kannalta

taloudellisempaa. Bioetanolin lisäksi limaskaa on sovellettu muun muassa biobutanolin ja biokaasun tuotantoon. Limaskaa ja polyetyyleeniä yhdistämällä on saatu valmistettua laadukasta biomuovia. (Baek ja muut 2021.)

### 1.3 Viljely

Sisätiloissa toteutettava vertikaaliviljely (engl. Indoor vertical farming, IVF) on yksi mahdollinen limaskan viljelymetodi. Tätä viljelytapaa on käytetty jo menestyksekkäästi esimerkiksi tomaatin, salaatin ja mansikoiden kasvatuksessa. Tämän viljelytavan etuna on muun muassa kasvatusolosuhteiden keinotekoinen säätäminen, mahdollisuus ympärivuotiseen kasvatukseen ja veden, maa-alueiden sekä ravinteiden tehokas hyödyntäminen. Israelilainen Green-Onyx-yritys on patentoinut vertikaalisen viljelymoduulin *Wolffia*-suvun limaskan tuotantoon. (Petersen ja muut 2022a.)

Yksi limaskan hyödyistä viljelykasvina on vähäinen hävikki, koska limaska on kokonaisuudessaan syötävä. Limaskat ovat loistavia hiilensitojia. Samalla, kun ne sitovat hiiltä ne tuottavat ihmisravinnoksi kelpaavaa biomassaa. Limaskan viljely ei vapauta hiilidioksidia ilmakehään toisin kuin maalla kasvatettavat kasvit. Näiden ominaisuuksien takia limaskan koetaan olevan hyvä vaihtoehto hiilen sidontaan ilmakehästä. (López-Pozo ja muut 2023.)

Limaskoilla on erinomainen kyky puhdistaa jätevesiä. Kiertotaloutta ajatellen jätevesien ravinteiden kierrättäminen on välttämätöntä. EU-lainsäädännön mukaan yhdyskuntajätevesiä ja sairaaloiden jätevesiä ei saa käyttää ihmisravinnoksi kasvatettavien kasvien lannoitteena. Toistaiseksi maatalousjätteen (engl. agro-industrial waste-water) käyttöön esimerkiksi limaskoiden ja mikrolevien kasvatuksessa ei ole säädetty rajoituksia tai standardeja. (Markou ja muut 2018.)

Sairaalajätevedessä kasvatetusta limaskasta valmistetun kalanrehun ei ole havaittu aiheuttavan sairauden merkkejä kaloissa. Myöskään työntekijät, jotka käsittelivät jätevedessä kasvatettua limaskaa, eivät saaneet infektioita. Tutkimuksessa ei kuitenkaan käsitelty mahdollisia prioni-, virus ja alkueliökontaminaatioita. (Islam ja muut 2004.)

Elintarviketuotannon jätevedet ovat luonnollisesti turvallisempia limaskan kasvatukseen kuin yhdyskunta- ja tuotantoeläinjätteet, mutta niissäkin piilee mahdollisia haittoja. Raskasmetalleja voi esiintyä kasviperäisissäkin jätevesissä muun muassa lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden takia. Raskasmetallit voivat akkumuloitua limaskaan, mikä

muodostaa riskin elintarviketurvallisuudelle. Jätevesien sisältämien epäpuhtauksien määrään ja haitallisuuteen voidaan vaikuttaa jonkin verran erilaisilla käsittelyillä, mutta tämänhetkisen tiedon perusteella jätevedessä kasvatetun limaskan turvallisuutta ei voida taata. (Markou ja muut 2018.)



## 2 Limaskat ja ravitsemus

### 2.1 Proteiini

Noin 10 % ihmisen energian saannista tulisi olla proteiinia. Määrän tulisi olla vielä suurempi kasvavassa iässä olevien lasten ja nuorten kohdalla sekä vanhuksilla, joiden lihasmassan vähenemistä tulisi hidastaa. Proteiinin korkeampi suhde hiilihydraatteihin ruokavaliossa laskee verenpainetta ja veren lipidipitoisuutta. (Willett ja muut 2019.)

Appenroth tutkimusryhmineen (2017) selvittivät tutkimuksessaan limaskoiden proteiinipitoisuudeksi 20–35 % (kuivapaino) lajin mukaan. Korkein proteiinipitoisuus oli *Wolffiella hyalina* -lajilla, mikä on noin 15 % suurempi kuin kikherneen (Wallace ja muut 2016). On huomioitava, että tutkitut limaskat olivat kasvaneet samanlaisissa kasvuolosuhteissa, jotka eivät olleet jokaiselle lajille ihanteelliset. Tutkimus oli myös jokseenkin suppea, koska siihen valittiin ainoastaan yksi edustaja suvuista *Spirodela*, *Landoltia*, *Lemna* ja *Wolffiella* sekä kaksi edustajaa suvusta *Wolffia*.

Hu tutkimusryhmineen (2022) tutkivat miten korkeaksi *Wolffia arrhiza* -lajin proteiinisäannon voi kasvattaa kasvuolosuhteita säätämällä. Olosuhteita optimoimalla päästiin yli 50 prosentin proteiinipitoisuuteen. Tämä pitoisuus on yli 20 % suurempi kuin Appenrothin ja tutkimusryhmän (2017) saman suvun *Wolffia microscopica* -lajille määrittämä proteiinipitoisuus. Limaska päihittää tutkimuksen mukaan soijan 40 prosentin ja vehnän 14 prosentin proteiinipitoisuudet (Hu ja muut 2022).

Loppujen lopuksi limaskojen proteiinipitoisuudelle ei voida määrittää mitään ehdotonta arvoa, koska se on hyvin riippuvainen lajista ja kasvuolosuhteista. Esimerkiksi suolaisessa eli stressiä aiheuttavassa ympäristössä proteiinin määrä laskee ja tärkkelyksen kasvaa. Muita proteiinipitoisuuteen vaikuttavia ympäristötekijöitä ovat esimerkiksi nitraatti- ja fosfaattipitoisuus sekä valon intensiteetti. (Appenroth ja muut 2017.)

### 2.2 Aminohapot

Proteiinipitoisuudesta poiketen limaskojen aminohappojen prosenttiosuuksien ja kasvuolosuhteiden välillä ei ole huomattu yhteyttä. Limaskat sisältävät kaikkia ihmiselle välttämättömiä aminohappoja yli WHO:n suosittelujen pitoisuuksien (Appenroth ja muut 2017.)

Sen lisäksi, että limaskat sisältävät riittävän määrän välttämättömiä aminohappoja, niiden imeytyminen on poikkeuksellisen tehokasta. Isoleusiinia, kysteiiniä ja metioniiniä lukuunottamatta *Wolffia arrhiza* -lajin välttämättömät aminohapot imeytyivät yli 90 prosenttisesti. Isoleusiini imeytyi noin 89,8 prosenttisesti, metioniini ja kysteiini noin 88 prosenttisesti. Näillä imeytyvyyden arvoilla *Wolffia arrhiza* -lajin DIAAS-arvoksi (engl. digestible indispensable amino acids score) saadaan 0,75. DIAAS-luku kertoo välttämättömien aminohappojen imeytymistehokkuudesta. FAO (Food and Agriculture Organization) määrittelee limaskalajin proteiinin tällä tuloksella hyvälaatuiseksi. *Wolffia arrhiza* -lajin DIAAS-arvo on korkeampi kuin herneen (0,64) ja vehnän (0,40). (Hu ja muut 2022.)

Kaplan tutkimusryhmineen (2019) tutkivat *Wolffia globosa* -lajin aminohappojen biologista hyötyosuutta. Biologinen hyötyosuus tarkoittaa aineen kykyä siirtyä verenkiertoon ruuansulatuskanavasta. Kasviperäisten proteiinien aminohapoilla on alentunut biologinen hyötyosuus verrattuna eläinperäisiin proteiininlähteisiin. Tämä johtuu muun muassa kasviproteiinien sisältämistä trypsiini-inhibiittoreista ja hemagglutiniinista. Tutkimuksessa selvisi, että limaska nostatti seitsemän välttämättömän aminohapon pitoisuuksia verenkierrossa kolmen tunnin aikana syömisestä. Sen sijaan juuston tai herneiden nauttiminen nostatti vain kuuden välttämättömän aminohapon pitoisuuksia veressä vastaavassa ajassa. Limaskan nauttiminen ei nostattanut lysiinin ja metioniinin pitoisuuksia veressä, mikä on tyypillistä kasviproteiineille. Limaska kohottaa erityisen voimakkaasti tryptofaanin pitoisuutta verenkierrossa. Tryptofaanilla on merkittävä tehtävä serotoniinin tuotannossa. (Kaplan ja muut 2019.)

### 2.3 Hiilihydraatit

Limaskalajien hiilihydraattipitoisuuksien erot voivat olla merkittäviä, kuten edellä käsitellyllä proteiinilla. Edes saman suvun lajien ei voida olettaa sisältävän yhteneviä määriä hiilihydraatteja. *Lemna*-suvun lajeissa hiilihydraattipitoisuus voi vaihdella 23–59 prosentin välillä. Suurin limaskoilla havaittu hiilihydraattipitoisuus on *Lemna minor* -lajin 59 prosentin pitoisuus. Hiilihydraatteja voi myös olla vain 8 % kuivapainosta, kuten *Spirodela*-suvulla.

Tärkkelys on merkittävin ei-rakenteellinen hiilihydraatti limaskoissa. Seuraavaksi eniten limaskat sisältävät useimmiten fruktoosia. Glukoosia, sakkaroosia ja raffinoosia esiintyy

pienempinä pitoisuuksina. Hiilihydraattien suhteet vaihtelevat lajien välillä, esimerkiksi *Wolffioideae*-alaheimon lajien tärkkelyspitoisuus on noin kaksinkertainen verrattuna *Lemnoideae*-alaheimon lajeihin. (Pagliuso ja muut 2022.) Limaskojen tärkkelyspitoisuus on hyvin riippuvainen kasvuolosuhteista, kuten luvussa 3.1 mainittiin. Ihmisen ravitsemusta ajatellen alhainen tärkkelyspitoisuus proteiinipitoisuuteen verrattuna olisi suotavaa. Tämä pystytään saavuttamaan kasvattamalla limaskaa sille optimaalisissa olosuhteissa. (Appenroth ja muut 2017.)

Limaskat sisältävät runsaasti ravintokuitua, joka koostuu soluseinän sisältämistä liukenemattomista hiilihydraateista. Noin puolet limaskojen hiilihydraateista on eirakenteellisia eli liukenevia. Toinen puoli hiilihydraateista on rakenteellisia eli liukenemattomia. (On-Nom ja muut 2023; Pagliuso ja muut 2022.) Esimerkiksi *Wolffia*-suvun lajien ravintokuitupitoisuus on 10,7–14,72 % (kuivapaino). Ravintokuidun lisääminen ruokavalioon ehkäisee muun muassa ummetusta ja paksusuolensyöpää. (On-Nom ja muut 2023.) Keittämättömän kikherneen kuitupitoisuus on noin 12 % (Wallace ja muut 2016).

## 2.4 Rasvat

Appenroth tutkimusryhmineen (2017) määrittivät tutkimuksessaan viiden limaskalajin rasvapitoisuuksiksi 4–6 % (kuivapaino). Rasvaprosentti vertautuu hyvin palkokasvijauhoihin, soijaa lukuun ottamatta. Esimerkiksi keittämättömän kikherneessä rasvoja on noin 6 g/100 g (Wallace ja muut 2016).

Limaskojen monitydyttymättömien rasvahappojen osuus oli 48–71 % tutkittujen lajien kaikista rasvahapoista. Kertatydyttymättömiä rasvahappoja oli enintään 5,65 %, joista suuri osa oli oleiinihappoa. Tyydyttyneiden rasvahappojen määrä oli 25–46 % kokonaisrasvahappopitoisuudesta. Limaskan tyydyttyneet rasvahapot ovat suurelta osin palmitiinihappoa. (Appenroth ja muut 2017.) Tämä rasvahappojakauma ei ole terveydelle ihanteellisin, koska ravinnon korkea tyydyttyneiden rasvahappojen pitoisuus on yhteyksissä muun muassa kohonneeseen sepelvaltimotaudin riskiin (Willett ja muut 2019).

Omega 3-rasvahappojen pitoisuudet olivat kaikilla tutkituilla lajeilla korkeammat kuin omega-6-rasvahappojen, mikä on terveydelle edullista. Omega-6- ja omega-3-rasvahappojen suhteen numeerinen arvo on limaskoilla 0,23–0,29. Kikhernejauhon vastaava arvo on 21,8, joka on yli 15 yksikköä yli FAO:n suositusten. Omega-6-

rasvahappojen ylimäärä ruokavaliossa omega-3-rasvahappohin verrattuna altistaa muun muassa syöväälle, sydän- ja verisuonitaudeille, osteoporoosille sekä autoimmuunisairauksille. Omega-3-rasvahapon suhteellista määrää lisää voimakkaasti limaskojen suuri  $\alpha$ -linoleenihapon määrä verrattuna  $\gamma$ -linoleenihapon määrään. (Appenroth ja muut 2017.)

## 2.5 Kivennäisaineet

Limaskoilla on erinomainen kyky imeä sisälleen ympäröivän nesteen sisältämiä yhdisteitä. Tästä syystä limaskan mineraalipitoisuutta voidaan säätää muuttamalla kasvatusliuoksen kemiallista koostumusta. (Appenroth ja muut 2017.) Eri lajeilla on kuitenkin erilainen kyky ottaa sisäänsä ympäröivän nesteen yhdisteitä. *Wolffia*-suvussa tuhkapitoisuuden vaihteluväli on 105–229 g/kg (kuivapaino). (Appenroth ja muut 2018.) Tuhkapitoisuus kertoo epäorgaanisen materiaalin, lähinnä kivennäisaineiden, määrän näytteessä (Pagliuso ja muut 2022).

## 2.6 Terveyttä edistävät yhdisteet

Fytokemikaalit ovat kasvien sekundäärimetaboliitteja. Niiden tehtävät kasvissa ja vaikutukset ihmisen terveyteen ovat kirjavat. (Tiwari ja muut 2013.) Limaskasta löydettyjä fytokemikaaleja ovat muun muassa flavonoidit, sterolit, fenoliset yhdisteet, karotenoidit ja glukosinolaatit (Zhang ja muut 2023).

### 2.6.1 Flavonoidit

Flavonoidit voidaan jakaa antoksaantiineihin, flavanoneihin, flavanonoleihin, flavaneihin, kalkoneihin, antosyanideihin ja isoflavonoideihin. Flavonoidit koostuvat bentseenirenkaasta, jossa on kiinni joko fenolisia tai polyfenolisia ryhmiä. Flavonoidit ovat antioksidanteja ja niillä on havaittu olevan lukuisia terveydelle edullisia vaikutuksia. Flavonoidit ehkäisevät muun muassa infektioita, syöpää ja diabetesta. (Ullah ja muut 2020.)

Erityistä limaskoissa on C-glykosyloituneiden flavonoidien runsas määrä verrattuna O-glykosyloituneisiin flavonoideihin. C-glykosyloituneet flavonoidit läpäisevät ohutsuolen helpommin ja ovat täten paremmin elimistön hyödynnettävissä. (Pagliuso ja muut 2020.)

Pagliuso tutkimusryhmineen (2020) löysivät *Spirodela polyrhiza* -lajista klorogeenisiä happoja tutkiessaan viiden limaskalajien fenolisia yhdisteitä. Klorogeeniset hapot ovat

kanelihaposta ja kiinihaposta skimaatti- ja fenyylipropanoidireaktiotien kautta syntyneitä estereitä. Niillä on antioksidanttisia ominaisuuksia kuten muillakin fenolisilla yhdisteillä.

### 2.6.2 Kasvisterolit

*Wolffia microscopica* -laji sisältää noin 50 mg kasvisteroleita grammassa rasvaa. Tämä on viisinkertainen määrä kasvisteroleita verrattuna suurimpaan osaan kasviöljyjä. Kasvisterolit kykenevät laskemaan plasman kolesterolitasoja ja LDL-kolesterolin määrää verenkierrassa. Ne ovat myös tärkeitä solukalvon rakenneosasia. *Wolffia microscopica* -lajin kasvisteroleista yli 50 % on sitosterolia, noin 20 % kampesterolia ja noin 15 % stigmasterolia. (Appenroth ja muut 2017.)

### 2.6.3 Vitamiinit

Kasvit eivät juuri ikinä sisällä B12-vitamiinia. Limaskat tekevät tässä poikkeuksen, sillä ne sisältävät merkittäviä määriä B12-vitamiinia. Esimerkiksi laboratorio-olosuhteissa kasvatettu *Wolffia globosa* -lajin linja sisälsi enemmän B12-vitamiinia kuin juusto. Kasvit eivät tarvitse B12-vitamiinia kofaktorina metaboliassaan, eivätkä siksi tuota sitä itse. Tästä syystä on epäselvää miksi limaskojen lisäksi esimerkiksi levät sisältävät runsaasti B12-vitamiinia. Limaskojen sisältämän B12-vitamiinin alkuperänä pidetään bakteereita, joiden epäillään olevan symbioosissa limaskan kanssa. B12-vitamiinin saanto on usein puutteellinen vegaaneilla, joten limaska voisi toimia hyvänä lisänä kasvisruokavalioon. (Kaplan ja muut 2019.) B12-vitamiinilla on korvaamaton tehtävä solun jakautumisessa ja rasvahappometaboliassa. Se on merkittävässä osassa kofaktorina metylaatiassa ja molekyylien uudelleen järjestämisessä. Nämä reaktiot ovat välttämättömiä rasvahappojen, aminohappojen ja nukleiinihappojen metaboliareiteissä. (Rizzo ja muut 2016.)

Limaskat sisältävät B12-vitamiinin lisäksi muitakin vitamiineja tai niiden prekursoreita. Ihmisessä toiminnallinen E-vitamiinin muoto on  $\alpha$ -tokoferoli. Sen pääasiallinen tehtävä on antioksidanttina toimiminen. E-vitamiini osallistuu myös lipidi- ja lipoproteiinimetaboliaan, solusignointiin sekä geenien ilmentämiseen. (Nordic Nutrition Recommendations 2012.) *Lemna minor* -lajissa  $\alpha$ -tokoferolia on noin 26,6 mg/100 g (kuivapaino) (Kalita ja muut 2007). *Wolffia microscopica* -lajissa vastaava pitoisuus on 9 mg/100 g (Appenroth ja muut 2017). Keittämättömässä kikherneessä E-vitamiinia on vain 0,82 mg/100 g (Wallace ja muut 2016).

Askorbiinihappo eli C-vitamiini on antioksidantti. Se on myös kofaktorina muun muassa kollageenin, karnitiinin ja hermovälittäjäaineiden valmistuksessa. (Nordic Nutrition Recommendations 2012.) *Lemna minor* -lajin C-vitamiinipitoisuus on 3,8 mg/100 g (Kalita ja muut 2007). Keittämätön kikherne sisältää C-vitamiinia 2,0 mg/100 g (Wallace ja muut 2016).

#### 2.6.4 Pigmentit

Karotenoidit ovat pigmenttejä, jotka suojelevat kasvin klorofylliä auringonvalon aiheuttamilta vaurioilta. Karotenoidit voidaan jakaa ksantofylleihin ja karoteeneihin.  $\alpha$ -,  $\beta$ - ja  $\gamma$ -karoteenilla sekä  $\beta$ -kryptoksantiinilla on A-vitamiiniaktiivisuutta ihmiskehossa. (Tiwari ja muut 2013.) Kasvit eivät siis sisällä valmista A-vitamiinia vaan karotenoideja, jotka ihmiskeho muuttaa A-vitamiiniksi. A-vitamiinilla on merkittävä tehtävä muun muassa näkökyvyn, epiteelikudosten ja vastustuskyvyn ylläpidossa. (Nordic Nutrition Recommendations 2012.) Karotenoideja on *Lemna minor* -lajissa 0,1 mg/100 g (Kalita ja muut 2007). Appenroth tutkimusryhmineen (2017) määrittivät *Wolffia microscopica* -lajin  $\beta$ -karoteenipitoisuudeksi 28 mg/100 g. Lajien välillä on siis merkittäviä eroja A-vitamiinipitoisuuksissa. Keittämättömässä kikherneessä karotenoideja on vain 0,02 mg/100 g (Wallace ja muut 2016). Kasvien pigmenttien kohdalla tulee kuitenkin ottaa huomioon, missä valo-olosuhteissa kasvi on kasvanut. Pigmenttien suhteisiin vaikuttaa niin valon määrä kuin sen aallonpituus. Esimerkiksi *Lemna gibba* -lajin klorofyllien määrä vähenee voimakkaasti voimakkaassa valossa. Tämä tekee lehdistä kellertävät, mikä suojaa klorofylliä voimakkaan valon aiheuttamilta vaurioilta. (Stewart ja muut 2021.)

Klorofyllit ovat kasvien vihreitä pigmenttejä, jotka keräävät valoenergiaa ja muuttavat sen kemialliseksi energiaksi. Klorofyllien terveysvaikutukset ovat toistaiseksi huonosti tunnettuja. Kuten monilla muillakin fytokeemikaaleilla, klorofylleilläkin on antioksidanttisia vaikutuksia. Klorofyllit ehkäisevät myös syöpää ja ylipainoa. (Martins ja muut 2023.) Monien muiden ravintoaineiden tavoin, myös klorofyllin pitoisuudet vaihtelevat lajien välillä. *Wolffia Hyalina* -lajin klorofyllipitoisuus on ihanteellisissa valo-olosuhteissa jopa yli 10 mg/g, joka on yli 20 % enemmän klorofylliä kuin *Lemna minor* -lajissa. (Petersen ja muut 2022b.) Pinaatin klorofyllipitoisuus on noin 9,5 mg/g (Martins ja muut 2023).

## 2.7 Ravitsemusta haittaavat yhdisteet

Ravitsemusta haittaavat eli antinutritioonaaliset yhdisteet estävät ravintoaineiden imeytymistä tai metaboliaa kehossa. Limaskoissa esiintyviä ravitsemusta haittaavia yhdisteitä ovat oksalaatit, fytiinihappo ja tanniinit.

Oksalaatit lisäävät kasvien metalliensietokykyä ja raskasmetallien myrkyllisyyden poistoa (engl. detoxification). (Hu ja muut 2022.) Ihmiselimistössä oksalaatit kelatoivat kalsiumin ja magnesiumin liukenemattomiksi kristalleiksi, mikä voi johtaa muun muassa munuaiskivien muodostumiseen ja munuaissairauksiin (Hu ja muut 2022; Pagliuso ja muut 2022). *Wolffia arrhiza* -lajin oksalaattipitoisuus on vain noin 0,36 mg/g (tuorepaino). Vastaava pitoisuus esimerkiksi pinaatissa on 3,2–12,6 mg/g. Tästä voidaan päätellä, että limaskan nauttimisella olisi vähemmän mineraalien saatavuutta haittaavia vaikutuksia kuin monilla muilla ravintokasveilla. (Hu ja muut 2022.)

Fytiinihapon tehtävä kasvissa on fosforin sitominen eli fosforivarastojen muodostaminen. Se sitoo fosforin lisäksi muitakin metalleja, mikä on ihmisravinnossa epätoivottua sillä se estää ihmiselle välttämättömien metallien imeytymistä. Fytiinihappo sitoo myös proteiineja, mikä heikentää niiden hyödynnettävyyttä. (Kalita ja muut 2007.) Fytiinihapon pitoisuus on *Wolffia arrhiza* -lajissa noin 0,22 mg/g, joka on vähemmän kuin useimmissa ravintona käytettävissä jyvissä. Esimerkiksi durrin fytiinihappopitoisuus on 0,5–3 mg/g. (Hu ja muut 2022.)

Tanniinit ovat polyfenolisia yhdisteitä. Suurina pitoisuuksina ne inhiboivat ruuansulatusentsyymeitä ja ruuansulatusbakteereita, mikä heikentää vitamiinien ja mineraalien imeytymistä. (Hu ja muut 2022.) Tanniinit muodostavat myös proteiinin kanssa komplekseja, mikä vaikuttaa negatiivisesti proteiinin biosaatavuuteen (Kalita ja muut 2007). *Wolffia arrhiza* -laji sisältää tanniineja noin 9,83 mg/g. Viljojen tavanomainen tanniinipitoisuus on noin 2–9,4 mg/g, jonka limaskalaji ylittää lievästi. Limaskojen tanniinipitoisuus ei ole täten suuri uhka ihmisen ravitsemukselle, kun otetaan vielä huomioon limaskojen proteiinien hyvä imeytyvyys. (Hu ja muut 2022.)

### 3 Limaska elintarvikkeena

#### 3.1 Kuluttajien asenteet

de Beukelaar tutkimusryhmineen (2019) tutkivat Alankomaalaisten kuluttajien asenteita limaskan elintarvikekäyttöä kohtaan. Tutkimukseen osallistui kuusi miestä ja neljä naista. Osallistujia haastateltiin heidän mielipiteistään ja miellelyhtymistään limaskaan liittyen.

Yksi tutkimuskysymyksistä oli limaskasta mieleen tulevat analogiat, joita olivat muun muassa 'salaatti', 'lammikko', 'vihreä', 'ruoka', 'kasvit', 'levät', 'yrtit' ja 'likainen'. Osallistujilta kysyttiin myös mielipiteitä limaskalle sopivista markkinointinimistä. Osa koki englanninkielisen termin "duckweed" olevan jokseenkin harhaanjohtava, koska tämä voi johtaa virheelliseen miellelyhtymään eläinperäisen tuotteen kanssa. Myös termi "weed" sanassa saattaa luoda yhteyden rikkaruohojen tai kannabiksen kanssa. Vaihtoehtoisiksi nimityksiksi limaskalle ehdotettiin muun muassa 'watercress', 'Lemna Minor' ja 'duck salad'. Monet osallistujista pitivät kuitenkin nykyistä 'duckweed'-termiä hyvänä, koska se luo tuotteesta 'mielenkiintoisen', 'hauskan' ja 'rehellisen' mielikuvan.

Tutkittavia pyydettiin sijoittamaan limaska sille sopivimpaan kaupan osastoon. Suurin osa osallistujista sijoitti limaskan kasvisosastolle tai yrttiosastolle. Myös kylmähyllyn vegeosasto koettiin sopivaksi paikaksi limaskalle. Kysyttäessä limaskalle sopivista käyttökohteista, esiin nousi salaattit, voileivät ja ruuan koristelu (engl. garnish). Tutkimuksessa näytettiin koehenkilöille kuvia erilaisista limaskasta valmistetuista annoksista. Koehenkilöt kokivat kerrosvoileivän, salaatin, suolaiseen piirakan ja perunamuusiaterian sopiviksi limaskalle. Kakussa, juustossa ja mehussa limaska koettiin epäsopivaksi.

Osallistujien mielestä limaskan markkinoinnissa kannattaisi keskittyä 'uuden', 'innovatiivisen', 'trendikkään' ja 'terveellisen' mielikuvan rakentamiseen esimerkiksi ruokabloggaajia ja ruokalehtiä hyödyntäen.

#### 3.2 Aistittavat ominaisuudet

Limaskojen sisältämät tanniinit tekevät limaskojen mausta karvaan ja siten epämiellyttävän. Esimerkiksi herneisiin verrattuna limaska on merkittävästi vähemmän maultaan pidetty. (Zeinstra ja muut 2019.) Pinaattiin verrattuna limaskan maun ei koeta olevan epämiellyttävä, koska ne sisältävät samoja makuyhdisteitä (Mes ja muut 2022).



On-Nom tutkimusryhmineen (2023) tutkivat miten *Wolffia globosa* -lajin lisääminen välipalatuotteeseen, vaikuttaa välipalan fysikaalisiin ja aistittaviin ominaisuuksiin. Koehenkilöt arvioivat eri limaskapitoisuuksista valmistettuja välipaloja ja kontrollivälipalan. Arvioitavat kategoriat olivat ulkonäkö, väri, haju, maku, tekstuuri ja yleinen hyväksyttävyys.

Suuri limaskan määrä välipalassa aiheutti voimakkaan vihreän värin. Suurilla limaskapitoisuuksilla tilavuuspaino ja kovuus olivat korkeat, mikä vaikutti koehenkilöiden tuotteen arviointiin negatiivisesti. Riisijauhosta, tapiokajauhosta, vedestä ja soijapapuöljystä valmistettu kontrollivälipala arvioitiin miellyttävämmäksi kuin limaskavälipala.

### 3.3 Terveysvaikutukset

Zeinstra tutkimusryhmineen (2019) havaitsivat, että limaskan nauttiminen aiheuttaa pienemmän insuliinipiikin kuin herneiden nauttiminen. Veren glukoosipitoisuuksissa ei näkynyt eroja limaskan ja herneen välillä. Myöskään ruuansulatuskanavan oireet ei poikenneet juurikaan niiden välillä. Tutkimuksessa verrattiin myös mahdollisia eroja verenpaineessa, sydämen sykkeessä ja ruumiinlämmössä. Missäkään näistä muuttujista ei huomattu eroa limaskan ja herneen välillä.

Zelicha tutkimusryhmineen (2019) havaitsivat, että limaskasta valmistetun pirtelön nauttiminen tuotti pienemmän piikin veren glukoosipitoisuudessa kuin jugurttijuoman nauttiminen. Piikin ilmentymisessä kesti myös kauemmin. Tähän syyksi epäillään limaskan korkeaa kuitupitoisuutta sekä runsasta polyfenolien määrää verrattuna jugurttiin. Runsaalla kuidun nauttimisella on todistettu olevan kakkostyyppin diabetesta ehkäisevä vaikutus.

Mes tutkimusryhmineen (2022) selvittivät *Lemna minor* -limaskan ja pinaatin syömisen aiheuttamia eroja erilaisiin terveyteen liittyviin muuttujiin. Koehenkilöt, jotka nauttivat limaskaa pinaatin sijasta, kokivat suurempaa kylläisyyden tunnetta. Ummetus oli yleisempää limaskaryhmällä kuin pinaattiryhmällä. Tutkimuksessa mitattiin myös virtsan oksalaattipitoisuutta, joka ei poikennut merkittävästi kahden ryhmän välillä. Tutkimuksen tuloksista voidaan päätellä, että limaskan nauttimisella ei ole ihmiselle haitallisia vaikutuksia.

### 3.4 Limaskan fysikaaliset ominaisuudet

85 % limaskan proteiinista on RuBisCo-proteiinia (engl. ribulose 1,1-bisphosphate carboxylase), jolla on tutkimusten mukaan elintarvikkeiden valmistukseen käyttökelpoisia ominaisuuksia (Muller ja muut 2023). RuBisCo-proteiini vastaa kasvissa fotosynteesin aikana tapahtuvasta hiilen sidonnasta. RuBisCo-proteiinilla on kyky muodostaa hyvin emulsioita, jotka ovat vakaita erilaisissa ympäristöolosuhteissa, kuten vaihtelevissa pH-arvoilla ja lämpötiloissa. Geelin muodostaminen voi vaatia vain 5,9 grammaa RuBisCo-proteiinia 100 grammaa vettä kohden. RuBisCo-proteiinista valmistettujen geelien rakennetta voidaan muuttaa säätämällä proteiinipitoisuutta. (Tan ja muut 2023.)

Limaskan proteiinit vaahtoutuvat hyvin. Kananmunan valkuaisesta valmistettua vaahtoa vastaava vaahto saadaan 1,5 prosentin limaskaproteiiniliuoksesta. Kananmunan valkuaisessa on 10,2 % proteiinia, joten limaskan proteiineilla on paljon paremmat vaahtoutumisominaisuudet. Kananmunan valkuaisesta valmistetun vaahton stabiiliuus on parempi kuin limaskan proteiineista valmistetun. Kananmunan valkuaisvaahton tilavuus pieneni 120 minuutissa 47,2 %, kun taas limaskan puhdistuspelletistä (PP, purification pellet) valmistetun vaahton tilavuus pieneni vastaavassa ajassa 63,1 %. (Muller ja muut 2023.)

### 3.5 Eläintuotteiden korvaajana

Limaskasta eristetyn RuBisCo-proteiinin hyvien fysikaalisten ominaisuuksien vuoksi limaska kiinnostaa mahdollisena eläintuotteiden korvaajana. Esimerkiksi keitettyä kananmunan valkuaista muistuttavan kananmunankorvikkeen valmistamista limaskan RuBisCo-proteiinista on tutkittu. Imitaatio oli helpommin murenevaa ja vähemmän sitkeää kuin kananmunan valkuainen. Kananmunan valkuaisen parempi kestävyys johtuu luultavasti siitä, että se sisältää kahta proteiinia: ovalbumiinia ja ovotransferriiniä. Limaskasta valmistetun korvikkeen ominaisuuksia voidaan siis mahdollisesti parantaa lisäämällä seokseen muita proteiineja, joilla on korkeampia denaturoitumislämpötiloja. (Zhou ja muut 2022.)

Limaskaa lihankorvikkeen raaka-aineena ovat tutkineet Tan tutkimusryhmineen (2023). He totesivat, että korkeilla RuBisCo-pitoisuuksilla saavutettiin keitetyn kanan kaltainen vedenpidätyskyky. Bakhsh tutkimusryhmineen (2023) tutkivat miten limaskan, spiruliina- ja keltaisen chlorella -levän lisääminen kasvipohjaiseen lihankorvikkeeseen

vaikuttaa fysikaalisiin, ravitsemuksellisiin ja aistittaviin ominaisuuksiin. Limaskan lisääminen antaa korvikkeelle ruskean sävyn, joka voimistuu limaskakonsentraation kasvaessa. Kontrolli korvikkeeseen verrattuna limaskan lisääminen alensi monia rakenteellisia ominaisuuksia. Esimerkiksi sitkeys (engl. chewiness), kovuus ja joustavuus (engl. springiness) alenivat, kun limaskaa lisättiin korvikkeeseen eri pitoisuuksissa. Ongelma voisi olla ratkaistavissa esimerkiksi veden määrän vähentämisellä korvikkeessa. Tutkimuksessa suoritettiin myös aistinvarainen arviointi. Yksiprosenttinen limaskaa sisältävä korvike oli kaikissa kategorioissa vähemmän pidetty kuin kontrolli, lukuun ottamatta rakenteellisia ominaisuuksia. Erityisen huonot arvioinnit limaska sai hajun suhteen. Limaskakorvikkeen maku, väri ja ulkonäkö olivat myös huomattavasti huonommiksi arvioituja kuin kontrollin. Rakenteellisissa ominaisuuksissa arvioijat eivät huomanneet eroa limaskakorvikkeen ja kontrollikorvikkeen välillä.

### **3.6 Säilöntäaineena**

Rocchetti tutkimusryhmineen (2023) tutkivat *Lemna minor* -limaskan käyttöä jauhelihapihvin säilöntäaineena. Lihan proteiinit ja lipidit ovat helposti hapettuvia. Hapettuminen saa aikaan haitallisia yhdisteitä, jotka heikentävät tuotteen ravinnollista ja aistittua laatua. Limaskan sisältämät polyfenolit, terpenoidit ja glukosinolaatit muuttavat lihan hajoamistuotteita. Limaskan lisääminen pakkaukseen ehkäisee linoleenihapon johdannaisten hapettumista. Limaskan käyttö säilöntäaineena vaatii vielä lisää tutkimusta esimerkiksi uutteen kehittämisen ja limaskan fytokeemikaalien ominaisuuksien ymmärtämisen osalta.

## 4 Elintarviketurvallisuus

### 4.1 Kontaminantit

Limaskoiden erinomaisella kyvyllä ottaa sisään ympäristön aineita on kääntöpuolensa, kun tarkastellaan niiden elintarviketurvallisuutta.

Raskasmetallit ovat yksi limaskojen elintarviketurvallisuutta uhkaava tekijä. Tutkimuksissa limaskojen kyvyksi ottaa raskasmetalleja sisään on määritetty 1–100 mg/g. Myös paljon suurempia ja pienempiä arvoja on saatu, mistä voidaan päätellä, ettei asia ole yksiselitteinen. Raskasmetallien bioakkumulaatioon vaikuttaa lukuiset tekijät, kuten raskasmetallien pitoisuus, muiden ionien pitoisuudet, pH ja suolaisuus sekä kasvuliuksen ravinnepitoisuus. Monet limaskojen bioakkumulaatiotutkimukset ovat tehty laboratorioissa, mikä ei anna täysin todenmukaista kuvaa tilanteesta. Luonnossa limaskojen pinnalla esiintyy muun muassa biofilmejä, jotka vaikuttavat kasvin pinnan elektrostaattisiin vuorovaikutuksiin ja siten raskasmetallien imeytymiseen. Tutkimuksissa käytetään myös usein huomattavasti suurempia raskasmetallipitoisuuksia kuin mitä mahdollisissa kasvuliuksissa esiintyy. Raskasmetallit päätyvät limaskaan joko pintasorptiolla (engl. surface sorption) tai solunsisäisellä akkumulaatiolla (engl. intracellular accumulation).

Limaskojen patogeenikontaminaatiosta ei ole toistaiseksi paljoa tietoa. Vaikuttaa siltä, että limaskoilla on kyky vähentää jätevedessä havaittujen bakteerien määrää. Mekanismi on toistaiseksi epäselvä, mutta epäillään limaskan kykenevän joko tappamaan tai inaktivoimaan bakteereja. On myös mahdollista, että limaska vaikuttaa jotenkin bakteerien testausmenetelmään, mikä saa aikaan alhaisemman tuloksen analyysistä. Limaskoja on pystytty viljelemään yhdyskunta- sekä sairaalajätevesissä ilman patogeenikontaminaatiota. (Markou ja muut 2018.)

### 4.2 EU-lainsäädäntö

Vuonna 2021 EFSA eli EU:n elintarvikeviranomainen hyväksyi *Wolffia arrhiza* - ja *Wolffia globosa* -lajit perinteisinä ruokina (engl. traditional food from a third country). Perinteiseltä elintarvikkeelta vaaditaan jatkuvaa käyttöhistoriaa 25 vuoden ajalta merkittävän väestöosan keskuudessa ja turvallista käyttöhistoriaa lähtömaassa. (European Food Safety Authority (EFSA) 2021.)

Vuoden 2022 *Lemna gibba* - ja *Lemna minor* -lajien koko kasveja koskevassa EFSA:n päätöksessä kasvien korkeita mangaanipitoisuuksia pidettiin elintarviketurvallisuusriskinä. Kaikki muut turvallisuusvaatimukset täyttyivät. Päätöksessä tiedostetaan, että niin mangaanin kuin esimerkiksi raskasmetallien ja syanobakteerien toksiinien määrä, riippuu suurelta määrin kasvatusliuoksen koostumuksesta. (EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA) ja muut 2022.)

Vuonna 2023 EFSA hyväksyi *Lemna gibba* - ja *Lemna minor* -lajista eristetyn proteiinikonsentraatin myymisen (EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA) ja muut 2023).

## 5 Päätelmät

Limaskat tarjoavat hyvän vaihtoehdon elintarvikeraaka-aineeksi. Erinomaiset ravitsemukselliset ominaisuudet, kuten täydellinen aminohappokoostumus, suuri B12-vitamiinipitoisuus sekä terveyttä edistävät fytokeemikaalit, tekevät limaskasta kiinnostavan kilpailijan muille kasviproteiineille. Limaskalajeja ja niiden kasvuolosuhteita vaihtelemalla voidaan saada aikaiseksi laaja kirjo erilaisia ravintoainekoostumuksia. Limaskat ovat siis hyvin muokattavissa eri ravitsemuksen käyttötarkoituksiin. Limaskan kasvatuksen ekologisuus, tehokkuus ja vähäinen maa-alueiden käyttö tekee siitä erinomaisen viljelykasvin. Limaskan elintarvikekäyttö vaatii vielä runsaasti tutkimusta, mutta tähänastiset tulokset vaikuttavat hyvin lupaavilta. Eläintuotteiden, kuten lihan, korvikkeena limaskaa tulisi mielestäni erityisesti tutkia ja pyrkiä saavuttamaan paremmat aistittavat ominaisuudet.

## Viitteet

- Appenroth, K.-J., Sree, K. S., Bog, M., Ecker, J., Seeliger, C., Böhm, V., ... Jahreis, G. (2018) Nutritional Value of the duckweed species of the genus *Wolffia* (*Lemnaceae*) as human food. *Front Chem* **6**.
- Appenroth, K.-J., Sree, K. S., Böhm, V., Hammann, S., Vetter, W., Leiterer, M. & Jahreis, G. (2017) Nutritional value of duckweeds (*Lemnaceae*) as human food. *Food Chem* **217**:266–273.
- Baek, G., Saeed, M. & Choi, H.-K. (2021) Duckweeds: Their utilization, metabolites and cultivation. *Appl Biol Chem* **64**:73.
- Bakhsh, A., Park, J., Baritugo, K. A., Kim, B., Sil Moon, S., Rahman, A. & Park, S. (2023) A holistic approach toward development of plant-based meat alternatives through incorporation of novel microalgae-based ingredients. *Front Nutr* **10**.
- de Beukelaar, M. F. A., Zeinstra, G. G., Mes, J. J. & Fischer, A. R. H. (2019) Duckweed as human food. The influence of meal context and information on duckweed acceptability of Dutch consumers. *Food Qual Prefer* **71**:76–86.
- EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA), Turck, D., Bohn, T., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., ... Knutsen, H. K. (2022) Safety of *Lemna minor* and *Lemna gibba* whole plant material as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal* **20**:e07598.
- EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA), Turck, D., Bohn, T., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., ... Knutsen, H. K. (2023) Safety of water lentil protein concentrate from a mixture of *Lemna gibba* and *Lemna minor* as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal* **21**:e07903.
- European Food Safety Authority (EFSA) (2021) Technical Report on the notification of fresh plants of *Wolffia arrhiza* and *Wolffia globosa* as a traditional food from a third country pursuant to Article 14 of Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA* **18**.

- Hu, Z., Fang, Y., Yi, Z., Tian, X., Li, J., Jin, Y., ... Zhao, H. (2022) Determining the nutritional value and antioxidant capacity of duckweed (*Wolffia arrhiza*) under artificial conditions. *LWT* **153**:112477.
- Islam, M. S., Kabir, M. S., Khan, S. I., Ekramullah, M., Nair, G. B., Sack, R. B. & Sack, D. A. (2004) Wastewater-grown duckweed may be safely used as fish feed. *Can J Microbiol* **50**:51–56.
- Kalita, P., Mukhopadhyay, P. K. & Mukherjee, A. K. (2007) Evaluation of the nutritional quality of four unexplored aquatic weeds from northeast India for the formulation of cost-effective fish feeds. *Food Chem* **103**:204–209.
- Kaplan, A., Zelicha, H., Tsaban, G., Yaskolka Meir, A., Rinott, E., Kovsan, J., ... Shai, I. (2019) Protein bioavailability of *Wolffia globosa* duckweed, a novel aquatic plant – A randomized controlled trial. *Clin Nutr* **38**:2576–2582.
- Les, D. H., Crawford, D. J., Landolt, E., Gabel, J. D. & Kimball, R. T. (2002) Phylogeny and systematics of *Lemnaceae*, the duckweed family. *Syst Bot* **27**:221–240.
- López-Pozo, M., Adams, W. W. & Demmig-Adams, B. (2023) *Lemnaceae* as novel crop candidates for CO<sub>2</sub> sequestration and additional applications. *Plants* **12**:3090.
- Markou, G., Wang, L., Ye, J. & Unc, A. (2018) Using agro-industrial wastes for the cultivation of microalgae and duckweeds: Contamination risks and biomass safety concerns. *Biotechnol Adv* **36**:1238–1254.
- Martins, T., Barros, A. N., Rosa, E. & Antunes, L. (2023) Enhancing health benefits through chlorophylls and chlorophyll-rich agro-food: A comprehensive review. *Molecules* **28**:5344.
- Mes, J. J., Esser, D., Somhorst, D., Oosterink, E., van der Haar, S., Ummels, M., ... van der Meer, I. M. (2022) Daily intake of *Lemna minor* or spinach as vegetable does not show significant difference on health parameters and taste preference. *Plant Foods Hum Nutr* **77**:121–127.
- Muller, T., Bernier, M.-È. & Bazinet, L. (2023) Optimization of water lentil (duckweed) leaf protein purification: Identification, structure, and foaming properties. *Foods* **12**:3424.



- Nordic Council of Ministers (2014) Nordic Nutrition Recommendations 2012. Integrating nutrition and physical activity. 5<sup>th</sup> ed. Nordisk Ministerråd, Copenhagen
- On-Nom, N., Promdang, P., Inthachat, W., Kanoongon, P., Sahasakul, Y., Chupeerach, C., ... Temviriyankul, P. (2023) *Wolffia globosa*-based nutritious snack formulation with high protein and dietary fiber contents. *Foods* **12**:2647.
- Pagliuso, D., Grandis, A., Fortirer, J. S., Camargo, P., Floh, E. I. S. & Buckeridge, M. S. (2022) Duckweeds as promising food feedstocks globally. *Agronomy* **12**:796.
- Pagliuso, D., Jara, C. E. P., Grandis, A., Lam, E., Ferreira, M. J. P. & Buckeridge, M. S. (2020) Flavonoids from duckweeds: Potential applications in the human diet. *RSC Adv* **10**:44981–44988.
- Petersen, F., Demann, J., Restemeyer, D., Olf, H.-W., Westendarp, H., Appenroth, K.-J. & Ulbrich, A. (2022) Influence of light intensity and spectrum on duckweed growth and proteins in a small-scale, re-circulating indoor vertical farm. *Plants (Basel)* **11**:1010.
- Petersen, F., Demann, J., von Salzen, J., Olf, H.-W., Westendarp, H., Wolf, P., ... Ulbrich, A. (2022) Re-circulating indoor vertical farm: Technicalities of an automated duckweed biomass production system and protein feed product quality evaluation. *J Clean Prod* **380**:134894.
- Rizzo, G., Laganà, A. S., Rapisarda, A. M. C., La Ferrera, G. M. G., Buscema, M., Rossetti, P., ... Vitale, S. G. (2016) Vitamin B12 among vegetarians: Status, assessment and supplementation. *Nutrients* **8**:767.
- Rocchetti, G., Rebecchi, A., Zhang, L., Dallolio, M., Del Buono, D., Freschi, G. & Lucini, L. (2023) The effect of common duckweed (*Lemna minor L.*) extract on the shelf-life of beef burgers stored in modified atmosphere packs: A metabolomics approach. *Food Chem: X* **20**:101013.
- Stewart, J. J., Adams, W. W., López-Pozo, M., Doherty Garcia, N., McNamara, M., Escobar, C. M. & Demmig-Adams, B. (2021) Features of the duckweed *Lemna* that support rapid growth under extremes of light intensity. *Cells* **10**:1481.
- Tan, Y., Zhang, Z. & McClements, D. J. (2023) Preparation of plant-based meat analogs using emulsion gels: Lipid-filled RuBisCo protein hydrogels. *Food Res Int* **167**:112708.

- Tiwari, B. K., Brunton, N. P. & Brennan, C. (2013) Handbook of plant food phytochemicals: sources, stability and extraction, 1. painos, s. 7-15. John Wiley & Sons, Ltd., UK
- Ullah, A., Munir, S., Badshah, S. L., Khan, N., Ghani, L., Poulson, B. G., ... Jaremko, M. (2020) Important flavonoids and their role as a therapeutic agent. *Molecules* **25**:5243.
- Wallace, T. C., Murray, R. & Zelman, K. M. (2016) The nutritional value and health benefits of chickpeas and hummus. *Nutrients* **8**:766.
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., ... Murray, C. J. L. (2019) Food in the Anthropocene: The EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet* **393**:447–492.
- Xu, J., Shen, Y., Zheng, Y., Smith, G., Sun, X. S., Wang, D., ... Li, Y. (2023) Duckweed (*Lemnaceae*) for potentially nutritious human food: A review. *Food Rev Int* **39**:3620–3634.
- Zeinstra, G. G., Somhorst, D., Oosterink, E., Fick, H., Klopping-Ketelaars, I., Meer, I. M. van der & Mes, J. J. (2019) Postprandial amino acid, glucose and insulin responses among healthy adults after a single intake of *Lemna minor* in comparison with green peas: A randomised trial. *J Nutr Sci* **8**:e28.
- Zelicha, H., Kaplan, A., Yaskolka Meir, A., Tsaban, G., Rinott, E., Shelef, I., ... Shai, I. (2019) The Effect of *Wolffia globosa* Mankai, a Green Aquatic Plant, on Postprandial Glycemic Response: A Randomized Crossover Controlled Trial. *Diabetes Care* **42**:1162–1169.
- Zhang, L., Rocchetti, G., Zengin, G., Del Buono, D., Trevisan, M. & Lucini, L. (2023) The combination of untargeted metabolomics with response surface methodology to optimize the functional potential of common duckweed (*Lemna minor* L.). *Antioxidants* **12**:313.
- Zhou, H., Vu, G. & McClements, D. J. (2022) Formulation and characterization of plant-based egg white analogs using RuBisCO protein. *Food Chem* **397**:133808.