

MANSIKAN TERPENOIDIT: TERVEYSVAIKUTUKSET JA
MERKITYS AROMIN MUODOSTUMISESSA

Smolander Heikki-Mikael
Kandidaatin tutkielma
Ravitsemustiede
Lääketieteen laitos
Terveystieteiden tiedekunta
Itä-Suomen yliopisto
Elokuu 2018

Itä-Suomen yliopisto, Terveystieteiden tiedekunta

Kansanterveystieteen ja kliinisen ravitsemustieteen yksikkö

Ravitsemustiede

Smolander Heikki-Mikael: Mansikan terpenoidit: terveysvaikutukset ja merkitys aromin muodostumisessa

Kandidaatin tutkielma, 30 sivua

Ohjaaja: FT Anna Kårlund

Elokuu 2018

Avainsanat: mansikat, terpeenit, terveysvaikutukset, aromi

MANSIKAN TERPENOIDIT: TERVEYSVAIKUTUKSET JA MERKITYS AROMIN MUODOSTUMISESSA

Terpenoidit ovat runsaslukuinen luonnossa esiintyvä yhdisteryhmä. Kasvit käyttävät terpenoideja pölyttäjien houkutteluun ja kasvipuolustukseen. Monet terpenoideista ovat tuoksuvia yhdisteitä, jotka vaikuttavat erimerkiksi mausteiden ja hedelmien aromin muodostumiseen. Ihmisille terpenoideilla on lukuisia käyttökohteita esimerkiksi elintarvikkeisiin lisättävinä aromiaineina ja tuoksuaineina hajusteissa ja kosmetiikassa. Koe-eläimillä ja soluviljelmillä tehtyjen tutkimusten mukaan monilla terpenoideilla on antioksidanttisia, antibakteriaalisia ja anti-inflammatorisia ominaisuuksia. Näiden ominaisuuksiensa vuoksi terpenoidit saattavat olla terveysvaikutteisia myös ihmisille. Useat näistä tutkimuksista on tehty tutkimalla maustekasveista eristettyjä eeterisiä öljyjä, joiden terpenoidipitoisuudet ovat korkeita.

Puutarhamansikka on suosittu viljelykasvi, jonka kaksi pitoisuudeltaan merkittävintä terpenoidia ovat linaloli ja nerolidoli. Terpenoidit eivät ole merkittävimpiä mansikan aromin muodostavia yhdisteitä, mutta suurella osalla mansikkalajikkeista etenkin linaloli ja nerolidoli vaikuttavat aromin muodostumiseen. Mansikan linalolin ja nerolidolin pitoisuudet voivat myös muuttua prosessoinnin tai varastoinnin seurauksena, mikä vaikuttaa mansikan makuun. Mansikalla havaittujen terveysvaikutusten arvellaan johtuvan enimmäkseen sen sisältämien polyfenolien antioksidanttivaikutuksesta. Myös linalolilla ja nerolidolilla on havaittu antioksidanttisia vaikutuksia, mutta tutkimukset eivät silti ehdota mansikan terveysvaikutusten johtuvan terpenoideista.

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	5
2	YLEISTÄ TERPENOIDEISTA.....	6
2.1	Terpenoidien rakenne ja luokittelu.....	6
2.2	Terpenoidien biosynteesi.....	6
3	TERPENOIDIEN TOIMINTA KASVEISSA.....	7
3.1	Pölyttäjien houkuttelu.....	7
3.2	Kasvipuolustus.....	8
4	TERPENOIDIEN MERKITYS IHMISELLE.....	8
4.1	Tuoksu- ja aromiaineet.....	8
4.2	Biologinen aktiivisuus ja farmakologiset sovellutukset.....	9
4.3	Muut.....	10
5	MANSIKAN TERPENOIDIT: AROMIN MUODOSTUS JA TERVEYSVAIKUTUKSET.....	11
5.1	Merkittävimmät mansikan aromiin vaikuttavat yhdisteet.....	11
5.2	Terpenoidien merkitys mansikan aromin muodostumisessa.....	12
5.3	Mansikan terveysvaikutukset.....	14
5.4	Linalolin ja nerolidolin terveysvaikutukset.....	15
6	PROSESSOINNIN JA VARASTOINTIOLOSUHTEIDEN VAIKUTUS MANSIKAN TERPENOIDEIHIN.....	16
6.1	Ryöppääminen.....	16
6.2	Kuivaaminen.....	17
6.3	Sokerien käyttö säilöntäaineena.....	17
6.4	Pastörinti ja pakastaminen.....	18
6.5	Paineen vaikutus terpenoideihin.....	19
6.6	Tuoreiden mansikoiden varastointi.....	20
7	POHDINTA.....	20
8	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	23

LÄHTEET23

1 JOHDANTO

Terpeenit ja terpenoidit ovat luonnossa esiintyvä runsaslukuinen ja rakenteellisesti monimuotoinen yhdisteryhmä. Tähän mennessä erilaisia terpeenejä on löydetty yli 35 000 erilaista (Kennedy 2014). Useat terpenoidit ovat kasveista haihtuvia tuoksuvia yhdisteitä, joita kasvi käyttää pölyttäjien houkutteluun. Terpenoidit toimivat myös kasvipuolustuksessa kasvinsyöjiä ja taudinaiheuttajia vastaan. Terpenoideilla on merkitystä useiden mausteiden ja hedelmien tuoksun ja aromin muodostumisessa, minkä vuoksi kasvien terpenoidipitoisilla eteerisillä öljyillä ja kasveista eristetyillä terpenoideilla on käyttökohteita esimerkiksi elintarvikkeiden aromiaineina ja kosmetiikassa. Koe-eläimillä ja soluviljelmillä tehtyjen tutkimusten mukaan monilla terpenoideilla on havaittu esimerkiksi antioksidanttisia, antimikrobisia ja anti-inflammatorisia ominaisuuksia. Näiden ominaisuuksiensa vuoksi terpenoidit saattavat olla terveysvaikutteisia myös ihmisille.

Valitsin kirjallisuuskatsauksessani tarkasteltavaksi mansikan terpenoidit. Pohdin terpenoidien merkitystä mansikan terveysvaikutusten ja aromin muodostumisen kannalta. Käyn myös läpi erilaisten elintarvikkeiden prosessointimenetelmien vaikutuksia mansikan terpenoideihin. Rajasin tarkastelun puutarhamansikan (*Fragaria* × *ananassa*) syötävään osaan, eli sen punaiseen pohjushedelmään. Valitsin tarkasteluun mansikan, koska se on suosittu ja satoisa viljelykasvi. Vuonna 2016 mansikkaa tuotettiin maailmanlaajuisesti 9,12 miljoonaa tonnia (Statista 2016). Mansikkaa käytetään ruoaksi sellaisenaan sekä makunsa vuoksi ainesosana useissa erilaisissa elintarvikkeissa.

Kolmessa johdantoa seuraavassa kappaleessa käsittelen yleisesti terpenoidien kemiallista rakennetta, biosynteesiä ja toimintaa kasveissa. Käsittelen myös terpenoideilla havaittuja terveysvaikutuksia ja merkitystä ihmisille erilaisissa sovellutuksissa. Kappaleessa viisi ja kuusi pohdin terpenoidien merkitystä mansikalla havaittujen terveysvaikutusten sekä aromin muodostumisen kannalta. Kappaleessa kuusi esittelen erilaisten elintarvikkeiden prosessointimenetelmien ja varastointiolosuhteiden vaikutusta mansikassa esiintyviin terpenoideihin ja pohdin sitä, kuinka elintarvikkeen prosessoinnista seuraavat terpenoidien pitoisuuksien muutokset vaikuttavat mansikan aromiin. Päätän kirjallisuuskatsauksen pohdintaan ja johtopäätöksiin.

2 YLEISTÄ TERPENOIDEISTA

Terpeenit ja terpenoidit ovat luonnossa esiintyvä runsaslukuinen ja rakenteellisesti monimuotoinen yhdisteryhmä. Käsittelen tässä kappaleessa terpenoidien kemiallisen perusrakenteen ja luokittelun erilaisiin alaryhmiin sekä terpenoidien biosynteesin pääkohdittain.

2.1 Terpenoidien rakenne ja luokittelu

Terpeenien perusyksikkönä on viisihiilinen isopreeni, ja terpeenit luokitellaan siitä löytyvien isopreeniyksikköjen määrän mukaan. Yhden isopreeniyksikön terpeeniä kutsutaan hemiterpeeniksi (C_5), kahden yksikön terpeeniä monoterpeeniksi (C_{10}), kolmen yksikön seskviterpeeniksi (C_{15}), neljän yksikön diterpeeniksi (C_{20}), viiden yksikön sesterpeeniksi (C_{25}), kuuden yksikön triterpeeniksi (C_{30}) ja kahdeksan isopreeniyksikön terpeeniä tetraterpeeniksi (C_{40}) (Kennedy 2014).

Vaikka termejä terpeeni ja terpenoidi näkeekin käytettävän sekaisin, tarkoitetaan niillä hieman eri asioita. Terpeenillä tarkoitetaan isopreeniyksiköistä muodostuvaa hiilivetyä, kun taas terpenoideissa tähän hiilivetyyn on liittynyt yksi tai useampi happipitoinen funktionaalinen ryhmä, kuten alkoholi tai aldehydi (Morrow 2016). Terpenoidien rakenteellinen monimuotoisuus on seurausta isopreeniyksiköiden sitoutumisesta toisiinsa eri tavoilla sekä eri entsyymeistä, jotka liittävät, poistavat ja järjestelevät uudelleen molekyylien funktionaalisia ryhmiä. Terpenoidit kattavat kaikista kasvien tuottamista yhdisteistä 60 % (Firn 2009).

2.2 Terpenoidien biosynteesi

Terpenoidien biosynteesi alkaa isopreenien esiasteiden, isopentenyylipyrofosfaatin (IPP) ja tämän isomeerin, dimetyyliallylidifosfaatin (DMAPP) syntetisoinnilla. Nämä esiasteet voivat syntetisoitua kahden eri biosynteesireitin, mevalonihapporeitin (MVA) ja metyylierytritolireitin (MEP), kautta. Mevalonihapporeitissä edellä mainittujen esiasteiden lähtöaineena toimii asetyylikoentsyymi-A ja metyylierytritolireitissä pyruvaatti ja glyseraldehydi-3-fosfaatti (Yu ja Utsumi 2009).

MVA on aktiivinen eläimissä, kasveissa, bakteereissa ja levissä, kun taas MEP erityisesti bakteereissa, joissain levissä ja kasveissa, mutta ei eläimissä. Osassa eliöistä nämä molemmat

biosynteesireitit ovat aktiivisena (Morrow 2016). Putkilokasveissa, joissa molemmat biosynteesireitit ovat aktiiviset, MVA on aktiivinen solulimassa (Newman ja Chappell 1999) ja MEP plastideissa (Eisenreich ym. 1998; Lichtenthaler 1999).

Terpenoidituotanto jatkuu, kun IPP ja DMAPP yhdistetään ja muodostuu geranyylidifosfaattia (GPP). GPP voidaan edelleen yhdistää IPP:n kanssa, jolloin syntyy farnasyylidifosfaattia (FPP). Monoterpenoidit syntetisoidaan GPP:stä, mutta muut terpenoidiryhmät, kuten diterpenoidit, seskviterpenoidit, triterpenoidit syntetisoidaan FPP:stä (Dubey ym. 2003). Terpenoidiryhmien perusrunkojen synteesi tapahtuu terpenoidisyntaasien (TPS) vaikutuksesta, ja terpenoidien hyvin suuri rakenteellinen monimuotoisuus perustuu suurimmalta osin erilaisten terpenoidisyntaasien suureen määrään. Tämän lisäksi terpenoidisyntaasien lopputuotteita muokataan edelleen entsyymaattisesti esimerkiksi hapettamalla ketoneiksi, demetyloimalla tai metyyliryhmän paikkaa vaihtamalla (Yu ja Utsumi 2009).

Kasvien terpenoidituotantoa pyritään muokkaamaan geenimanipulaation keinoin. Tavoitteena on kehittää lajikkeita, joissa muokattu terpenoidiprofiili ilmenee esimerkiksi parantuneena makuna tai parantuneena tuholaiskestävyytenä. Terpenoidiprofiilin muokkaamisessa on kuitenkin haasteita. Usein halutun terpenoidin lisäksi syntyy muita ei-haluttuja terpenoideja, kasvin kasvu ja kehitys voi häiriintyä tai lisääntynyt halutun terpenoidin tuotanto voi vähentää jonkin toisen, myös toivotun terpenoidin määrää (Yu ja Utsumi 2009).

3 TERPENOIDIEN TOIMINTA KASVEISSA

Kasveissa terpenoidit voidaan jakaa toiminnallisesti primaari- ja sekundaarimetaboliitteihin. Primaarimetaboliitteja ovat kasvihormonit, elektroninsiirtoketjun entsyymit, kuten ubikinoni, solukalvojen rakenteet kuten kasvisterolit ja fotosynteesin väripigmentit, kuten karotenoidit. Sekundaarimetaboliitit osallistuvat pölyttäjien houkutteluun sekä suoraan ja epäsuoraan kasvipuolustukseen. Merkillepantavaa on, että sama terpenoidi voi toimia toisaalta pölyttäjien houkuttamisessa, mutta myös kasvipuolustuksessa kasvinsyöjien karkottajana (Kennedy 2014).

3.1 Pölyttäjien houkuttelu

Pölyttäjiä lisääntymisessään apuna käyttävät kasvit erittävät haihtuvia terpenoideja, jotka houkuttelevat pölyttäjiä (Kennedy 2014). Ylivoimaisesti suurin osa kasvien pölyttäjien houkuttamiseen tuottamista terpenoideista on monoterpenoideja, mutta 85 % kasveista tuottaa

myös seskviterpenoideja tähän tarkoitukseen (Knudsen ym. 2006). Kasvien erittämien haihtuvien terpenoidien koostumus ja niiden pitoisuuksien keskinäiset suhteet muodostavat kullekin kukkalajille sille ominaisen tuoksun. Tuoksu voi houkuttaa useita eri hyönteislajeja tai se voi olla ominainen houkuttelemaan jotain tiettyä hyönteistä (Raguso 2008). Monet kasvien houkuttelutarkoituksessa erittämistä terpenoideista ovat samoja, joita hyönteiset tuottavat myös itse. Hyönteiset käyttävät näitä aineita keskinäiseen viestinvälitykseen esimerkiksi parinvalinnassa sekä reviirien ja ravinnonlähteiden merkitsemisessä. On havaittu, että hyönteiset pölyttävät useimmiten sellaisia kasveja, joiden tuottaman terpenoidiprofiilin koostumus muistuttaa sen itse tuottamaa terpenoidiprofiilia (Schiestl 2010).

3.2 Kasvipuolustus

Kasvipuolustuksessa terpenoidit voivat toimia joko suoraan vai välillisesti. Suorassa kasvipuolustuksessa kasvi erittää terpenoideja vauriokohtaan joko varastoistaan tai syntetisoimalla niitä (Theis ja Lerdau 2003). Terpenoidit voivat karkottaa hyönteisiä, vaikeuttaa niiden ruokailua ja munintaa sekä aiheuttaa hyönteisissä hermostollisia muutoksia (Theis ja Lerdau 2003). Lisäksi useat terpenoidit häiritsevät sienten, bakteerien ja loisten kasvua (Sparg ym. 2004, Augustin ym. 2011). Joidenkin kasvien juuristot erittävät terpenoideja maaperään, mikä vaikeuttaa kilpailevien lajien menestymistä siinä (Nishida ym. 2005). Epäsuorassa kasvipuolustuksessa kasvien erittämät terpenoidit houkuttelevat paikalle kasvinsyöjien saalistajia (Kessler ja Baldwin 2001, Kessler ja Heil 2011).

4 TERPENOIDIEN MERKITYS IHMISELLE

Kolesteroli ja sen johdannaiset ovat luonnostaan ihmiselimistössä esiintyviä, elintärkeitä terpenoideja (Kennedy 2014). Näiden endogeenisten terpenoidien lisäksi ihminen hyödyntää terpenoideja erilaisissa kemian sovellutuksissa, ja rajaan käsittelyn tässä osiossa niihin.

4.1 Tuoksu- ja aromiaineet

Elintarviketeollisuus hyödyntää terpenoideja elintarvikkeiden maku- ja aromiaineina. Kasveista saatavat eteeriset öljyt koostuvat enimmäkseen terpenoideista. Yksittäisiä terpenoideja voidaan eristää eteerisistä öljyistä, tai eteerisiä öljyjä voidaan käyttää sellaisenaan muokkaamaan elintarvikkeiden makua. Terpenoideja voidaan valmistaa myös

puolisyntheettisesti kasveista saatavista lähtöaineista tai kokonaan synteettisesti. Merkittäviä aromiaineina käytettäviä terpenoideja ovat esimerkiksi 1-mentoli, mentoni, karvoni, limoneeni, linaloli, eukalyptoli, nootkatoni, damaskenoni, α - and β -jononi, safranaali ja geranyyliesterit. Elintarvikkeiden lisäksi samoja terpenoideja käytetään aromiaineina esimerkiksi hammastahnoissa, purukumeissa sekä tuoksuina kosmetiikkateollisuuden tuotteissa. Elintarvikelainsäädäntö Yhdysvalloissa ja EU:ssa määrää, että luonnollisiksi aromiaineiksi voi kutsua vain aineita, jotka on eristetty kasvista joko suoraan, tai joiden synteetin lähtöaineina on käytetty kasveista eristettyjä aineita. Luonnollisten aromiaineiden erottaminen kasveista on usein kalliimpaa kuin synteettisten valmistaminen. Kuluttajat kuitenkin arvostavat vaikutelmaa tuotteiden luonnonmukaisuudesta, ja tämä kannustaa elintarviketeollisuutta kehittämään tehokkaampia aromiaineiden erottamismenetelmiä sekä bioteknisiä menetelmiä, joilla haluttuja terpenoideja voidaan valmistaa niiden luonnossa esiintyvistä lähtöaineista (Caputi ja Aprea 2011).

4.2 Biologinen aktiivisuus ja farmakologiset sovellutukset

Useat kasvien tuottamat terpenoidit ovat biologisesti aktiivisia myös eläimissä, minkä seurauksena joillakin niistä on havaittu terveyden kannalta mahdollisesti hyödyllisiä vaikutuksia sekä *in vitro* että *in vivo* -olosuhteissa. Terpenoideilla havaittuja terveysvaikutuksia on esitelty taulukossa 1. Knudsen kollegoineen (2006) tutki yli 900:n kasvin kukinnon tuottamaa tuoksua, ja tunnisti niistä yli 1700 eri yhdistettä. Taulukossa 1 esitellyistä monoterpenoideista limoneeni, myrseeni, linaloli ja β -pineeni ovat sellaisia, joita löydettiin kahdesta kolmasosasta tutkittujen kasvien tuoksuista. Myös seskviterpeeni karyofylliini esiintyi yli puolessa tutkittujen kasvien tuoksuista.

Taulukko 1: Terpenoideilla havaittuja terveysvaikutuksia (Cho ym. 2017)

Anti-inflammatoriset	Syöpää ehkäisevät	Hermostoa suojaavia
α -pineeni	d-limoneeni	borneoli
d-limoneeni	α -pineeni	β -karyofylliini
p-kymeeni	β -pineeni	α -pineeni
linaloli	perillyylialkoholi	1,8-sineoli
γ -terpinieeni	p-kymeeni	p-kymiini
borneoli	myrseeni	
β -karyofylliini	α -karyofylleeni	
sabineeni	β -karyofylliini	
borneyyliasetati		
myrseeni		

Kasveista eristettyjä eteerisiä öljyjä on käytetty terveysvaikutustensa vuoksi perinteisessä lääkinnässä. Terpenoidien terveysvaikutusten tutkiminen tähtääkin niiden terapeuttiseen hyödyntämiseen esimerkiksi hermostorappeumasairauksien hoidossa tai osana kemoterapiaa (Cho ym. 2017). Metsäilmastolla ja lyhytkestoisella metsässä kävelyllä on havaittu suotuisia vaikutuksia elimistöstä mitattaviin tulehdusmarkkereihin (Park ym. 2010, Tsunetsugu ym. 2010, Seo ym. 2015, Song ym. 2016). Näiden terveyden kannalta edullisten vaikutusten on arveltu johtuvan puista haihtuvista terpenoideista (Cho ym. 2017).

4.3 Muut

Terpenoideja voidaan käyttää torjunta-aineina ruoantuotannossa (Dambolena ym. 2016), liuottimina, puhdistusaineina sekä biopolttoaineen valmistuksessa. (Zwenger ja Chhandak 2008). Joillakin terpenoideilla on farmakologisia sovellutuksia kivunlievityksessä, haavaumien hoidossa ja ihon läpäisevyyttä lääkkeille tehostavana apuaineena. Osalla on havaittu myös bakteerien, sienten ja loisten kasvua estäviä ominaisuuksia (Chan ym. 2016). Antibakteeristen ominaisuuksiensa vuoksi kasveista eristettyjen eteeristen öljyjen ja niiden sisältämien terpenoidien hyödyntämistä elintarvikkeiden säilymisen parantamisessa on myös tutkittu (Gutiérrez-Del-Río ym. 2018).

5 MANSIKAN TERPENOIDIT: AROMIN MUODOSTUS JA TERVEYSVAIKUTUKSET

Mansikan terveysvaikutuksia on tutkittu jonkin verran, mutta tutkimukset eivät ole yhdistäneet terpenoideja mansikalla havaittuihin terveysvaikutuksiin. Esittelen tässä osiossa mansikassa esiintyvien terpenoidien terveysvaikutuksia ja pohdin, voisivatko mansikan sisältämät terpenoidit selittää joitain sillä havaittuja terveysvaikutuksia. Esittelen kappaleessa myös mansikan aromia koskevia tutkimuksia ja sitä, millainen merkitys terpenoideilla on mansikan aromin muodostumisessa.

5.1 Merkittävimmät mansikan aromiin vaikuttavat yhdisteet

Mansikasta on löydetty yli 350 haihtuvaa yhdistettä (Bood ja Zabetakis 2002, Van de Poel ym. 2014), mutta näistä vain noin 20:n on todettu vaikuttavan merkittävästi mansikan aromin ja maun muodostumiseen (Fortney ym. 2000). Esterit ovat lukumääräisesti merkittävin mansikan aromin muodostumiseen vaikuttavista yhdisteryhmistä, kattaen lajikkeesta riippuen 25-90 % mansikan haihtuvista yhdisteistä. Muita yhdisteryhmiä ovat aldehydit ja furanonit, joiden osuus saattaa olla jopa 50 %. Alkoholien osuus on 35 %, mutta niiden merkitys aromin muodostumisessa on olematon. Terpenoidit muodostavat haihtuvista yhdisteistä alle 10 % (Fortney ym. 2000).

Tutkittaessa mansikan sisältämiä yhdisteitä erilaiset uuttamis- ja analyysimenetelmät voivat tuottaa toisistaan poikkeavia tuloksia (Zabetakis ja Holden 1997, Ubeda ym. 2012, Fortney ym. 2000). Mansikasta voidaan tutkia joko sen tuottamia haihtuvia, aistittavan aromin muodostavia yhdisteitä, tai näiden aromiaineiden sokeriosaan liittyneiden esiasteiden pitoisuuksia. Mansikan kypsyysaste vaikuttaa mansikan aromiin, sillä sen kypsyessä aromiaineita vapautuu esiastemuodostaan ja mansikan maku voimistuu (Ubeda ym. 2012). Aromiaineet ja niiden pitoisuudet vaihtelevat eri mansikkalajikkeiden välillä (Miszcak ym. 1995).

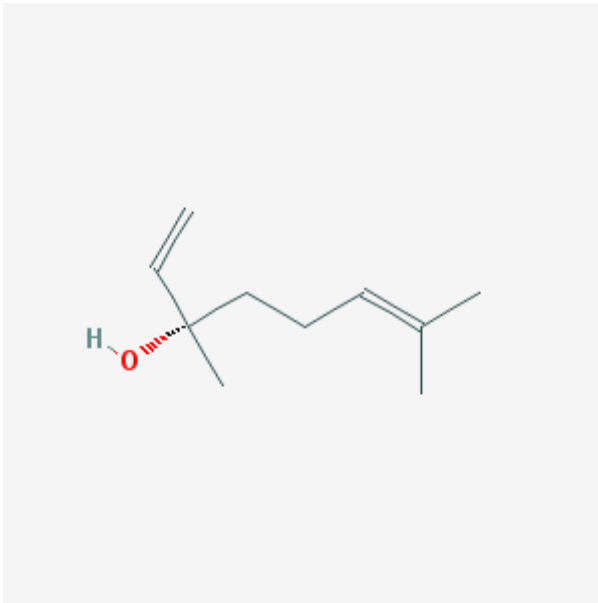
Estereistä etyylibutanoaatin, etyyliheksanoaatin, metyylibutanoaatin ja metyyliheksanoaatin, funanoaattijohdannaisista 2,5-dimetyyli-4-hydroksi-3(2H)-furanoni (DMHF, furaneoli) ja 4-metoksi-2,5-dimetyyli-3(2H)-furanoni (DMMF, mesifuraani) sekä terpenoideista linalolin ja nerolidolin on kuitenkin havaittu olevan lajikkeesta riippumatta suhteellisen pysyviä, kaikista lajikkeista löytyviä aromin muodostumiseen vaikuttavia yhdisteitä (Miszcak ym. 1995). Uudemmissa, aistinvaraisissa tutkimuksissa furaneoli, γ -dekalaktoni, etyylibutanoaatti, etyyliheksanoaatti, etyyli-3-metyylibutanoaatti, diasetyyli sekä heksaanihappo ovat

osoittautuneet merkittävimmitseksi mansikan aromin muodostumiseen vaikuttaviksi yhdisteiksi (Fukuhara ym. 2005, Ulrich ym. 2007, Du ym. 2011, Ubeda ym. 2012). Yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksien lisäksi eri yhdisteiden pitoisuuksien suhteiden on havaittu vaikuttavat maun muodostumiseen (Zabetakis ja Holden 1997).

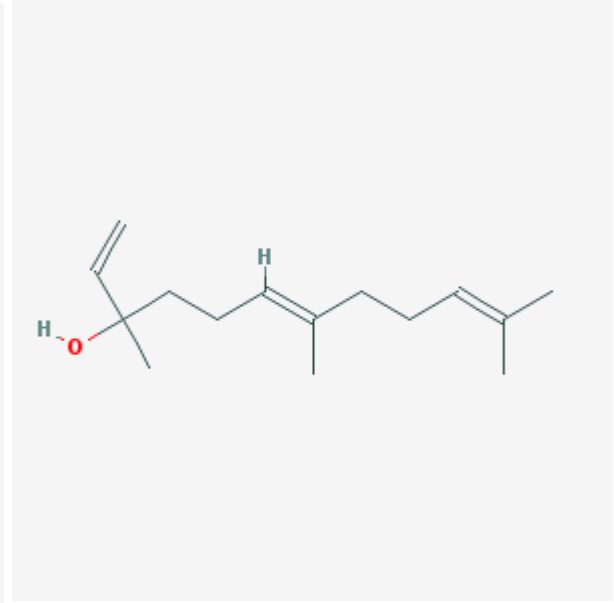
5.2 Terpenoidien merkitys mansikan aromin muodostumisessa

Puutarhamansikasta löydettyjä terpenoideja ovat monoterpenoidit α -pineeni, β -pineeni, linaloli, limoneeni ja okimenoli (Zabetakis ja Holden 1997), seskviterpenoidi nerolidoli (Aharoni ym. 2005), triterpenoidit suavissimosidi ja tormeenihappo sekä norseskviterpenoidit falandini A & B ja falandiosidi D (Yang ym. 2016). Pitoisuudeltaan merkittävimmät terpenoidit ovat linaloli ja nerolidoli. Linalolin tuoksua kuvaillaan makeaksi, kukkamaiseksi ja sitrusmaiseksi ja nerolidolin ruoksua ruusuiseksi, omenaiseksi ja vihreäksi (Aharoni ym. 2004). Villimansikan tuottamat terpenoidit poikkeavat viljeltyjen mansikoiden terpenoideista. Villimansikan sisältämiä terpenoideja ovat α -pineeni, β -myrseeni, β -fallandreeni ja α -terpineoli (Aharoni ym. 2004).

Viljellyn ja villimansikan terpenoidiprofiilien ero on syntynyt jalostustyön seurauksena, sillä viljellyn mansikan sisältämät linaloli ja nerolidoli koetaan aromiltaan miellyttäväksi (Maarse 1991), kun taas villimansikan sisältämät terpenoidit koetaan aromiltaan puumaisina ja epämiellyttävinä (Steele ym. 1998, Martin ym. 2002). Koska linalolilla ja nerolidolilla on myös antimikrobisia ominaisuuksia, on niitä sisältävillä mansikkalajikkeilla valintaetu taudinaiheuttajia vastaan (Kubo ym. 1993, Carson ja Riley 1995). Etenkin linalolin merkitys tiettyjen mansikkalajikkeiden aromille on suuri (Aharoni ym. 2004). Esimerkiksi hillojen valmistukseen yleisesti käytetyn *Senga sengana* -lajikkeen voimakas ja miellyttävä aromi on seurausta sen suuresta linalolipitoisuudesta (Maarse 1991).



Kuva 1 Linaloli (Pubchem 2018: Linalool)



Kuva 2 Nerolidoli (Pubchem 2018: Nerolidol)

Mansikoiden eri aromiaineiden – kuten myös terpenoidien – pitoisuudet vaihtelevat kuitenkin merkittävästi eri lajikkeiden välillä. Ubeda ym. (2012) suorittivat neljän eri mansikkalajikkeen (*Fuentepina*, *Camarosa*, *Candonga* ja *Sabrina*) aromiaineiden määrittämisen sekä hydrolyysituotteiden kaasukromatografia-analyysiin yhdistetyllä massaspektrometrialla, että hajuaistin varaiseen arviointiin yhdistetyllä kaasukromatografia-analyysillä. Jälkimmäisellä menetelmällä tutkitaan yksittäisten mansikasta haihtuvien yhdisteiden merkitystä kokonaisaromin muodostumiseen. Tämä menetelmä kertoo pelkkää pitoisuutta paremmin yksittäisen yhdisteen todellisesta vaikutuksesta kokonaisaromin muodostumiseen, sillä yksittäisen yhdisteen merkitys aromin muodostumisessa voi olla merkittävä, vaikka sen pitoisuus olisi pieni. Toisaalta glykolysoituneessa varastomuodossaan olevat aromiaineet eivät vaikuta aromin muodostumiseen, vaikka niiden pitoisuus olisi suuri. Hydrolyysituotteiden analyysin perusteella tutkittujen mansikkalajikkeiden pitoisuukseltaan merkittävimmät aromiaineet olivat esiaste- eli varastomuodossaan linaloli, α -terpineoli, geranioli, 4-vinyyliguaiakoli, 4-vinyylifenoli, bentsyylialkoholi, bentsoehappo, γ -dekalaktoni ja kanelihappo. Toisaalta aistinvaraisessa arvioinnissa selvisi, että aromin muodostumiseen vaikuttavista yhdisteistä furaneoli, γ -dekalaktoni, etyylibutanoaatti ja etyyliheksanoaatti olivat merkittävimmät.

Vaikka happohydrolyysin perusteella linalolin esiastemuodon pitoisuus oli tutkituista lajikkeista pienin *Fuentepinassa*, se oli silti ainoa lajike, jossa linalolilla havaittiin olevan merkitystä tuoksun muodostumiselle. Tämä selittyy sillä, että aromiaineiden, kuten linalolin, muuntumisnopeus esiastemuodostaan vapaaksi, haihtuvaksi muodoksi, vaihtelee eri

lajikkeiden välillä (Ubeda ym. 2012). Fu kollegoineen (2017) havaitsivat, että linalolin ja nerolidolin varastomuotojen pitoisuus suureni mansikoissa niiden poimimisen jälkeen, ja että varastointilämpötilalla ja valaistuksella oli tähän suuri merkitys. Pitoisuuksien kasvu perustuu terpenoidien synteesiä säätelevän FaNES1-geenin ilmentymisen suurenemiseen. Mansikkatuotteiden haihtuvien terpenoidien pitoisuudet voivat suurentua myös varastoitaessa niitä jäädytettynä, sillä terpenoideja voi vapautua varastomuodoistaan myös entsyymien vaikutuksesta (Gonçalves ym. 2018).

5.3 Mansikan terveysvaikutukset

Mansikalla on havaittu terveysvaikutuksia *in vitro* -kokeissa (McDougall ym. 2005, Olsson ym. 2006, Zhu ym. 2015) sekä eläimillä (Parelsman ym. 2012, Shi ym. 2015) ja ihmisillä (Alvarez-Suarez ym. 2014, Tulipani ym. 2014) suoritetuissa kokeissa. Osa mansikan terveysvaikutuksista perustuu sen sisältämien yhdisteiden antioksidanttivaikutuksiin (Heo ja Lee 2005, Edirisinghe ym. 2008, Tulipani ym. 2011, Tulipani ym. 2014, Alarcón ym. 2015). Vallitseva käsitys on, että ravinnosta saatavat antioksidantit pienentävät sellaisten sairauksien riskiä, jotka liittyvät oksidatiiviseen stressiin (Hollman ym. 2011). Oksidatiivisella stressillä on rooli esimerkiksi hermostorappeumasairauksien (Markesbery 1999), syöprien (Dobutovic 2011, Frombaum ym. 2012) ja diabeteksen kehittymisessä (Edirisinghe ym. 2011). Osa mansikan terveysvaikutuksista perustuu muihin mekanismeihin, kuin sen sisältämien yhdisteiden antioksidanttivaikutuksiin. Eräs mekanismi on polyfenolien vaikutus geeniluennan ja PPAR:n kautta insuliiniherkkyyden, tulehdustilan ja rasva-aineenvaihdunnan säätelyyn. Fenoliset yhdisteet voivat myös estää syöpäsolujen kasvua vaikuttamalla niiden solusignointiin (Giampieri ym. 2014). Shin ym. (2015) tutkimuksessa mansikkapitoinen ruokavalio ehkäisi paksusuolensyövän ilmaantuvuutta hiirillä annosvasteisesti.

Mansikan terveysvaikutusten arvellaan johtuvan sen sisältämistä fenolisistä yhdisteistä, kuten antosyaaneista (Heo ja Lee 2005, Edirisinghe ym. 2011, Zhu ym. 2015). Ellagitanniinin ja ellagihapon on *in vitro* -kokeiden perusteella arveltu suojaavan diabetekselta (Da Silva Pinto ym. 2008, Da Silva Pinto ym. 2010), sydän- ja verisuonisairauksilta (Del Rio ym. 2013) ja syövilta (Heber 2008). Osa edellä mainittujen yhdisteiden terveysvaikutuksista saattaa johtua suolistomikrobien niistä muodostamista, imeytyvistä aineenvaihduntatuotteista. Myös mansikan sisältämällä hydroksikanelihapolla (El-Said ym. 2012) ja lignaaneista suolistomikrobien vaikutuksesta muodostuvilla enterolignaaneilla (Del Rio ym. 2013) arvellaan olevan terveyttä edistäviä vaikutuksia. Eri yhdisteryhmiin kuuluvien fytokemikaalien

vaikutusmekanismit voivat olla keskenään erilaisia, mutta ne vaikuttavat elimistössä synergisesti. Tästä syystä kasvien terveysvaikutukset ovat seurausta niiden monipuolisesta fytokeemikaalikoostumuksesta ja fytokeemikaalien yhteisvaikutuksesta eivätkä niinkään yksittäisistä yhdisteistä (Liu 2003).

5.4 Linalolin ja nerolidolin terveysvaikutukset

Linalolilla on useissa eri tutkimuksissa havaittu olevan tulehdusta ehkäiseviä vaikutuksia. Eräässä tutkimuksessa (Ma ym. 2015) havaittiin, että intraperitoneaalisesti eli vatsakalvon sisäisesti annosteltu linaloli ehkäisi hiirillä tupakan savun aiheuttamaa keuhkokudoksen tulehdusta estämällä tulehdussolujen tunkeutumista kudokseen sekä vähentämällä useiden eri sytokiinien tuotantoa. Myös Huo ym. (2012) havaitsivat, että linalolilla oli tulehdusvälittäjäaineiden tuotantoa hillitsevä vaikutus sekä *in vitro* että *in vivo* hiiren keuhkokudoksessa. Topikaalisesti eli iholle annostellulla linalolia, α -pineeniä ja 1-oktanolia sisältävällä olibaanihartsioöljyllä on havaittu olevan tulehdusta hillitsevä ja kipua lievittävä vaikutus (Li ym. 2016). Linaloli lievensi *in vitro* -olosuhteissa lipopolysakkaridilla mikroglia-soluihin aiheutettua tulehdusreaktiota (Li ym. 2015). Linalolilla on havaittu myös antibakteerisia, antioksidanttisia ja biofilmin muodostumista ehkäiseviä (anti-biofilmisiä) vaikutuksia. Näiden vaikutustensa vuoksi linalolilla nähdään potentiaalisia käyttökohteita säilöntäaineena elintarviketeollisuudessa (Duarte ym. 2016). Useiden kasvien eteerisillä öljyillä havaitun antioksidanttisuuden arvellaan johtuvan niiden sisältämästä linalolista (Pripdeevech ym. 2010, Sanjay Guleria ym. 2013, Abdelwahab ym. 2017). Linalolin antioksidanttivaikutuksen havaitsivat myös Seol ym. (2016) tutkiessaan linalolin käyttöä rannekanavaoireyhtymäpotilaiden hoidossa. Linalolin hengittäminen lisäsi elimistön antioksidanttiaktiivisuutta sekä potilasryhmällä että terveillä aikuisilla.

Nerolidolilla on havaittu antibakteriaalisia, antifungaalisia, anti-parasiittisia, antibiofilmisiä, hyönteisiä karkottavia, kipua lievittäviä, haavaumia estäviä sekä ihon läpäisevyyttä lääkkeille tehostavia ominaisuuksia. Näiden lisäksi lukuisissa tutkimuksissa nerolidolilla on havaittu antioksidanttisia ja anti-inflammatorisia sekä syöpää ja kasvaimia ehkäiseviä ominaisuuksia niin *in vitro* kuin *in vivo*-eläinkokeissa (Chan ym. 2016). Nogueira Neto ym. (2013) tutkivat nerolidolin antioksidanttivaikutuksia hiiren hippokampuksessa. He havaitsivat, että intraperitoneaalisesti annosteltu nerolidoli lisäsi annosriippuvaisesti superoksidaasidismutaasin ja katalaasin aktiivisuutta sekä vähensi rasvahappojen peroksidaatiota. Toisessa tutkimuksessa

oraalisesti annostelu nerolidoli vähensi rotilla paksusuolen adenokarsinooman esiintyvyyttä sekä kasvainten määrää (Wattenberg 1991).

6 PROSESSOINNIN JA VARASTOINTIOLOSUHTEIDEN VAIKUTUS MANSIKAN TERPENOIDEIHIN

Käsittelen seuraavaksi erilaisten ruoan prosessointimenetelmien ja varastointiolosuhteiden vaikutuksia mansikan terpenoideihin. Koska mansikan prosessoinnista tehtyjä tutkimuksia löytyy rajoitetusti, käsittelen kappaleessa myös muiden kasvien prosessoinnista tehtyjä tutkimuksia, mikäli näissä kasveissa esiintyvät terpenoidit ovat samoja, mitä löytyy myös mansikasta. Käsittelen myös sitä, kuinka erilaiset varastointiolosuhteet vaikuttavat sekä tuoreiden poimittujen, että prosessoitujen mansikkatuotteiden terpenoidipitoisuuksiin. Tässä yhteydessä tulee huomata, että käsitteet prosessointi ja varastointiolosuhteet saattavat aika ajoin limittyä; esimerkiksi mansikkatuotteen jäädytyksen voi lukea prosessoinniksi, mutta jäätyneenä säilyttämisen varastoinniksi.

Ruoan prosessointi käsittää suuren määrän erilaisia tapahtumia, joilla pyritään muokkaamaan tuote syötävään muotoon ja lisäämään sen käyttöikää estämällä sitä pilaavien bakteerien ja entsyymien toiminta (Henry ja Massey 2001). Ruoan pilaantumista aiheuttavia tekijöitä ovat fysiologinen vanheneminen, biokemialliset muutokset, nahistuminen ja etyleenin tuotto. Nämä tekijät aiheuttavat muutoksia ruoan värissä ja koostumuksessa, muodostavat siihen epätoivottuja aromeja ja happoja sekä altistavat sen mikrobien aiheuttamalle pilaantumiselle (Pasha ym. 2014). Prosessoinnin seurauksena osa ruoan sisältämistä yhdisteistä voi hajota tai niiden pitoisuudet voivat pienentyä muilla tavoin. Tämä heikentää ruoan ravitsemuksellista arvoa. Eri yhdisteillä on erilainen taipumus hajota prosessoinnin seurauksena. Ravintoaineiden vähenemiseen vaikuttaa prosessoitava ruoka ja sen koostumus, prosessointitekniikka ja siinä käytetyt olosuhteet sekä aika (Henry ja Massey 2001).

6.1 Ryöppääminen

Ryöppäämisen yhtenä tarkoituksena on inaktivoida kasvin sisältämät entsyymit, minkä seurauksena ruoan säilytysaika pitenee. Shamaila ym. (1996) tutkivan ryöppäämisen vaikutusta porkkanan väriin ja aromiaineisiin. Porkkanoiden ryöppääminen kiehuvässä vedessä 300 sekunnin ajan hävitti porkkanoista lähes kaikki sen sisältämät terpenoidit. Tästä terpenoidien häviämisestä 70 % tapahtui ensimmäisen minuutin aikana. Hävinneitä, mansikastakin löytyviä

terpenoideja olivat β -pineeni, limoneeni, linaloli ja α -terpineoli. Syitä ryöppäyksen aiheuttamalle terpenoidien pitoisuuksien pienenemiselle ovat haihtuminen, veteen liukeneminen sekä lämpöhajoaminen.

6.2 Kuivaaminen

Elintarvikkeiden käyttöikä voidaan pidentää niitä kuivaamalla. Kuivausmenetelmiä ovat ilma-kuivaus, erilaiset uunikuivaukset ja pakkaskuivaus. Käytetyllä kuivausmenetelmällä ja lämpötilalla on vaikutusta elintarvikkeen terpenoidipitoisuuksiin (Hyvärinen 2001). Raghavan ym. (1997) tutkivat mikroaaltouunilla ja kiertoilmakuivaimella tehdyn kuivauksen vaikutusta meiramin terpenoideihin. Kiertoilmakuivauksen lämpötila oli noin 45°C ja kuivausaika kuusi tuntia, kun taas mikroaaltouunilla kuivatessa aika oli 18 minuuttia kaikilla tutkituilla kuivaustehoilla. Meiramissa esiintyvistä terpenoideista α - ja β -pineeni, limoneeni, linaloli ja α -terpineoli ovat sellaisia, joita esiintyy myös mansikassa (Zabetakis ja Holden 1997, Ubeda ym. 2012). Tutkimuksessa havaittiin, että verrattuna tuoreisiin meiramin lehtiin limoneenia lukuun ottamatta kaikkien edellä mainittujen terpenoidien pitoisuus kasvoi kiertoilmakuivaimella kuivattaessa. Terpenoidien pitoisuudet säilyivät hyvin myös kuivattaessa mikroaaltouunin pienimmällä teholla (175 W), mutta kaikkien pitoisuudet pienenevät ja osa katosi kokonaan kaikkein suurinta tehoa (595 W) käytettäessä. Kokonaan hävinneet terpenoidit olivat α - ja β -pineeni ja linaloli. Näiden monoterpenoidien häviäminen selittyy niiden matalalla kiehumispisteellä (Raghavan ym. 1997). Linalolipitoisuuden huomattiin säilyvän suurempana matalatehoisessa mikroaaltouunikuivauksessa verrattuna korkeatehoiseen myös basilikaa (Di Cesare ym. 2003) ja rosmariinia kuivatessa (Rao ym. 1998).

Ghasemi Pirbaloutin ym. (2013) tutkimuksessa ilma-kuivaus ja 40°C uunikuivaus säilytti basilikan linalolipitoisuuden korkeana, mutta kuumemmalla 60°C uunikuivauksella ja korkeatehoisella (500 W) mikroaaltouunikuivauksella linalolipitoisuus pieneni huomattavasti. Samansuuntaisen havainnon tekivät myös basilikan kuivausta tutkineet Ghasemi Pirbalouti ym. (2013). Pakkaskuivauksen havaittiin suurentavan basilikan linalolipitoisuutta sekä Di Cesaren ym. (2003) että Ghasemi Pirbaloutin ym. (2013) tutkimuksessa.

6.3 Sokerien käyttö säilöntäaineena

Erilaisia disakkarideja käytetään lisäaineena kuivattujen elintarvikkeiden valmistuksessa. Sokerit muodostavat elintarvikkeessa kuivausprosessin aikana lasirakenteen, mikä stabiloi

ruoan rakennetta ja siten vähentää kuivausprosessin aiheuttamaa aromiaineiden häviämistä (Crowe ym. 1993).

Draženka ym. (2003) tutkivat kahden eri sokerin lisäämisen vaikutusta aromiaineiden säilymiseen pakastekuivatun mansikkasoseen valmistuksessa. He havaitsivat, että trehaloosin lisääminen mansikkasoseeseen säilytti aromiaineiden pitoisuudet suurempina kuivausprosessin jälkeen verrattuna mansikkasoseeseen, johon oli lisätty sakkaroosia ja tilanteessa, jossa mitään sokeria ei lisätty. Trehaloosin lisääminen mansikkasoseeseen säilytti kaikkien tutkittujen terpenoidien pitoisuudet suurempina kahteen muuhun tilanteeseen verrattuna. Tutkittuja terpenoideja olivat linaloli, α -terpineoli ja γ -dekalaktoni.

6.4 Pastörinti ja pakastaminen

Gonçalves ym. (2018) tutkivat eri pakastusmenetelmien ja pakastusajan vaikutusta sekä pastöroidun että pastöroimattoman mansikkasoseen aromiaineiden pitoisuuksiin. Pakastusajalla tarkoitetaan tässä sitä, kuinka kauan tuotteita säilytettiin pakastettuna. Tutkittuja terpenoideja olivat α -pineeni, limoneeni, linaloli ja nerolidoli. Pineenin ja limoneenin pitoisuuden havaittiin olevan riippuvainen pastöroinnista ja pakastusajasta, mutta ei käytetystä pakastusmenetelmästä. Pineenin pitoisuus laski pakastusajan pidentyessä niin, että pitoisuuden lasku oli nopeampaa pastöroidussa kuin pastöroimattomassa mansikkasoseessa.

Limoneenin pitoisuus nousi jäädytetyssä mansikkasoseessa kolmeen kuukauteen saakka ja alkoi sen jälkeen laskea. Pastöroimattomassa mansikkasoseessa limoneenin pitoisuuden huippuarvo nousi kolmen kuukauden kohdalla korkeammalle kuin pastöroidussa mansikkasoseessa, mutta se myös laski tämän jälkeen nopeammin (Gonçalves ym. 2018).

Linalolin pitoisuuden havaittiin nousevan lineaarisesti koko pakastusjakson ajan riippumatta pastöroinnista ja käytetystä pakastusmenetelmästä (Gonçalves ym. 2018). Varastoidun mansikkasoseen linalolipitoisuuden on havaittu nousevan myös muissa tutkimuksissa, missä mansikoita jäädytettiin (Larsen ja Watkins 1995) ja mansikkamehua säilytettiin korkeassa paineessa (Bermejo-Prada ym. 2015). Edellä mainituissa tutkimuksissa linalolipitoisuuden nousu selitetään sillä, että varastoinnin aikana mansikan sisältämä β -glukosidaasientsyymi vapauttaa linalolia sen glykolysoituneesta varastomuodostaan.

Nerolidolin pitoisuuteen vaikutti pastöroinnin lisäksi myös käytetty pakastusmenetelmä. Kun pastöroitu mansikkasose jäähdytettiin tavanomaisessa jäähdyttimessä, sen varastoinnin aikainen nerolidolipitoisuus laski ensin kahteen kuukauteen asti, minkä jälkeen se nousi huippuarvoonsa noin kahdeksan kuukauden kohdalla ja laski sen jälkeen jyrkästi. Käytettäessä kiertoilmajäähdytintä nerolidolipitoisuus laski pastöroidussa mansikkasoseessa lineaarisesti. Pastöroimattomassa, kiertoilmajäähdytyksessä mansikkasoseessa nerolidolipitoisuus laski ensin kahteen kuukauteen asti, nousi sitten huippuarvoonsa yhdeksän kuukauden kohdalla ja laski sen jälkeen jyrkästi. Tavanomaista jäähdytysmenetelmää käyttäen nerolidolipitoisuus ensin nousi ja sitten laski mittausjakson aikana hyvin loivasti. Mittausjakson lopuksi pastöroimattoman mansikkasoseen nerolidolipitoisuus oli suurempi kuin pastöroidulla. Vaikka käytetty jäähdytysmenetelmä vaikutti nerolidolipitoisuuden vaihteluun varastoinnin aikana, oli nerolidolipitoisuus mittausjakson lopussa sama jäähdytysmenetelmästä riippumatta (Gonçalves ym. 2018).

6.5 Paineen vaikutus terpenoideihin

Bermejo-Prada ym. (2015) tutkivat paineen alaisena varastoinnin vaikutusta mansikkamehun mikrobiologiseen pilaantumiseen ja aromiaineiden säilymiseen. Mansikkamehuja varastoitiin 15 päivän ajan paineistetuissa olosuhteissa 20°C ja 50 MPa, 20°C ja 200 MPa sekä normaali-ilmanpaineessa 5°C jääkaappilämpötilassa ja 20°C huoneenlämpötilassa. Kontrollinäytteenä käytettiin varastoimatonta, tuoretta mansikkamehua.

Paineistetuissa olosuhteissa nerolidolin ja etenkin linalolin pitoisuus nousi kontrollinäytteeseen verrattuna, kun taas jääkaappisäilytyksessä nerolidolin pitoisuus laski. Näiden terpenoidien pitoisuuksien nousu oli 200 MPa:ssa suurempaa, kuin 50 MPa:ssa. Linalolin pitoisuus nousi myös jääkaappilämpötilassa, mutta kokonaisuudessaan mehun aromiaineet säilyivät paineistetuissa olosuhteissa huomattavasti paremmin. Paineistetuissa mansikkamehuissa ei myöskään tapahtunut mikrobiologista pilaantumista huoneen lämpötilassa, toisin kuin normaali-ilmanpaineessa samassa lämpötilassa. Linalolin varastoinnin aikainen pitoisuuden nousu selitetään tutkimuksessa β -glukosidaasientsyymin aktiivisuuden nousuna. Muissakin tutkimuksissa β -glukosidaasin aktiivisuuden on havaittu nousevan 15 minuutin painekäsittelyn aikana 200–400 MPa:n välillä (Zabetakis ym. 2000, Garcia-Palazon ym. 2004).

6.6 Tuoreiden mansikoiden varastointi

Kuten jo edellä mainittiin, mansikan linalolipitoisuuden on havaittu nousevan sitä varastoitaessa jäädytettynä (Gonçalves ym. 2018, Larsen ja Watkins 1995) ja korkeassa paineessa (Bermejo-Prada ym. 2015). Useissa tutkimuksissa on havaittu, että mansikan aromiaineiden pitoisuudet suurenevat myös tuoreita mansikoita varastoitaessa (Perez ym. 1992, Miszczak ym. 1995, Van de Poel ym. 2014). Fu kollegoineen (2017) tutkivat, millainen vaikutus varastointilämpötilalla ja -valaistuksella oli poimittujen mansikoiden aromiaineiden pitoisuuksien kehittymiseen. Tutkimuksessa havaittiin, että linalolin ja nerolidolin varastomuotojen pitoisuus suureni mansikoissa niiden poimimisen jälkeen.

Fu ym. (2017) tutkimuksessa mansikan (”Sweet Charlie”) linalolipitoisuus suureni enemmän varastoitaessa sitä seitsemän päivän ajan alle 25°C:ssa, kuin alle 15°C:ssa. Sillä, varastoitiinko mansikoita pimeässä vai valaistuksessa, ei ollut vaikutusta linalolipitoisuuteen. Myös nerolidolipitoisuus suureni enemmän varastoitaessa sitä 25°C:ssa verrattuna 15°C:een. Mansikoiden varastointi pimeässä suurensi nerolidolipitoisuutta huomattavasti enemmän valoisassa varastointiin verrattuna molemmissa lämpötiloissa. Samalla myös havaittiin, että terpenoidien synteesiä säätelevän FaNES1-geenin ilmentyminen suureni varastoitaessa mansikoita pimeässä ja alle 15°C:ssa, mutta ei alle 25°C:ssa. Geenin ilmentymisen suureneminen korreloi havaitun nerolidolipitoisuuden suurenemisen kanssa vain 15°C:ssa, mutta ei selitä, miksi pitoisuuden havaittiin kasvavan myös 25°C:ssa (Fu ym. 2017). FaNES1-geenin suureneminen ei korreloinut linalolipitoisuuden kanssa, vaikka geenin tiedetään osallistuvan linalolin synteesiin (Aharoni ym. 2004).

7 POHDINTA

Mansikan merkittävimmät terpenoidit ovat linaloli ja nerolidoli. Näillä havaitut biologiset vaikutukset ovat mielenkiintoisia sekä farmakologisesta että ravitsemuksellisesta näkökulmasta. Sekä mansikalla että siinä esiintyvillä linalolilla ja nerolidolilla on havaittu antioksidanttisia ominaisuuksia (Duarte ym. 2016, Chan ym. 2016). Tutkimukset eivät kuitenkaan ole ehdottaneet mansikalla havaittujen terveysvaikutusten johtuvan sen sisältämistä terpenoideista, vaan enimmäkseen fenolisista yhdisteistä, kuten antosyaaneista. Shi ym. (2015) havaitsi mansikkapitoisen ruokavalion vähentävän paksusuolen syövän ilmaantumista hiirillä. Wattenberg (1991) havaitsi, että oraalisesti annosteltu nerolidoli vähensi paksusuolensyövän ilmaantumista rotilla. On mahdollista, että mansikan paksusuolen syöpää vähentävä vaikutus

johtuu sen sisältämästä nerolidolista. Toisaalta myös mansikan runsaasti sisältämällä fenolisilla yhdisteillä on arveltu olevan syöväen kasvua hillitsevä vaikutus solusignaloinnin kautta (Giampieri ym. 2014). Terpenoideilla havaittuja terveyden kannalta edullisia vaikutuksia on havaittu tutkimalla kasvien terpenoidipitoisia eteerisiä öljyjä tai eristettyjä terpenoideja. Näissä kasveissa terpenoidien pitoisuudet ovat merkittäviä, joten niillä voisi ajatella olevan myös terpenoideista johtuvia terveysvaikutuksia. Koska mansikan terpenoidipitoisuudet ovat huomattavasti pienempiä, on sillä havaittuja terveysvaikutuksia mielekästä perustella ensisijaisesti sen sisältämällä muilla yhdisteillä.

Suuri osa tutkimuksissa havaituista terpenoidien terveyttä edistävästä biologisista vaikutuksista on havaittu *in vitro* -olosuhteissa laboratoriossa. *In vivo* -olosuhteissa tehdyissä havainnoissa terpenoideja on voitu annostella koe-eläimelle muilla tavoin kuin suun kautta. Ravinnon kautta saatavat terpenoidit joutuvat ruoansulatuselimistöön ennen imeytymistään verenkiertoon. Tästä voi seurata se, että osa ravinnon mukana saatavista terpenoideista ei imeydy, tai ne voivat metaboloitua muiksi yhdisteiksi ennen imeytymistään. Lisäksi tutkimuksissa koe-eläinten saamat terpenoidien annosmäärät saattavat olla suurempia, kuin mitä niitä olisi mahdollista saada ravinnon kautta. Tämän takia ei voida tietää, onko terpenoideilla tutkimuksissa havaittuja terveysvaikutuksia mahdollista saada myös ravinnon kautta nautittuna. Toisaalta jo terpenoidipitoisen metsäilman hengittämisen on todettu saavan aikaan mitattavissa olevia fysiologisia vaikutuksia mikä kielii siitä, että terpenoidien terveyshyödyt voidaan saavuttaa jo hyvin pieninä annoksina ainakin muulla tavalla, kuin ruoansulatuskanavan kautta nautittuna.

Mansikan aromin muodostava haihtuvien yhdisteiden profiili vaihtelee eri mansikkalajikkeiden välillä (Ubeda ym. 2012, Miszczak ym. 1995). Kaikki mansikan aromin muodostumista koskevat tutkimukset nimeävät muutaman yhdisteen, jotka ovat vastuussa mansikoille tunnusomaisen maun muodostumisesta lajikkeesta riippumatta. Näiden pääkomponenttien erilaiset pitoisuudet ja keskinäiset suhteet sekä muut mansikoista löytyvät haihtuvat yhdisteet aiheuttavat sen, että mansikat maistuvat sekä lajikkeesta että kypsyyssasteesta riippuen erilaisilta.

Mansikasta on löydetty useita eri terpenoideja. Pitoisuudeltaan merkittävimmät ovat linaloli ja nerolidoli. Eri mansikkalajikkeiden sisältämät terpenoidit ja niiden pitoisuudet vaihtelevat kuitenkin runsaasti, ja tästä johtuen terpenoideilla on havaittu olevan merkitys aromin muodostumiselle vain osalla lajikkeista. Toinen syy sille, miksi terpenoidien merkitystä aromin muodostumiselle ei ole havaittu kaikissa tutkimuksissa voi johtua erilaisista

analyysimenetelmistä. Mansikan terpenoideilla saattaa olla merkitystä niidenkin mansikkalajikkeiden aistittavaan aromiin, joissa sitä ei käytetyillä analyysimenetelmillä ole kyetty osoittamaan.

Elintarvikkeiden prosessointi ja varastointiolosuhteet aiheuttavat muutoksia elintarvikkeiden sisältämiin yhdisteisiin, kuten aromiaineisiin (Raghavan ym. 1997, Fu ym. 2017). Koska aromiaineiden pitoisuuksissa tapahtuvat muutokset vaikuttavat elintarvikkeen makuun ja tuoksuun, voi prosessoinnin aiheuttamaa terpenoidien pitoisuuksien laskua pitää mansikkatuotteen aromin kannalta haitallisena. Prosessointimenetelmistä kuivaus, ryöppäys ja pastörointi ovat sellaisia, missä elintarvike altistetaan korkealle lämpötilalle. Koska mansikan sisältämällä terpenoideilla on erilainen kiehumispiste, niiden pitoisuudet reagoivat korkeisiin lämpötiloihin eri tavoin; mitä matalampi on terpenoidin kiehumispiste, sitä herkempi se on haihtumaan prosessoinnin aikana. Toisaalta myös kasvin solurakenne voi vaikuttaa siihen, millainen vaikutus prosessoinnilla on sen terpenoidipitoisuuksiin. Tämän takia muiden kasvien prosessoinnista tehdyistä tutkimuksista ei voi tehdä suoria johtopäätöksiä koskien mansikkaa.

Kuumakäsittelyn on havaittu aiheuttavan aromiaineiden häviämistä elintarvikkeissa (García-Reyes ja Narváez-Cuenca 2010). Gonçalvesin ym. (2018) tutkimuksen tuloksista on mahdollista päätellä, että pastörintiprosessilla on jäädytetyn mansikkasoseen nerolidolin ja limoneenin pitoisuuksia vähentävä vaikutus varastoinnin aikana. Toisaalta pastörintiprosessilla ei näyttänyt olevan merkitystä varastoinnin aikaiseen linalolipitoisuuden kehittymiseen. Pastöroinnin nerolidolin ja limoneenin pitoisuuksia vähentävä vaikutus voisi olla selitettävissä niiden linalolia alemmalla kiehumispisteellä, sillä pastörintiprosessissa mansikkasoseen lämpötilaa nostettiin hetkellisesti. Toisaalta jo aiemmin käsittelemässäni Raghavarin ym. (1997) tutkimuksessa korkeatehoisella mikroaaltouunilla kuivatun meiramin sisältämä linaloli hävisi kokonaan, kun taas limoneenia oli löydettävissä meiramista vielä kuivausprosessin jälkeen. Raghavarin ym. (1997) tutkimuksessa analysoitua limoneenin pitoisuutta ei kuitenkaan voi pitää luotettavana, sillä jostain syystä sen pitoisuus analysoitiin yhdessä 1,8-cineolin kanssa, eikä kummankaan terpenoidin pitoisuutta selvitetty erikseen.

Terpenoidien pitoisuudet voivat kuivauksen seurauksena myös nousta, kuten Raghavarin ym. (1997) tutkimuksessa havaittiin. Tässä tutkimuksessa havaittu pitoisuuksien nousu voidaan selittää veden haihtumisella, koska meiramin massa pieneni veden haihtumisen seurauksena huomattavasti enemmän, kuin terpenoideja haihtui. Tällöin terpenoidien määrä ei nouse, mutta niiden pitoisuus suurenee. Mansikoiden terpenoidipitoisuus voi nousta myös niitä

varastoitaessa. Tällöin terpenoidien pitoisuus voi nousta entsymaattisesti, kuten Gonçalvesin ym. (2018) ja Bermejo-Pradan ym. (2015) tutkimuksissa havaittiin, tai tuoreissa mansikoissa terpenoidisynteesiä säätelevän geenin ilmentymisen kasvaessa (Fu ym. 2017).

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Vaikka mansikalla havaitut terveysvaikutukset ovatkin samankaltaisia kuin terpenoideilla, selitetään niiden johtuvan enimmäkseen mansikan sisältämistä fenolisista yhdisteistä. Toisaalta fytokeemikaalien aiheuttamat terveysvaikutukset saattavat olla seurausta useiden eri fytokeemikaalien yhteisvaikutuksesta, eivätkä niinkään yksittäisistä yhdisteistä. Tästä syystä myös mansikan terpenoidit voivat pienestä pitoisuudestaan huolimatta osaltaan selittää mansikalla havaituttuja terveysvaikutuksia. Lisää tutkimusta ravinnosta saatavien terpenoidien terveysvaikutuksista tarvitaan. Tutkimuksissa tulisi huomioida, että terpenoidien annostelu tapahtuu ruoansulatuselimistön kautta, ja että niiden määrät ovat sellaisia, mitä ravinnon kautta on mahdollista saada.

Terpenoidien merkitys mansikan aromin muodostumiseen on selkeämpi. Suurella osalla mansikkalajikkeista etenkin linaloli ja nerolidoli vaikuttavat aromin muodostumiseen, vaikka niiden merkitys ei ole mansikan aromissa yhtä suuri, kuin monilla muilla kasveilla. Näiden terpenoidien korkeat pitoisuudet koetaan mansikan aromin kannalta miellyttävinä. Tästä syystä elintarviketeollisuuden tulisi mansikkatuotteidensa tuotekehityksessä kiinnittää huomiota erityisesti linaloli- ja nerolidolipitoisuuksien kasvattamiseen. Mansikoiden terpenoidipitoisuuksia voidaan kasvattaa uusia lajikkeita kehittämällä, varastointiolosuhteilla ja tuotteiden prosessoinnilla.

LÄHTEET

- Abdelwahab SI, Mariod AA, Taha MME, Zaman FQ, Abdelmageed AHA, Khamis S, Sivasothy Y, Awang K. Chemical composition and antioxidant properties of the essential oil of *Cinnamomum altissimum* Kosterm. (Lauraceae). *Arabian Journal of Chemistry* 2017;10:131-135.
- Aharoni A, Giri AP, Verstappen FWA, Berteau CM, Sevenier R, Sun Z, Jongsma MA, Schwab W, Bouwmeester HJ. Gain and loss of fruit flavor compounds produced by wild and cultivated strawberry species. *Plant Cell* 2004;16:3110.

- Aharoni A, Jongsma MA, Bouwmeester HJ. Volatile science? Metabolic engineering of terpenoids in plants. *Trends Plant Sci* 2005;10:594-602.
- Alarcón M, Fuentes E, Olate N, Navarrete S, Carrasco G, Palomo I. Strawberry extract presents antiplatelet activity by inhibition of inflammatory mediator of atherosclerosis (sP-selectin, sCD40L, RANTES, and IL-1) and thrombus formation. *Platelets* 2015;26:224-229.
- Alvarez-Suarez JM, Giampieri F, Tulipani S, Casoli T, Di Stefano G, González-Paramás AM, Santos-Buelga C, Busco F, Quiles JL, Cordero MD, Bompadre S, Mezzetti B, Battino M. One-month strawberry-rich anthocyanin supplementation ameliorates cardiovascular risk, oxidative stress markers and platelet activation in humans. *J Nutr Biochem* 2014;25:289-294.
- Augustin JM, Kuzina V, Andersen SB, Bak S. Molecular activities, biosynthesis and evolution of triterpenoid saponins. *Phytochemistry* 2011;72:435-457.
- Bermejo-Prada A, Vega E, Pérez-Mateos M, Otero L. Effect of hyperbaric storage at room temperature on the volatile profile of strawberry juice. *LWT - Food Science and Technology* 2015;62:906-914.
- Bood KG, Zabetakis I. The Biosynthesis of Strawberry Flavor (II): Biosynthetic and Molecular Biology Studies. *J Food Sci* 2002;67:2-8.
- Caputi L, Aprea E. Use of terpenoids as natural flavouring compounds in food industry. *Recent Pat Food Nutr Agric* 2011;3:9-16.
- Carson CF, Riley TV. Antimicrobial activity of the major components of the essential oil of *Melaleuca alternifolia*. *Journal of Applied Bacteriology* 1995; 78(3): 264–269. *Journal of Applied Bacteriology* 1995;78:264–269.
- Chan W, Tan L, Chan K, Lee L, Goh B. Nerolidol: A Sesquiterpene Alcohol with Multi-Faceted Pharmacological and Biological Activities. *Molecules* 2016;21:529
- Cho KS, Lim Y, Lee K, Lee J, Lee JH, Lee I. Terpenes from Forests and Human Health. *Toxicological Research* 2017;33:97-106
- Crowe JH, Crowe LM, Carpenter JF. Preserving Dry Biomaterials: The Water Replacement Hypothesis, Part 1. *BioPharm* 1993;6:28.
- Da Silva Pinto M, De Carvalho JE, Lajolo FM, Genovese MI, Shetty K. Evaluation of antiproliferative, anti-type 2 diabetes, and antihypertension potentials of ellagitannins from strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch.) using in vitro models. *Journal of Medicinal Food* 2010;13:1027.
- Da Silva Pinto M, Kwon Y, Apostolidis E, Lajolo FM, Genovese MI, Shetty K. Functionality of bioactive compounds in Brazilian strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivars: evaluation of hyperglycemia and hypertension potential using in vitro models. *J Agric Food Chem* 2008;56:4386.

- Dambolena JS, Zunino MP, Herrera JM, Pizzolitto RP, Arec VA, Zygadlo JA. Terpenes: natural products for controlling insects of importance to human health--a structure-activity relationship study. *Psyche* (Cambridge, 1874) 2016;2016:.
- Del Rio D, Rodriguez-Mateos A, Spencer JPE, Tognolini M, Borges G, Crozier A. Dietary (Poly)phenolics in Human Health: Structures, Bioavailability, and Evidence of Protective Effects Against Chronic Diseases. *Antioxidants & Redox Signaling* 2013;18:1818-1892.
- Di Cesare LF, Forni E, Viscardi D, Nani RC. Changes in the chemical composition of basil caused by different drying procedures. *J Agric Food Chem* 2003;51:3575.
- Dobutovic B. Nitric Oxide and its Role in Cardiovascular Diseases. *The Open Nitric Oxide Journal* 2011;3:65-71.
- Draženka K, Leo G, Karin KG, Tomislav L. Study of Trehalose Addition on Aroma Retention in Dehydrated Strawberry Puree. *Food Technology and Biotechnology* 2003;41:111-119.
- Du X, Plotto A, Baldwin E, Rouseff R. Evaluation of volatiles from two subtropical strawberry cultivars using GC-olfactometry, GC-MS odor activity values, and sensory analysis. *J Agric Food Chem* 2011;59:12569.
- Duarte A, Luís Â, Oleastro M, Domingues FC. Antioxidant properties of coriander essential oil and linalool and their potential to control *Campylobacter* spp. *Food Control* 2016;61:115-122.
- Dubey V, Bhalla R, Luthra R. An overview of the non-mevalonate pathway for terpenoid biosynthesis in plants. *J Biosci* 2003;28:637-646.
- Edirisinghe I, Banaszewski K, Cappozzo J, Sandhya K, Ellis CL, Tadapaneni R, Kappagoda CT, Burton-freeman BM. Strawberry anthocyanin and its association with postprandial inflammation and insulin. *Br J Nutr* 2011;106:913-922.
- Edirisinghe I, Burton-Freeman B, Varelis P, Kappagoda T. Strawberry extract caused endothelium-dependent relaxation through the activation of PI3 kinase/Akt. *J Agric Food Chem* 2008;56:9383.
- Eisenreich W, Matthias S, Alain C, Duilio A, Meinhart H Z, Adelbert B. The deoxyxylulose phosphate pathway of terpenoid biosynthesis in plants and microorganisms. *Chem Biol* 1998;5:R233.
- El-Said A, Khalifa S, Goransson U, Bohlin L, Borg-Karlson A, Verpoorte R. Biosynthesis, Natural Sources, Dietary Intake, Pharmacokinetic Properties, and Biological Activities of Hydroxycinnamic Acids. *J Agric Food Chem* 2012;60:10877-10895.
- Firn R. *Nature's chemicals. The natural products that shaped our world.* New York, NY: Oxford University Press 2009.
- Fortney FC, Kalt W, Jordan MA. The Composition of Strawberry Aroma Is Influenced by Cultivar, Maturity, and Storage. *HortScience* 2000;36:1022-1026.

- Frombaum M, Le Clanche S, Bonnefont - Rousselot D, Borderie D. Antioxidant effects of resveratrol and other stilbene derivatives on oxidative stress and NO bioavailability: Potential benefits to cardiovascular diseases. *Biochimie* 2012;94:269.
- Fu X, Cheng S, Zhang Y, Du B, Feng C, Zhou Y, Mei X, Jiang Y, Duan X, Yang Z. Differential responses of four biosynthetic pathways of aroma compounds in postharvest strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) under interaction of light and temperature. *Food Chem* 2017;221:356-364.
- Fukuhara K, Li XX, Okamura M, Nakahara K, Hayata Y. Evaluation of odorants contributing to 'Toyonoka' strawberry aroma in extracts using an adsorptive column and aroma dilution analysis. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 2005;74:300-305.
- García-Reyes R, Narváez-Cuenca C. The effect of pasteurization on the quality of frozen arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) pulp. *J Food Qual* 2010;33:632-645.
- Garcia-Palazon A, Suthanthangjai W, Kajda P, Zabetakis I. The effects of high hydrostatic pressure on β -glucosidase, peroxidase and polyphenoloxidase in red raspberry (*Rubus idaeus*) and strawberry (*Fragaria × ananassa*). *Food Chem* 2004;88:7-10.
- Ghasemi Pirbalouti A, Mahdad E, Craker L. Effects of drying methods on qualitative and quantitative properties of essential oil of two basil landraces. *Food Chem* 2013;141:2440-2449.
- Giampieri F, Alvarez-Suarez JM, Battino M. Strawberry and human health: effects beyond antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 2014;62:3867.
- Gonçalves GAS, Resende NS, Carvalho EEN, De Resende JV, Vilas Boas, Eduardo V De B. Physicochemical and volatile profile alterations in pasteurized and frozen strawberry pulp during storage. *J Food Process Preserv* 2018;42:n/a.
- Gutiérrez-Del-Río I, Fernández J, Lombó F. Plant nutraceuticals as antimicrobial agents in food preservation: terpenoids, polyphenols and thiols. *Int J Antimicrob Agents* 2018;.
- Heber D. Multitargeted therapy of cancer by ellagitannins. *Cancer Lett* 2008;269:262-268.
- Henry C, Massey D. Issues Paper 5, Micro-nutrient changes during food processing and storage. *Crop Postharvest Programme* 2001;.
- Heo HJ, Lee CY. Strawberry and its anthocyanins reduce oxidative stress-induced apoptosis in PC12 cells. *J Agric Food Chem* 2005;53:1984.
- Hollman P, Cassidy A, Comte B, Heinonen M, Richelle M, Richling E, Serafini M, Scalbert A, Sies H, Vidry S. The Biological Relevance of Direct Antioxidant Effects of Polyphenols for Cardiovascular Health in Humans Is Not Established. *J Nutr* 2011;141:1009S
- Huo M, Cui X, Xue J, Chi G, Gao R, Deng X, Guan S, Wei J, Soromou LW, Feng H, Wang D. Anti-inflammatory effects of linalool in RAW 264.7 macrophages and lipopolysaccharide-induced lung injury model. *J Surg Res* 2012;180:.

- Hyvärinen, H. 2001, Kasviperäiset biomolekyylit – fenoliset yhdisteet ja terpeenit, MTT, Jokioinen.
- Kennedy DO. Plants and human brain. New York, NY: Oxford University Press 2014.
- Kessler A, Heil M. The multiple faces of indirect defences and their agents of natural selection. *Funct Ecol* 2011;25:348-357.
- Kessler A, Baldwin IT. Defensive Function of Herbivore-Induced Plant Volatile Emissions in Nature. *Science* 2001;291:2141-2144.
- Knudsen JT, Eriksson R, Gershenzon J, Ståhl B. Diversity and distribution of floral scent. *The Botanical Review* 2006;72:.
- Kubo I, Muroi H, Himejima M. Antibacterial activity against *Streptococcus mutans* of mate tea flavor components. *J Agric Food Chem* 1993;41:107-111.
- Larsen M, Watkins CB. Firmness and concentrations of acetaldehyde, ethyl acetate and ethanol in strawberries stored in controlled and modified atmospheres. *Postharvest Biol Technol* 1995;5:39-50.
- Li X, Yang Y, Li Y,-Sang, Zhang WK, Tang H. α -Pinene, linalool, and 1-octanol contribute to the topical anti-inflammatory and analgesic activities of frankincense by inhibiting COX-2. *J Ethnopharmacol* 2016;179:22-26.
- Li Y, Lv O, Zhou F, Li Q, Wu Z, Zheng Y. Linalool Inhibits LPS-Induced Inflammation in BV2 Microglia Cells by Activating Nrf2. 2015;.
- Lichtenthaler HK. The 1-deoxy-d-xylulose-5-phosphate pathway of isoprenoid biosynthesis in plants. *Annual Review of Plant Biology* 1999;50:47-65.
- Liu RH. Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. *Am J Clin Nutr* 2003;78:517S.
- Ma J, Xu H, Wu J, Qu C, Sun, Fenglin, Xu, Shidong. Linalool inhibits cigarette smoke-induced lung inflammation by inhibiting NF- κ B activation. *Int Immunopharmacol* 2015;29:708-713.
- Maarse H. Volatile Compounds in Foods and Beverages. New York: Marcel Dekker 1991.
- Markesbery WR. The Role of Oxidative Stress in Alzheimer Disease. *Arch Neurol* 1999;56:1449-1452.
- Martin D, Tholl D, Gershenzon J, Jorg B. Methyl jasmonate induces traumatic resin ducts, terpenoid resin biosynthesis, and terpenoid accumulation in developing xylem of Norway spruce stems (1). *Plant Physiol* 2002;129:1003.
- McDougall GJ, Shpiro F, Dobson P, Smith P, Blake A, Stewart D. Different polyphenolic components of soft fruits inhibit alpha-amylase and alpha-glucosidase. *J Agric Food Chem* 2005;53:2760.

- Miszczak A, Forney CF, Prange RK. Development of aroma volatiles and color during postharvest ripening of 'Kent' strawberries. *American Society for Horticultural Science* 1995;650-655.
- Morrow GW. *Bioorganic synthesis: An introduction*. New York, NY: Oxford University Press 2016.
- Newman JD, Chappell J. Isoprenoid biosynthesis in plants: carbon partitioning within the cytoplasmic pathway. *Crit Rev Biochem Mol Biol* 1999;34:95-106.
- Nishida N, Tamotsu S, Nagata N, Saito C, Sakai A. Allelopathic Effects of Volatile Monoterpenoids Produced by *Salvia leucophylla* : Inhibition of Cell Proliferation and DNA Synthesis in the Root Apical Meristem of *Brassica campestris* Seedlings. *J Chem Ecol* 2005;31:1187-1203.
- Nogueira Neto J, Almeida A, Silva Oliveira J, Santos P, Sousa D, Freitas R. Antioxidant Effects of Nerolidol in Mice Hippocampus After Open Field Test. *Neurochem Res* 2013;38:1861-1870.
- Olsson ME, Andersson CS, Oredsson S, Berglund RH, Gustavsson K. Antioxidant levels and inhibition of cancer cell proliferation in vitro by extracts from organically and conventionally cultivated strawberries. *J Agric Food Chem* 2006;54:1248-1255.
- Parelman MA, Storms DH, Kirschke CP, Huang L, Zunino SJ. Dietary strawberry powder reduces blood glucose concentrations in obese and lean C57BL/6 mice, and selectively lowers plasma C-reactive protein in lean mice. *Br J Nutr* 2012;108:1789.
- Park B, Tsunetsugu Y, Kasetani T, Kagawa T, Miyazaki Y. The physiological effects of Shinrin-yoku (taking in the forest atmosphere or forest bathing): evidence from field experiments in 24 forests across Japan. *Environmental Health and Preventive Medicine* 2010;15:18-26.
- Pasha I, Saeed F, Sultan MT, Khan MR, Rohi M. Recent Developments in Minimal Processing: A Tool to Retain Nutritional Quality of Food. *Crit Rev Food Sci Nutr* 2014;54:340-351.
- Perez A, Rios J, Sanz C, Olias J. Aroma components and free amino acid in strawberry variety Chandler during ripening. *J Agric Food Chem* 1992;40:2232-2235.
- Pripdeevech P, Chumpolsri W, Suttiarporn P, Wongpornchai S. The chemical composition and antioxidant activities of basil from Thailand using retention indices and comprehensive two-dimensional gas chromatography. *Journal of the Serbian Chemical Society* 2010;75:1503-1513.
- Pubchem. (2018). Linalool <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Linalool> (luettu 14.6. 2018).
- Pubchem. (2018). Nerolidol. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/nerolidol> (luettu 14.6. 2018).
- Raghavan B, Rao LJ, Singh M, Abraham KO. Effect of drying methods on the flavour quality of marjoram (*Oreganum majorana* L.). *Nahrung* 1997;41:159-161.

- Raguso RA. Wake Up and Smell the Roses: The Ecology and Evolution of Floral Scent. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 2008;39:549-569.
- Rao LJ, Singh M, Raghavan B, Abraham KO. Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.): impact of drying on its flavor quality. *J Food Qual* 1998;21:107-115.
- Sanjay Guleria, A. K. Tiku, Apurva Koul, Sahil Gupta, Gurjinder Singh, V. K. Razdan. Antioxidant and Antimicrobial Properties of the Essential Oil and Extracts of *Zanthoxylum alatum* Grown in North-Western Himalaya. *The Scientific World Journal* 2013;2013:.
- Schiestl FP. The evolution of floral scent and insect chemical communication. *Ecology Letters* 2010;13:643-656.
- Seo SC, Park SJ, Park C-, Yoon W-, Choung JT, Yoo Y. Clinical and immunological effects of a forest trip in children with asthma and atopic dermatitis. *Iranian Journal of Allergy, Asthma and Immunology* 2015;14:28-36.
- Seol G, Kang P, Lee HS, Seol GH. Antioxidant activity of linalool in patients with carpal tunnel syndrome. *BMC Neurology* 2016;16:.
- Shamaila M, Durance T, Girand B. Water Blanching Effects on Headspace Volatiles and Sensory Attributes of Carrots. *J Food Sci* 1996;61:1191-1195.
- Shi N, Clinton S, Liu Z, Wang Y, Riedl K, Schwartz S, Zhang X, Pan Z, Chen T. Strawberry Phytochemicals Inhibit Azoxymethane/Dextran Sodium Sulfate-Induced Colorectal Carcinogenesis in Crj: CD-1 Mice. *Nutrients* 2015;7:1696-1715.
- Song CR, Ikei H, Miyazaki Y. Physiological Effects of Nature Therapy: A Review of the Research in Japan. *International Journal Of Environmental Research And Public Health* 2016;13:.
- Sparg SG, Light ME, van Staden J. Biological activities and distribution of plant saponins. *J Ethnopharmacol* 2004;94:219-243.
- Statista. (2016). Global production of fruit by variety 2016. <https://www.statista.com/statistics/264001/worldwide-production-of-fruit-by-variety/> (luettu 14.7.2018).
- Steele CL, Katoh S, Bohlmann J, Croteau R. Regulation of oleoresinosis in grand fir (*Abies grandis*). Differential transcriptional control of monoterpene, sesquiterpene, and diterpene synthase genes in response to wounding. *Plant Physiol* 1998;116:1497.
- Theis N, Lerda M. The Evolution of Function in Plant Secondary Metabolites. *Int J Plant Sci* 2003;164:S102.
- Tsunetsugu Y, Park B, Miyazaki Y. Trends in research related to “Shinrin-yoku” (taking in the forest atmosphere or forest bathing) in Japan. *Environmental Health and Preventive Medicine* 2010;15:27-37.

- Tulipani S, Alvarez-Suarez JM, Busco F, Bompadre S, Quiles JL, Mezzetti B, Battino M. Strawberry consumption improves plasma antioxidant status and erythrocyte resistance to oxidative haemolysis in humans. *Food Chem* 2011;128:180-186.
- Tulipani S, Armeni T, Giampieri F, Alvarez-Suarez JM, Gonzalez-Paramás AM, Santos-Buelga C, Busco F, Principato G, Bompadre S, Quiles JL, Mezzetti B, Battino M. Strawberry intake increases blood fluid, erythrocyte and mononuclear cell defenses against oxidative challenge. *Food Chem* 2014;156:87-93.
- Ubeda C, San-Juan F, Concejero B, Callejón RM, Troncoso AM, Morales ML, Ferreira V, Hernández-Orte P. Glycosidically bound aroma compounds and impact odorants of four strawberry varieties. *J Agric Food Chem* 2012;60:6095.
- Ulrich D, Komes D, Olbricht K, Hoberg E. Diversity of aroma patterns in wild and cultivated *Fragaria* accessions. *Genet Resour Crop Evol* 2007;54:1185-1196.
- Van de Poel B, Vandendriessche T, Hertog, Maarten L A T M, Nicolai BM, Geeraerd A. Detached ripening of non-climacteric strawberry impairs aroma profile and fruit quality. *Postharvest Biol Technol* 2014;95:70-80.
- Wattenberg LW. Inhibition of azoxymethane-induced neoplasia of the large bowel by 3-hydroxy-3,7,11-trimethyl-1,6,10-dodecatriene (nerolidol). *Carcinogenesis* 1991;12:151.
- Yang D, Liang J, Xie H, Wei X. Norsesquiterpenoids and triterpenoids from strawberry cv. Falandi. *Food Chem* 2016;203:67-72.
- Yu F, Utsumi R. Diversity, regulation, and genetic manipulation of plant mono- and sesquiterpenoid biosynthesis. *Cellular and Molecular Life Sciences* 2009;66:3043-3052.
- Zabetakis I, Holden MA. Strawberry Flavour: Analysis and Biosynthesis. *J Sci Food Agric* 1997;74:421-434.
- Zabetakis I, Koulentianos A, Orruño E, Boyes I. The effect of high hydrostatic pressure on strawberry flavour compounds. *Food Chem* 2000;71:51-55.
- Zhu Q, Nakagawa T, Kishikawa A, Ohnuki K, Shimizu K. In vitro bioactivities and phytochemical profile of various parts of the strawberry (*Fragaria × ananassa* var. Amaou). *Journal of Functional Foods* 2015;13:38-49.
- Zwenger S, Chhandak B. Plant terpenoids: applications and future potentials. *Biotechnology and Molecular Biology Reviews* 2008;.