

ISSN 0355-1180

HELSINGIN YLIOPISTO

Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos

EKT-sarja 1593

**LÄMPÖKÄSITTELYN VAIKUTUS VIHANNESTEN VÄRIIN JA
RAKENTEeseen**

Ella Mustanoja

Helsinki 2013



Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Maatalous-metsätieteellinen		Laitos/Institution– Department Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos	
Tekijä/Författare – Author Ella Mustanoja			
Työn nimi / Arbetets titel – Title Lämpökäsittelyn vaikutus vihannesten väriin ja rakenteeseen			
Oppiaine /Läroämne – Subject Elintarviketeknologia (yleinen elintarviketeknologia)			
Työn laji/Arbetets art – Level Maisterintutkielma		Aika/Datum – Month and year Toukokuu 2013	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 64
Tiivistelmä/Referat – Abstract Tutkielman kirjallisuusosassa perehdyttiin värikkäisiin vihanneksiin ja yleisimpiin vihanneksissa esiintyviin väriaineisiin, joita ovat karotenoidit, antosyaanit, betalaiinit ja klorofylli. Lisäksi selvitettiin miten lämpökäsittelyt vaikuttavat näihin väriaineisiin ja vihannesten rakenteeseen. Kokeellisen työn tavoitteena oli selvittää miten lämpökäsittelyt vaikuttavat eriväristen porkkanoiden ja punajuurien väriin, väriaineisiin ja rakenteeseen. Näytteinä oli seitsemän porkkanalajiketta ja neljä punajuurilajiketta. Näytteille tehty lämpökäsittelyt olivat ryöppäys, keitto ja höyrytys. Tutkituista porkkananäytteistä tavallinen oranssi porkkana ja violetti Purple Haze -lajike olivat karotenoidipitoisimmat. Karotenoidipitoisuudet olivat suurempia käsitellyissä näytteissä kuin tuoreissa näytteissä. Tutkituista porkkananäytteistä vain violetti Purple Haze -lajike sisälsi antosyaaneja. Antosyaanit ovat hyvin herkkiä pH:n muutoksille, ja keitto happamassa keitinvedessä säilyttikin antosyaaneja paremmin verrattuna vedessä keittämiseen. Punajuurilajikkeista punajuuri sisälsi eniten betalaiineja ja ero muiden juurikkaiden väriainepitoisuuksiin oli huomattava. Betalaiinien hajoaminen lämpökäsittelyn vaikutuksesta oli havaittavissa punajuurilajikkeiden betalaiinipitoisuuksissa ja värissä. Lämpökäsittely pehmensi vihannesten rakennetta. Lämpökäsittely parantaa väriaineiden uuttumista vihannesten rakenteista, mikä todettiin väriainepitoisuuksien kasvuna. Näin kypsennetyissä vihanneksissa väriaineiden käytettävyys ihmisravinnossa paranee. Vasta pitkät lämpökäsittelyt aiheuttavat karotenoidien ja antosyaanien hajoamista siinä määrin, että vihannesten ravitsemuksellinen laatu laskee.			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords porkkana, punajuuri, lämpökäsittely, rakenne, karotenoidit, betalaiinit, antosyaanit			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsingin yliopiston digitaalinen arkisto, Helda			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information EKT-sarja 1593			



Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos/Institution– Department Department of Food and Environmental Sciences	
Tekijä/Författare – Author Ella Mustanoja			
Työn nimi / Arbetets titel – Title Effect of heat treatment on vegetable colour and texture			
Oppiaine /Läroämne – Subject Food Technology (General Food Technology)			
Työn laji/Arbetets art – Level M. Sc. Thesis		Aika/Datum – Month and year May 2013	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 64
Tiivistelmä/Referat – Abstract <p>The literature review was concerned with colourful vegetables and the most common pigments in vegetables: carotenoids, anthocyanins, betalains and chlorophyll. In addition, how thermal treatments affect these pigments and the structure of vegetable was reviewed.</p> <p>The aim of the experimental work was to investigate the effect of thermal treatments on the colour, pigments and texture of carrots and beet-roots. Seven coloured carrot cultivars and four coloured beet-root cultivars were examined. Three different kinds of thermal treatments were applied to the samples: blanching, boiling and steaming. Orange and purple carrots contained the highest amounts of carotenoids. The total carotenoid content of the carrots increased due to the thermal treatments. Purple carrots were the only carrots which contained anthocyanins. Anthocyanin stability is pH dependent: boiling in slightly acidic water had a minor impact on anthocyanin content than boiling in pure water. Red beet was the most betalain-rich beet-root. Other cultivars contained remarkably less betalains. Betalain content decreased due to the thermal treatments. Betalain degradation due to the thermal treatments was detected as the pigment content and colour changed. Thermal treatments softened the vegetable structure.</p> <p>Thermal treatment improves the extraction of the pigments from the vegetable structure, which was detected as the increase in pigment concentration, leading to an enhancement of bioavailability of pigments. However, long thermal treatments cause pigment degradation and reduce the nutritional value of the vegetables.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Carrot, beet-root, heat treatment, texture, carotenoids, betalains, anthocyanins			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited The Digital Repository of University of Helsinki, Helda			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information EKT Series 1593			

ESIPUHE

Tämän maisterintutkielman aihe on saatu Satafood Kehittämisyhdistys ry:ltä. Tutkielma liittyy Avomaan vihannestuotannon monipuolistaminen uusilla lajeilla ja lajikkeilla -hankkeeseen. Maisterintutkielman valvojana toimi Kirsi Jouppila ja ohjausryhmän jäseninä Kirsi Jouppila, Marina Heinonen, Seppo Tenitz, Jaana Laurila ja Marketta Saastamoinen. Kiitän ohjausryhmän jäseniä ja laboratoriotyöskentelyssä minua ohjanneita laitoksen työntekijöitä.

Helsingissä toukokuun 20. päivänä 2013

Ella Mustanoja

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ESIPUHE

1	JOHDANTO	7
2	KIRJALLISUUSKATSAUS	9
2.1	Värikkäät vihannekset	9
2.1.1	Tomaatti	9
2.1.2	Pavut	9
2.1.3	Mangoldi	10
2.1.4	Kukkakaali	10
2.1.5	Porkkana	11
2.1.6	Punajuuret	12
2.2	Vihannesten väriyhdisteet	13
2.2.1	Karotenoidit	13
	Kemiallinen rakenne ja analytiikka	13
	Merkitys elintarvikkeissa	14
2.2.2	Antosyaanit	15
	Kemiallinen rakenne ja analytiikka	15
	Merkitys elintarvikkeissa	17
2.2.3	Betalaiinit	18
	Kemiallinen rakenne ja analytiikka	18
	Merkitys elintarvikkeissa	19
2.2.4	Klorofylli	19
	Kemiallinen rakenne ja analytiikka	19
	Merkitys elintarvikkeissa	20
2.3	Lämpökäsittelyn vaikutus vihannesten väriin ja rakenteeseen	21
2.3.1	Väriaineet	21
	Karotenoidit	21
	Antosyaanit	22
	Betalaiini	23
	Klorofylli	24
2.3.2	Rakenne	25
3	KOKEELLINEN TUTKIMUS	27
3.1	Materiaalit ja menetelmät	27
3.2	Tulokset	33
3.2.1	Juuresten kuiva-ainepitoisuus	33
3.2.2	Juuresten väri	33
3.2.3	Karotenoidipitoisuus	39
3.2.4	Antosyaanipitoisuus	40
3.2.5	Betalaiinipitoisuus	41

3.2.6	Rakenne	42
3.3	Pohdinta	44
3.3.1	Väri	44
3.3.2	Väriainepitoisuudet	44
3.3.3	Rakenne	46
4	PÄÄTELMÄT	47
	LÄHTEET	49
	LIITTEET	52
	Liite 1. Varianssianalyysien tulokset	

1 JOHDANTO

Kotimainen vihannestuotanto on elänyt muutosten aikaa Suomen EU-jäsenyyden myötä. Suomessa tuotettujen vihannesten lisäksi tuontivihannekset takaavat lähes ympärivuotisen saatavuuden. Myös eksoottisempien kasvien tuonti on lisääntynyt. Suomessa vallitsevat viljelyolosuhteet kuitenkin mahdollistavat viljelyn vain lyhyenä kasvukautena. Suomalaisten vihannesviljelijöiden kilpailukyvyyn parantamiseksi tuleekin tehdä työtä, ja uusien erikoisempien kasvien viljely ja tuominen markkinoille voisi olla yksi osa ratkaisua.

Erään määritelmän mukaan vihanneksia ovat ”kaikki ne puutarha- ja peltoviljelyssä saatavat kasvintuotteet – hedelmiä ja viljaa lukuun ottamatta – (lehtiä, silmuja, juuria mukuloita, sipuleita, varsia, versoja, kukkia, hedelmiä, siemeniä tai sieniä), jotka käytetään kokonaisuutena ilman, että niistä käytetään hyödyksi vain jokin määrätty rakenneos (esim. sokerijuurikkaan sokeri) ja joita käytetään raakana, keitettynä, säilöttynä tai jollain muulla tavalla valmistettuna.” (Schuphan 1948, käänös Evers ym. 1984). Kasvikset on taas laajempi käsite, joka käsittää vihannesten lisäksi marjat ja hedelmät. Joidenkin määritelmien mukaan sienet kuuluvat vihanneksiin (Evers ym. 1984), mutta toisissa määritelmissä ne on jätetty pois (Kotimaiset Kasvikset ry a). Värikkäillä vihanneksilla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa vihanneslajeja, joita on saatavilla useampaa väriä. Vihanneksethan ovat yleisesti värikkäitä, kuten vihreä kurkku ja kuoreltaan punainen retiisi, mutta tässä termillä värikkäät vihannekset viitataan esimerkiksi porkkanaan, jota on saatavilla tavanomaisen oranssin lisäksi punaisena, keltaisena, valkoisena ja violetina.

Värikkäät vihannekset ovat markkinoilla myös haaste tavallisesta poikkeavan värinsä ansiosta. Elintarvikkeiden ulkonäkö ja väri vaikuttavat niiden hyväksyttävyyteen (Cardello 1996). Ensivaikutelma elintarvikkeesta saadaan juuri ulkonäön perusteella. Värit vaikuttavat myös siihen, miltä elintarvike maistuu. Erityisen suuri merkitys värillä on, kun väri poikkeaa totutusta. Tuotteen värin tulee olla sopiva ja hyväksyttävä (engl. appropriate). Usein poikkeava väri saatetaan arvioida virheeksi, ja väärä väri esimerkiksi haittaa maun tunnistamista. Tämä asettaakin haasteen uudenväristen tuotteiden markkinoinnille, sillä outoa väriä voidaan vältellä. Sopiva väri on kuitenkin kulttuurista riippuvainen, ja siihen kasvetaan (Cardello 1996). Lapsilla ei esimerkiksi ole vielä käsitystä siitä, miltä tietyn elintarvikkeen tulisi näyttää. Näin ollen kuluttajat voidaan kuitenkin totuttaa uudenslaisiin, hieman vieraampiinkin väreihin ja lajeihin.

Värikkäiden vihannesten kohdalla voidaankin pitää haasteena niiden värien sopivuutta. Kuluttajat ovat tottuneet länsimaissa oranssiin porkkanaan, joten muun värisiä porkkanoita voidaan vierastaa. Toisaalta uuden värisillä vihanneksilla saadaan helposti uusia ja mielenkiintoisia elintarvikkeita kuluttajille, jotka ehkä jopa vaativat uutuuksia. Surlesin ym. (2004) tutkimuksessa selvitettiin, pitävätkö kuluttajat värikkäistä porkkanoista ja vaikuttaako väri mielipiteeseen. Tutkimuksessa porkkanoita arvioitiin sokkona ja ei-sokkona. Tulokset erosivat toisistaan maun, makeuden ja yleisen hyväksyttävyyden kohdalla, mutta ei rapeuden suhteen. Kaikkien ominaisuuksien kohdalla kuluttajaneeli suosi oransseja ja valkoisia porkkanoita molemmissa testeissä, mutta yleisesti ottaen kaikkia porkkanoita, myös keltaisia, punaisia ja violetteja, pidettiin hyväksyttävänä. Yleisesti ottaen porkkanat arvioitiin miellyttävimmiksi, kun näytteet pystyttiin näkemään. Tutkimuksessa todettiin, että viljelijöiden tulisi rohkaistua ottamaan myös muita värikkäitä porkkanoita viljelykseen näin antaen lähteen A-vitamiinin esiasteelle ja fytokemikaaleille.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää kotitalouksissa tehtävien lämpökäsittelyiden eli keiton, höyrytyksen ja ryöppäyksen vaikutus vihannesten, etenkin värikkäiden vihannesten, väriin ja väriaineisiin sekä selvittää rakenteessa tapahtuvaa muutosta ja sen yhteyttä vihannesten väriin. Tiettyjen uudenväristen vihanneislajikkeiden, kuten violetin porkkanan ja pavun sekä raitajuuren, värissä tapahtuu muutoksia lämpökäsittelyjen seurauksena, mikä saattaa aiheuttaa kuluttajissa epävarmuutta vihanneksen käytössä. Tutkimuksessa haluttiin selvittää myös, voidaanko värikkäille kasviksille esittää ns. terveysväittämiä ja voidaanko tietynväristä vihannesta pitää terveellisempänä kuin muita lajikkeen värimuunnoksia.

Tutkielman kirjallisuusosassa perehdytään värikkäisiin vihanneksiin, joiden viljely on Suomessa mahdollista ja joita on myös saatavilla Suomessa. Osa vihanneksista on vain kotipuutarhaviljelyssä, mutta joitain lajikkeita on saatavilla kaupan vihanneksosastolta tai pakastevihanneksina. Kokeellisessa osiossa tutkittaviksi vihanneksiksi valittiin porkkana ja punajuuri. Nämä vihanneksilajit valittiin, koska ne ovat yleisimpiä Suomessa viljeltäviä juureksia, niillä on useita värimuunnoksia, joista joitakin on kaupallisessa viljelyssä, ja joiden eriväristen lajikkeiden siemenet kuuluvat kotipuutarhureillekin suunnattuihin siemenvalikoimiin. Lisäksi erityisen kiinnostuksen kohteena olivat violetti porkkana ja raitajuuri, joiden väreissä tapahtuu keitettäessä selviä muutoksia: violetin porkkanan väri muuttuu violetista rusehtavaksi ja raitajuuren raitaisuus häviää jopa kokonaan.

Kirjallisuustutkimuksessa haluttiin myös selvittää näiden värimuutosten syitä ja mahdollisuuksia estää muutosten syntyminen.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Värikkäät vihannekset

2.1.1 Tomaatti

Tomaatti (*Lycopersicon esculentum*) on todennäköisesti peräisin Perun Andeilta, ja Eurooppaan sen toi Kolumbus 1400-luvun lopulla (Voipio 2001). Tutun ja paljon käytetyn punaisen tomaatin rinnalla on väriltään keltaisia, oransseja, mustia, valkoisia, vihreitä ja raidallisia lajikkeita. Lisäksi tomaattien muoto voi vaihdella: tavallisin tomaatti on pyöreä ja 6–8 cm halkaisijaltaan. Lisäksi on pieniä kirsikka-, mini- ja cocktailtomaatteja, suuria pihvitomaatteja, soikeita luumutomaatteja ja päärynänmuotoisia päärynätomaatteja. Kasvihuonetomaatin sato vuonna 2010 oli 39 miljoonaa kg (Jaakkonen 2011). Suomessa avomaalla voidaan viljellä vain joitakin hyvin aikaisia avomaantomaattilajikkeita (Voipio 2001).

Tomaatti on hyvä vitamiinien ja kivennäisaineiden lähde (Simonne ym. 2011). Lisäksi tomaateissa on paljon bioaktiivisia aineita, kuten karotenoideja ja fenolisia yhdisteitä. Lykopeeni on tärkein punaisen tomaatin karotenoideista, ja sitä on punaisissa tomaateissa myös määrällisesti eniten. Keltaiset tomaatit sisältävät karotenoideista lähinnä β -karoteenia ja luteiinia.

2.1.2 Pavut

Pavut ovat tärkeä osa ruokavaliota mm. aasialaisessa ja afrikkalaisessa ruokavaliossa, sillä ne ovat erinomaisia proteiinien ja hiilihydraattien lähteitä (Shahidi ja Naczk 2003). Tarhapapu (*Phaseolus vulgaris*) on ikivanha viljelyskasvi, joka on kotoisin Väli-Amerikasta (Voipio 2001). Eurooppaan tarhapapu tuotiin 1500-luvulla. Tarhapavun yksi viljelymuoto on pensaspapu (*Phaseolus vulgaris* var. *nanus*), jota viljellään myös Suomessa. Toinen viljelymuoto, salkopavut (*Phaseolus vulgaris* var. *vulgaris*) kasvavat jopa 2–3 m:n korkuisiksi, ja sitä kasvatetaan Suomessa lähinnä kotipuutarhoissa. Pensaspapujen sato Suomessa vuonna 2010 oli 36 000 kg (Jaakkonen 2011). Pensaspapuja on suuri määrä eri lajikkeita, ja ne eroavat toisistaan kasvutavan ja palon värin, pituuden ja poikkileikkauskuvion mukaan (Voipio 2001). Poikkileikkauskuvio pavuilla voi olla

pyöreä, soikea tai litteä. Litteäpalkoista lajiketta kutsutaan leikkopavuksi. Papuja on väriltään vihreitä, keltaisia ja violetteja. Violetti väri hajoaa keitetessä. Papujen väri johtuu yleisimmin flavonoidiglykosideista, tanniineista ja antosyaaneista (Shahidi ja Naczk 2003). Hempel ja Böhm (1996) totesivat tarhapapulajikkeiden välisten flavonoidipitoisuuksien vaihtelevan paljon. Eroa keltaisten ja vihreiden papujen flavonoidipitoisuuksien välillä ei ollut.

2.1.3 Mangoldi

Mangoldit eli lehtijuurikkaat (*Beta vulgaris* var. *cicla* ja *Beta vulgaris* var. *flavescens*) ovat ikivanhoja viljelykasveja, jotka ovat sokerijuurikkaan ja punajuuren muunnoksia. Mangoldissa on paksu lehtiruoti, jonka väri voi olla valkoinen, keltainen, oranssi, vaalean- tai purppuranpunainen, punainen tai kermanvalkoinen. Mangoldit voidaan jaotella lehti- ja ruotimangoldeihin: lehtimangoldista voidaan käyttää sekä lehdet että ruoti, ruotimangoldista vain ruoti (Kotimaiset Kasvikset ry b). Nuorta noin 10 cm:n pituista mangoldia voidaan käyttää salaateissa kypsentämättömänä, kun taas täysikasvuista kasvia käytetään kypsennettynä. Euroopassa ammattiviljelyssä mangoldia on hyvin vähän, ja Suomessa kaupallista viljelyä ei ole (Voipio 2001). Mangoldi on kuitenkin varteenotettava uusi viljelyskasvi, sillä se on helppo kasvatella ja on satoisa.

Väri punaisissa lehtiruodeissa johtuu pääasiassa betasyaanista, joka on betalaiini. Vihreät lehdet sisältävät merkittäviä määriä mm. A-, C- ja B-vitamiineja, rautaa, kalsiumia ja fosforia (Pyo ym. 2004). Pyo ym. (2004) tutkivat valko- ja punavartisten mangoldien antioksidanttiaktiivisuutta ja fenolisten yhdisteiden määrää lehdissä ja lehtiruodissa. Sekä antioksidanttiaktiivisuus että fenolien määrä oli suurempi lehdissä kuin varsissa. Fenolien määrä oli suurempi punavartisessa mangoldissa verrattuna valkovartiseen mangoldiin, mutta antioksidanttiaktiivisuudessa ei merkittävää eroa havaittu.

2.1.4 Kukkakaali

Valkoisen kukkakaalin (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) lisäksi markkinoilla on jo vihreitä, violetteja ja oransseja lajikkeita sekä vihreää suippokukintoista romanesku-lajiketta. Kukkakaalin sato vuonna 2010 oli 2 miljoonaa kg (Jaakkonen 2011).

Violetin kukkakaalin väri johtuu antosyaaneista (Lo Scalzo ym. 2008). Oranssin kukkakaalin väri johtuu karoteeneista ja ksantofylleista, pääasiassa β -karoteenista (Crisp

ym. 1975; Li ym. 2001). Vihreän kukkakaalin väri tulee klorofyllistä. Klorofyllin lisäksi vihreässä kukkakaalissa on myös β -karoteenia (Volden ym. 2009). Volden ym. (2009) tutkivat violetin, vihreän ja valkoisen kukkakaalin ominaisuuksia. Tutkimuksessa todettiin violetin kukkakaalin antioksidanttikapasiteetin olevan huomattavasti korkeampi verrattuna vihreisiin ja valkoisiin kukkakaaleihin. Pienin antioksidanttikapasiteetti oli valkoisilla kukkakaalilajikkeilla.

Kaalit ovat erinomaisia vitamiinien, kivennäisaineita ja ravintokuidun lähteitä (Walley ja Buchanan-Wollaston 2011). Kaaleissa on korkeita pitoisuuksia antioksidantteja, kuten C- ja E-vitamiineja ja karotenoideja. Lisäksi kaaleissa on A-, B₂-, B₆- ja K-vitamiineja ja foolihappoa. Kivennäisaineista tärkeimpiä ovat kalsium, kalium, rauta, sinkki ja seleeni. Lisäksi kaalit sisältävät fenoleja, etenkin flavonoideja.

2.1.5 Porkkana

Porkkana (*Daucus carota* subsp. *sativus*) on tärkein juures Suomessa, ja sitä syödään kaikista avomaalla viljellyistä vihanneksista eniten. Porkkanasato Suomessa vuonna 2010 oli 67 miljoonaa kg (Jaakkonen 2011). Euroopassa kasvatettavan oranssin porkkanan sijaan alkuperäiset porkkanalajikkeet ovat olleet violetteja ja keltaisia, ja ensimmäiset kuvaukset niistä ovat peräisin 900-luvulta (Arscott ja Tanumihardjo 2010). Oranssi porkkana jalostettiin vasta 1700-luvulla Alankomaissa ja samoihin aikoihin jalostettiin myös valkoiset ja punaiset lajikkeet. Oranssi porkkana on käytössä pääosin länsimaissa, mutta violetteja ja keltaisia porkkanoita käytetään etenkin Turkissa, Intiassa ja Kiinssaa ja punaisia porkkanoita etenkin Japanissa.

Porkkanoista saadaan hyvin vähän energiaa, ja niiden merkitys ruokavaliossa johtuukin karotenoideista ja antosyaaneista ja muista fenolisista yhdisteistä (Arscott ja Tanumihardjo 2004). Porkkanat ovat hyvin karotenoidipitoisia. Pääasiassa porkkanoista voidaan erottaa ja määrittää kuutta eri karotenoidia: α -, β -, γ -, ζ -karoteenia, β -zeakaroteenia ja lykopenia. Näistä karotenoideista α - ja β -karoteeni ovat A-vitamiinin esiasteita. Valkoiset ja keltaiset porkkanat sisältävät vähiten karotenoideja, mutta sisältävät kuitenkin vähäisiä määriä luteiinia. Luteiini on ksantofylli, ja aikaansaa myös ko. porkkanoiden vaaleankeltaisen tai keltaisen värin (Arscott ja Tanumihardjo 2004). Punaisen porkkanan väri johtuu lykopenista. Horvitzin ym. (2004) tutkimuksessa todettiin punaisen porkkanan lykopenin biologisen käytettävyyden olevan 44 % tomaattipyreen biologisesta käytettävyydestä, joten

sen katsottiin olevan hyvä vaihtoehtoinen lykopeenin lähde. Taulukkoon 1 on koottu porkkanoiden karotenoidi- ja vitamiinikoostumuksia. Antosyaanit ovat punaisen, violetin ja sinisen värisiä väriaineita, ja niistä johtuu violettien porkkanoiden väri. Violetilla porkkanalla (engl. purple carrot) tarkoitetaan porkkanaa, joka on pintakerroksiltaan violetti ja sisältä joko oranssi tai keltainen, yleensä oranssi. On olemassa myös kokonaan violetteja porkkanoita, joita nimitetään yleensä mustiksi porkkanoiksi (engl. black carrot). Ravintoainepitoisuudet vaihtelevat paljon lajikkeen, vuoden, kasvuolosuhteiden ja kypsyyden mukaan (Arscott ja Tanumihardjo 2004).

Taulukko 1. Eriväristen porkkanoiden C- ja E-vitamiini- ja karotenoidipitoisuudet.

Porkkanan väri	Pitoisuus						Karotenoidit yhteensä mg/100 g	Lähde
	C-vitamiini mg/100 g	E-vitamiini µg/100 g	α-karoteeni mg/100 g	β-karoteeni mg/100 g	Lykopeeni mg/100 g	Luteiini mg/100 g		
Oranssi	–	–	2,2±0,8	12,8±3,3	EH	0,3±0,08	15,2±4,1	1
Violetti, oranssi	–	–	4,1±1,2	12,3±5,1	EH	1,1±0,7	17,5±7,0	1
	2,5±0,001	625±9,4	EH	0,4±0,02	–	0,2±0,00	0,6±0,03	2
	4,7±0,00	383±55	EH	0,3±0,02	–	0,2±0,02	0,5±0,04	2
Punainen	–	–	0,1	3,4±0,9	6,1±0,6	0,3±0,3	9,8±1,4	1
Keltainen	–	–	0,1	0,2±0,2	EH	0,5±0,3	0,7±0,4	1
	1,7±0,01	593±44	EH	0,3±0,02	–	0,2±0,01	0,6±0,02	2
	5,3±0,12	456±14	EH	0,3±0,02	–	0,1±0,02	0,5±0,05	2
Valkoinen	–	–	EH	0,006±0,003	EH	0,009±0,0	0,01±0,001	1
	5,1±0,005	0,3±0,01	EH	EH	–	EH	EH	2
	4,7±0,2	0,2±0,008	EH	EH	–	EH	EH	2
Tumma oranssi	–	–	3,1±2,4	18,5±2,8	1,7±0,8	0,4±0,2	28,3±0,8	1
	5,8±0,02	703±17	7,6±0,6	17,2±0,6	–	0,1±0,01	26,5±1,4	2

– ei määritetty, EH ei havaittu

Lähteet: 1. Surlles ym. 2004, 2. Nicolle ym. 2004

2.1.6 Punajuuret

Punajuurilajikkeista (*Beta vulgaris* var. *crassa*) tunnetuin ja käytetyin on punajuuri. Punajuuren sato Suomessa vuonna 2010 oli 12 miljoonaa kg (Jaakkonen 2011). Perinteisen punajuuren rinnalle on tullut keltajuuri, raitajuuri ja valkojuuri. Punajuurilajikkeiden väriainekoostumukset poikkeavat toisistaan merkittävästi (Barański ym. 2001). Barański ym. (2001) totesivat, että punaiset lajikkeet sisälsivät eniten betaniinia, joka on punainen väriaine. Samat lajikkeet sisälsivät eniten myös vulgaksantiinia, joka on keltainen väriaine. Valkojuuressa ei havaittu kumpaakaan väriainetta, kun taas keltajuuressa havaittiin vulgaksantiinia, tosin huomattavasti vähemmän kuin punaisissa lajikkeissa. Raitajuuret sisälsivät molempia väriaineita merkittävästi vähemmän kuin punajuuret. Barański ym. (2001) eivät havainneet juurikaan vaihtelua lajikkeiden sokeripitoisuuksissa.

Nitraattipitoisuudet vaihtelivat hyvin paljon eri lajikkeiden välillä, eikä pelkästään eriväristen lajikkeiden välillä. Punajuuri on hyvä antioksidanttien lähde (Pihlanto 2011). Punajuuren betalaiineilla on todettu olevan korkea antiradikaali- ja antioksidanttiaktiivisuus. Punajuuresta on löydetty myös muita terveyttä edistäviä yhdisteitä, kuten fenoleita ja foolihappoa.

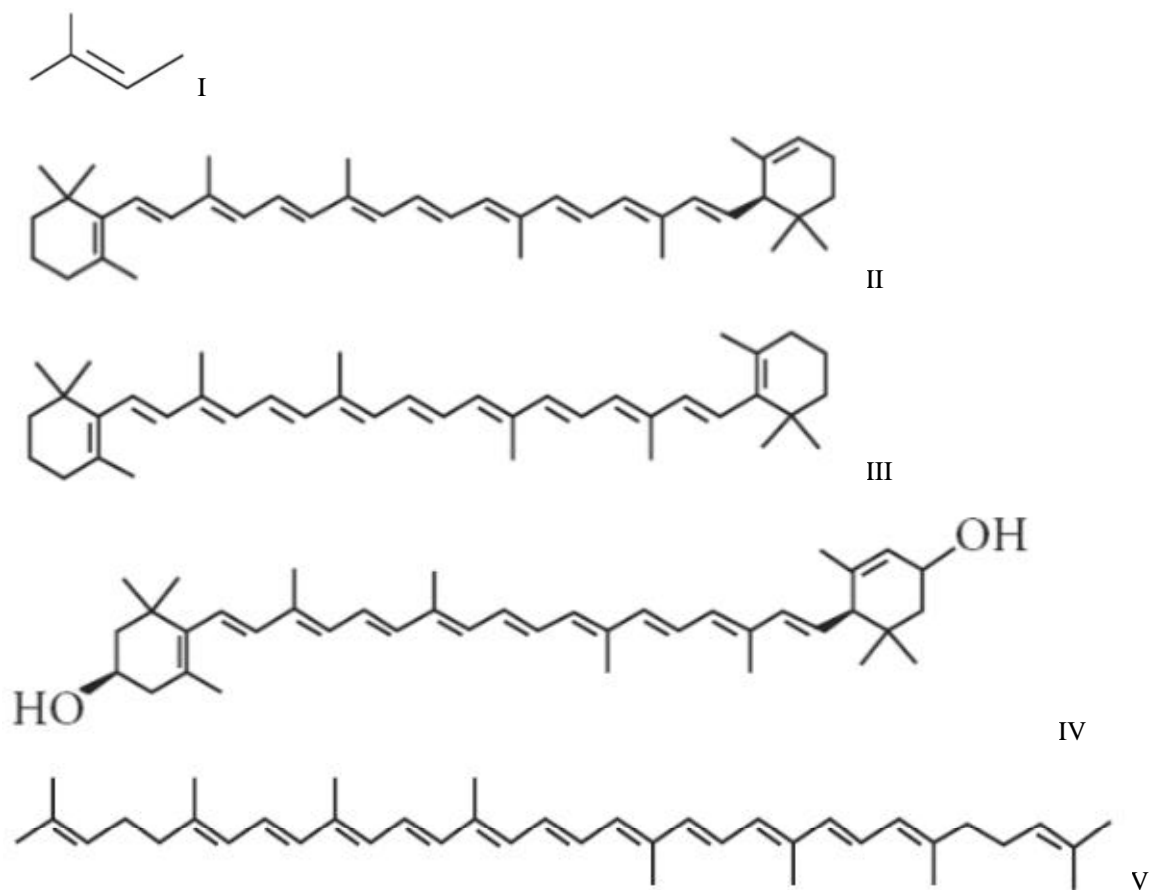
2.2 Vihannesten väriyhdisteet

2.2.1 Karotenoidit

Kemiallinen rakenne ja analytiikka

Karotenoideja on tunnistettu yli 560 rakenteeltaan erilaista yhdistettä. Ne ovat yleisimpiä luonnonväriaineita, ja niiden värit vaihtelevat keltaisesta punaiseen. Karotenoidit voidaan jakaa kahteen rakenteeltaan erilaiseen ryhmään: hiilivetykaroteenit ja hapettuneet ksantofyllit. Ksantofyllien johdannaiset sisältävät usein hydroksyyli-, epoksi-, aldehydi- tai ketoryhmiä. Myös hydroksyloitujen karotenoidien rasvahappoestereitä on löytynyt useita. Lisäksi *cis-trans*-isomerian ansiosta monet muut konfiguraatiot ovat mahdollisia (von Elbe ja Schwartz 1996).

Karotenoidien perusrakenne koostuu kovalenttisesti toisiinsa sitoutuneista isopreeniyksiköistä, jotka muodostavat symmetrisen molekyylin. Tämän molekyylin päissä voi olla syklisiä pääteryhmiä. Pääteryhmä voi olla molemmissa päissä, vain toisessa päässä tai syklistä pääteryhmää ei ole ollenkaan (von Elbe ja Schwartz 1996) (kuva 1).



Kuva 1. Isopreeni (I), alfa-karoteeni (II), beta-karoteeni (III), luteiini (IV) ja lykopeeni (V) (Ötles ja Çagindi 2008).

Karotenoidit ovat lipofiilisiä yhdisteitä ja siten liukoisia öljyihin ja orgaanisiin liuottimiin. Ne ovat kohtalaisen lämpöstabiileja mutta isomeroituvat helposti lämmölle, hapolle tai valolle altistettuina (von Elbe ja Schwartz 1996). Karotenoidien kvantitatiiviseen analytiikkaan voidaan käyttää spektrofotometriaa tai kromatografisia menetelmiä. Kokonaiskarotenoidipitoisuutta määritettäessä käytetään spektrofotometriaa ja yksittäisten karotenoidien pitoisuutta määritettäessä nestekromatografiaa (Mercadante 2008). Kvalitatiiviseen analytiikkaan käytetään kromatografisia menetelmiä.

Merkitys elintarvikkeissa

Karotenoidien E-koodi on E 160 ja E 161. E 160a on β -karoteeniväriaine. Sitä esiintyy luontaisesti useissa elintarvikkeissa, ja sitä voidaan uuttaa kasveista, mutta väriä valmistetaan kuitenkin usein keinotekoisesti. Sitä saa käyttää mm. juomiin, jälkiruokiin, jäätelöön, hilloihin, makeisiin, kahvileipiin, margariiniin, sinappiin, keittoihin ja kastikkeisiin. Värillä ei ole enimmäismäärärajoituksia, mutta ADI on 5 mg/kg/vrk. E 160d on kelta-oranssi väriaine lykopeenista. Se voidaan valmistaa uuttamalla tomaatista tai keinotekoisesti. Sitä saa käyttää mm. juomiin, jälkiruokiin, jäätelöön, hilloihin, makeisiin,

kahvileipiin, keittoihin ja kastikkeisiin. Värillä on enimmäismäärärajoituksia, mutta ADI-arvoa ei ole määritelty (Evira 2009).

Karotenoideilla on terveyttä ylläpitäviä ominaisuuksia, sillä osa karotenoideista on A-vitamiinin esiasteita ja toimivat antioksidanteina. Alle 10 % kaikista karotenoideista ovat A-vitamiinin esiasteita (Rock 1997). Karotenoideista α - ja β -karoteenit ja β -kryptoksantiini ovat tärkeimmät A-vitamiinin lähteet (Ross 2006). Karotenoidien biologinen käytettävyys riippuu elintarvikkeesta, henkilöstä ja karotenoidien fysikaalisesta tilasta. Esimerkiksi ravintokuidun, etenkin pektiinin, on todettu vähentävän karotenoidien biologista käytettävyyttä. A-vitamiini on merkityksellinen näkökyvyille, se osallistuu näköaistimuksen syntyyn hämärässä. Se on tärkeä myös solujen erikoistumiselle ja vastustuskyvyille. A-vitamiinin esiasteen lisäksi karotenoidit ovat merkityksellisiä terveydelle niiden antioksidanttiaktiivisuuden vuoksi. Karotenoidit pystyvät sitomaan vapaita happiradikaaleja. Ne muodostavat sekä radikaalikationeja että radikaalianioneja ja riippuen olosuhteista voivat toimia joko antioksidanteina ja pro-oksiantteina. Antioksidanttien vaikutusta terveyteen on tutkittu paljon, mutta tulokset ovat osin olleet ristiriitaisia. Luteiin ja zeaksantiinin merkitystä verkkokalvon rappeumaan on tutkittu, sillä ko. karotenoideja esiintyy verkkokalvon alueella. Tutkimuksissa on selvitetty myös karotenoidien saannin yhteyttä syövän ja sydän- ja verisuonitautien ehkäisyyn. Vihannesten kulutuksen on todettu vähentävän riskiä sairastua, mutta yhteys tiettyihin ravintoaineisiin ei ole ollut täysin vakuuttavaa.

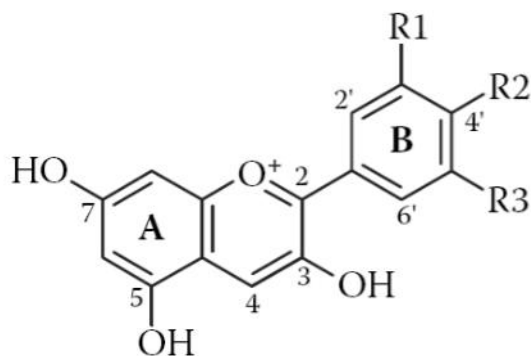
2.2.2 Antosyaanit

Kemiallinen rakenne ja analytiikka

Antosyaanit ovat fenolisia yhdisteitä ja yksi yleisimmistä kasviväriaineryhmistä. Antosyaaneja on purppuran, violetin, sinisen, magentan, punaisen ja oranssin väreissä (von Elbe ja Schwartz 1996). Yleisimpiä antosyaanien lähteitä ovat marjat, jotkin hedelmät ja viinirypäleet. Lisäksi joistakin vihanneksista on löydetty antosyaaneja. Tällaisia vihanneksia ovat mm. musta porkkana, munakoiso, punakaali, punasipuli ja punainen retiisi (Mercadante ja Bobbio 2008).

Antosyaaneja pidetään flavonoideina (fenolisten yhdisteiden alaryhmä), koska ne rakentuvat flavonoideille tyypillisen $C_6C_3C_6$ -ryhmän ympärille. Antosyaanien perusrakenteeseen kuuluu 2-feyylibentsoporyyliin flavyyliuola eli flavyylikationi (von

Elbe ja Schwartz 1996) (kuva 2). Antosyaanit esiintyvät flavyylikationin polyhydroksi- tai polymetoksi glukosideina eli antosyanidiini glukosideina. Ne eroavat toisistaan hydroksi- ja/tai metoksiyhmien määrässä ja sokerimolekyylien tyypissä, määrässä ja kiinnityskohdassa sekä sokerimolekyyliin kiinnittyneiden alifaattisten ja aromaattisten happojen tyypissä ja määrässä (von Elbe ja Schwartz 1996).



Antosyanidiini	Substituutio ryhmät		
	R1	R2	R3
Pelargonidiini (plg)	H	OH	H
Syanidiini (cyd)	OH	OH	H
Delfinidiini (dpd)	OH	OH	OH
Peonidiini (pnd)	OCH ₃	OH	H
Petunidiini (ptd)	OCH ₃	OH	OH
Malvidiini (mvd)	OCH ₃	OH	OCH ₃

Kuva 2. Flavyylikationin perusrakenne (Ötles ja Çagindi 2008) ja antosyanidiinien rakenteita (Mercadante ja Bobbio 2008).

Syanidiinit ovat laajin antosyanidiini ryhmä. Muita antosyanidiineja ovat pelargonidiini, peonidiini, delfinidiini, petuidiini ja malvidiini (Mercadante ja Bobbio 2008). Antosyanidiinit eroavat toisistaan B-renkaan ryhmien R1, R2 ja R3 suhteen (kuva 2). Useimmat antosyaanit sisältävät yhden tai kaksi monosakkaridiyksikköä, jotka ovat kiinnittyneet 3-asemaan, 3,5-asemaan tai 3,7 asemaan. Sokeriyksiköt ovat kiinni antosyanidiiniyksiköissä hemiasetaalisin sidoksin. Sokereista glukoosi on yleisin ja galaktoosi toiseksi yleisin sokeriyksikkö elintarvikkeissa löydettyissä antosyaaneissa. Galaktoosi, arabinoosi ja ksyloosi esiintyvät aina jonkin toisen sokerimolekyylin kanssa (Mercadante ja Bobbio 2008). Violetista porkkanasta löydetty antosyaanit ovat kaikki galaktopyranodiseja (Glabgen ym. 1992).

Antosyaanit voivat olla asyloituna hydroksikanelihapoilla (*p*-kumariiniappo, kahvihappo, ferulihappo, sinappihappo, 3,5-dihydrokanelihappo), hydrobentsoehapoilla (*p*-hydrobentsoehappo ja gallihappo) tai alifaattisilla hapoilla (malonihappo, omenahappo, oksaalihappo) (Mercadante ja Bobbio 2008). Antosyaaniväriaineet ovat suhteellisen epästabiileita. Happamissa olosuhteissa ne ovat kuitenkin stabiilimpia (von Elbe ja Schwartz 1996).

Antosyaanien kvantitatiivinen analytiikka voidaan jakaa kolmeen eri menetelmään: Menetelmä näytteille, joissa on vähän tai ei lainkaan häiritseviä yhdisteitä. Menetelmä näytteille, joissa on häiritseviä yhdisteitä, jotka absorboivat 480–550 nm aallonpituusalueella ja menetelmä, jolla määritetään yksittäisten antosyaanien määrä (Giusti ja Jing 2008). Antosyaanien kvalitatiiviseen määrittämiseen on käytettävissä useita eri menetelmiä, kuten hydrolyysimenetelmä, spektrin ominaisuuksien arviointi, massaspektroskopia, NMR-spektroskopia ja FTIR-spektroskopia (Giusti ja Jing 2008).

Merkitys elintarvikkeissa

Antosyaaniväriaine E 163 uutetaan fysikaalisin menetelmin eri kasveista, etenkin viinirypäleen kuorista ja mustista viinimarjoista. Väriä esiintyy myös mm. mansikoissa, retiiseissä, kirsikoissa, vadelmissa, karpaloissa ja mustikoissa. Väriainetta saa käyttää mm. juomiin, jälkiruokiin, jäätelöön, hilloihin, makeisiin ja kahvileipiin. Väriaineelle ei ole enimmäismäärärajoituksia, sen ADI on 2,5 mg/kg/vrk (Evira 2009).

Antosyaaneilla uskotaan olevan terveyttä edistäviä ominaisuuksia (Stintzing ja Carle 2004). Antosyaanit toimivat antioksidanteina. Tutkimukset ovat osoittaneet kasvien väriaineiden pitoisuuksine ja antioksidanttikapasiteetin välillä olevan yhteyden. Antosyaanien antioksidanttiaktiivisuus vaihtelee rakenteen mukaan. Antioksidanttiaktiivisuutensa takia antosyaanit voivat olla yhteydessä syövän ja sydän- ja verisuonitautien ehkäisyyn, virusten ja tulehdusten ehkäisyyn ja immuunipuolustukseen.

2.2.3 Betalaiinit

Kemiallinen rakenne ja analytiikka

Betalaiinit ovat vesiliukoisia tyypipitoisia yhdisteitä. Ne ovat betalaiinihapon immonium johdannaisia (Delgado-Vargas ja Paredes 2003a). Rakenneominaisuuksien perusteella betalaiinit voidaan jakaa kahteen ryhmään: punavioletteihin betasyaaneihin ja keltaisiin betaksantiineihin. Betalaiinien perusrakenteet on nähtävissä kuvasta 3. Substituutioryhmät voivat olla vety, aromaattinen ryhmä tai joku muu substituentti, kuten sakkariidi. Betalaiinien väri riippuu yhdisteessä olevista resonoivista kaksoissidoksista sekä substitueista: jos substituentti on aromaattinen ryhmä, yhdisteen absorptiomaksimi siirtyy 540 nm:stä 480 nm:iin.

Betaksantiinit ovat betalaiinihapon ja erilaisten aminohappojen tai muiden aminoyhdisteiden kondensaatiotuotteita. Riippuen aminoyhdisteen rakenteesta, betaksantiinien absorptiomaksimi vaihtelee 460 ja 480 nm:n välillä (Stintzing ym. 2002). Vulgaksantiini I on yksi yleisimmistä betaksantiineista, se on punajuuren pääasiallinen betaksantiini (Herbach ym. 2006). Betasyaniinit ovat betalaiinihapon ja *cyclo*-Dopan kondensaatiotuotteita (Herbach ym. 2006). Betasyaanirakenteeseen voi olla liittyneenä erilaisia ryhmiä glykosylaation tai asylaation kautta (Stintzing ja Carle). Yleisin betalaiini on punajuuren betanidiini 5-O- β -glukosidi eli betaniini (Stintzing ja Carle).



Betasyaanit	Substituutioryhmät		Betaksantiinit	Substituutioryhmät	
	R1	R2		R3	R4
Betaniini	β -glukoosi	H	Vulgaksantiini-I	H	Glutamiini
			Vulgaksantiini-II	H	Glutamiinihappo

Kuva 3. Betasyaanien ja betaksantiinien perusrakenteet. Punajuuresta löytyvien betalaiinien rakenteet on taulukoitu kuvan alapuolelle (Delgado-Vargas ja Paredes 2003a).

Betalaiinit ovat vesiliukoisia yhdisteitä, joten niiden uuttoon käytetään veden ja metanolin seosta ja fosfaattipuskuria. Kvantitatiivisia ja kvalitatiivisia määrittämiä voidaan tehdä spektrofotometrisesti. Betalaiinien tunnistukseen voidaan käyttää massaspektroskopiaa ja NMR-spektroskopiaa (Stintzing ja Carle 2008).

Merkitys elintarvikkeissa

Betalaiinin E-koodi on E 162. Se uutetaan punajuuresta. Väriainetta saa käyttää mm. juomiin, jälkiruokiin, jäätelöön, hilloihin, makeisiin, kahvileipiin, keittoihin ja kastikkeisiin. Väriaineelle ei ole enimmäismäärärajoituksia (Evira 2009). Betalaiineja on käytetty elintarvikeväriaineina ainakin 1900-luvun alusta alkaen. Aikaisimpia sovelluksia oli betaniinipitoisen kermesmarjamehun käyttö viinin värin parannuksessa (Delgado-Vargas ja Paredes 2003a). Nykyään elintarvikkeissa käytettävät betalaiinit ovat lainsäädännön puolesta rajoittuneet punajuurimehuihin ja -jauheisiin.

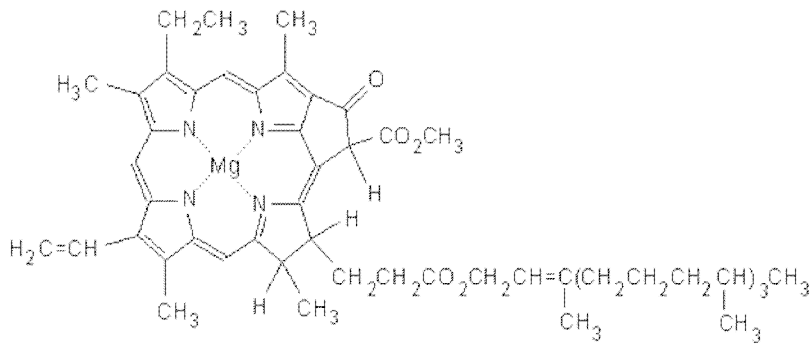
Betalaiinien terveyttä edistäviä ominaisuuksia on tutkittu vasta vähän. Betalaiinien uskotaan kuitenkin olevan terveyttä edistäviä, sillä ne sitovat vapaita radikaaleja jatoimivat antioksidantteina (Stintzing ja Carle 2004). Betalaiinit voivat siis olla yhteydessä mm. syövän ja sydän- ja verisuonitautien ehkäisyyn.

2.2.4 Klorofylli

Kemiallinen rakenne ja analytiikka

Klorofyllillä tarkoitetaan kaikkia fotosynteettisiä tetrapyrrolijohdoksia. Tärkeimmät elintarvikkeissa esiintyvät klorofyllit ovat sinivihreä klorofylli a ja keltavihreä klorofylli b (kasvikset). Klorofyllit sijaitsevat vihreiden kasvien kloroplastissa. Ne ovat vuorovaikutuksessa karotenoideihin, lipideihin ja lipoproteiineihin heikoin ei-kovalenttisin sidoksin (von Elbe ja Schwartz 1996).

Klorofyllit ovat dihydroporfyriinin johdannaisia, jotka on kelatoitu keskusmagnesiumiin (Delgado-Vargas ja Paredes 2003b). Ne sisältävät isosyklisen renkaan ja ovat hydrofobisia esteröityneen C₂₀ tyydyttymättömän alkoholin, fytolin, ansiosta. Tärkeimmät klorofyllit elintarvikeväriaineiden kannalta ovat klorofylli a ja klorofylli b.



Kuva 4. Klorofylli b:n rakenne.

Klorofyllit ovat liukoisia orgaanisiin liuottimiin. Pooliset liuottimet, kuten asetoni, metanoli, etanoli, etyyliasetaatti, pyridiini ja dimetyyliformamidi ovat tehokkaimpia klorofyllien eristämässä (von Elbe ja Schwartz 1996). Poolittomat liuottimet ovat tehottomampia. Klorofyllien analysoimisessa käytetään HPLC:tä erottamaan yksittäiset klorofyllit ja niiden johdannaiset.

Merkitys elintarvikkeissa

Klorofylli-väriaine uutetaan vihreistä lehdistä, useimmiten sinimailasesta tai nokkosesta (Lanfer Marquez ja Sinnecker 2008). Tavallisesti kuivattua tai jauhettua kasvimateriaalia uutetaan elintarvikelaatuiseen liuottimeen, kuten dikloorimetaaniin tai asetoniin. Tämän jälkeen uute pestään, konsentroidaan ja liuotin poistetaan. Lopputuotteena on öljyinen tuote, joka sisältää vaihtelevan määrän feofytiineitä ja muita klorofyllin hajoamistuotteita sekä muita rasvaliukoisia yhdisteitä kuten karotenoideja, rasvoja, vahoja ja fosfolipidejä riippuen raaka-aineesta ja käytetystä uutomenetelmästä (Lanfer Marquez ja Sinnecker 2008).

Klorofyllin ja klorofylliinin E-koodi on E140 ja klorofylli- ja klorofylliinikuparikompleksin E141 (Evira). Klorofylli valmistetaan vihreistä lehdistä ja ruohoista uuttamalla. Sitä saa käyttää mm. juomiin, jälkiruokiin, jäätelöihin, hilloihin, makeisiin ja kahvileipiin. Väriaineella ei ole enimmäismäärärajoituksia, eikä ADI ole tarpeellinen. Klorofyllikuparikompleksilla saadaan aikaan vihreää, sinistä ja mustaa väriä. Se valmistetaan klorofyllistä korvaamalla osa sen luontaisesta magnesiumista kuparilla, joka stabiloi värin. Väriainetta saa käyttää mm. juomiin, jälkiruokiin, jäätelöihin, hilloihin, makeisiin ja kahvileipiin. Väriaineella ei ole enimmäismäärärajoituksia, ADI 15 mg/kg/vrk (Evira 2009).

Aiemmin klorofylliä on pidetty imeytymättömänä ihmiskehoon, mutta viime aikoina on löytynyt viitteitä siitä, että klorofyllien johdannaiset olisivatkin biologisesti käytettävissä (Ferruzzi ja Blakeslee 2007). Klorofyllien johdannaisten on todettu olevan biologisesti aktiivisia, ja niiden on todettu toimivan mm. antioksidanteina ja antimutageeneina. Tutkimusten mukaan on mahdollista, että klorofyllit voivat ehkäistä syövän syntymistä.

2.3 Lämpökäsittelyn vaikutus vihannesten väriin ja rakenteeseen

2.3.1 Väriaineet

Karotenoidit

Elintarvikesysteemeissä karotenoidipitoisuuden kasvu prosessoinnin seurauksena on havaittu useissa tutkimuksissa (Khachik ym. 1992, Updike ja Schwartz 2003, Scott ja Eldridge. 2005). Karotenoidipitoisuuden kasvu selitetään liukenevien kiinteiden aineiden hävikkinä vesifaasiin ja karotenoidien uuttuvuuden paranemisena vihanneksen rakenteen pehmenemisen ja karotenoidi-proteiini kompleksien rikkoutumisen johdosta.

Lämpökäsittely aikaansaa *trans-cis* isomeroitumista karotenoideissa, jotka ovat A-vitamiinin esiasteita (Lessin ym. 1997). Chen ym. (1995) havaitsivat 45–48 % β -karotenoidihävikin ja *cis* isomeerien muodostumisen tutkimuksessaan, jossa porkkanamehua pastöroitiin 110- ja 120 °C:ssa 30 sekunnin ajan. Tutkimuksessa ei havaittu merkittävää vaikutusta happamilla olosuhteilla α - ja β -karotenoidien *trans-cis* isomeroitumiseen. Lessin ym. (1997) havaitsivat vain 3 %:n kasvun *cis*-isomeerien määrässä A-vitamiinin esiastekarotenoideilla.

Marx ym. (2003) havaitsivat porkkanoiden pitkäkestoisen ryöppäyksen (100 °C 60 min ajan) aiheuttavan 26–29 %:n hävikin β -karoteenipitoisuuksissa ja 13-*cis*- β -karoteenin pitoisuuden nousun 10 % pastöroinnin seurauksena ja 14 % nousun steriloinnin seurauksena. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin viinirypäleöljyn vaikutusta karotenoideihin. Viinirypäleöljyn lisääminen lisäsi 13-*cis*- β -karoteenin muodostumista. Lykopenin *trans*- ja *cis*- isomeerien määrä havaittiin Abushitan ym. (2000) tutkimuksessa pysyneen lähes muuttumattomana lämpökäsittelyn seurauksena. Tutkimuksessa havaittiin kuitenkin kasvaneita β -karoteenipitoisuuksia. Nguyen ym. (2001) selittävät eron isomeroitumisessa eri karotenoidien välillä johtuvan niiden rakenteellisissa ominaisuuksissa. Isomeroitumiseen vaikuttaviksi tekijöiksi mainitaan molekyylin muoto, taipumus

kiteytymiseen ja edelleen organisoitumionen aggregaateiksi tai monikerroksiksi ja karotenoidien erot varastopaikoissa solun sisällä.

Mayer-Miebach ja Spieß (2003) Japanilaisen punaisen *Kintoki*-porkkanan karotenoideista noin 65 % on lykopenia. Ryöppääminen 15 minuutin ajan 90 °C:ssa nosti porkkanan lykopenipitoisuutta 15 %. Sama käsittely vähensi vain hieman β -karoteenipitoisuutta. Scott ja Eldridge (2005) tutkivat säilöttyjen ja pakastettujen maissien karotenoidipitoisuuksia. Karotenoidipitoisuus ei ollut merkittävästi pienempi säilykemaissa, joita lämmitettiin 126,7 °C:ssa 12 minuutin ajan. Pakastemaisseja ryöpättiin tutkimuksessa noin 90 °C:ssa 3 minuutin ajan ennen pakastusta. Kahdesta maissilajikkeesta toisessa yksittäisten karotenoidien pitoisuudet olivat korkeampia tuoreeseen verrattuna, toisessa pitoisuuksien välillä ei ollut eroa.

Antosyaanit

Antosyaanien hajoaminen noudattaa 1. luokan reaktio kinetiikkaa (Mercadante ja Bobbio 2008). Antosyaanien pysyvyys heikkenee lämpötilan noustessa. Huoneenlämmössä happamassa vesiliuoksessa antosyaanit ovat tasapainotilassa neljässä erilaisessa muodossa: sinisenä kinoidisena emäksenä, punaisena flavyylikationina, värittömänä karbinoli-pseudoemäksenä ja värittömänä kalkonina (von Elbe ja Schwartz 1996). Lämmitys siirtää tasapainoa kohti väritöntä kalkonia. Prosessoinnin vaikutusta yksittäisiin antosyaaneihin on monimutkaista selvittää, sillä antosyaanien hajotessa muodostuu isomeerejä ja kahden yhdisteen keskinäisiä muunnoksia (La Scalzo ym. 2008). Antosyaanien hajoamiselle on ehdotettu kolme mahdollista reittiä (von Elbe ja Schwartz 1996). Ensimmäinen hajoamisreitti on flavyylikationista kinoidiksi ja erinäisten välivaiheiden kautta kumariinijohdannaisiksi. Toinen reitti on flavyylikationista värittömäksi karbinoliksi, sitten kalkoniksi ja lopulta ruskeiksi hajoamistuotteiksi. Kolmas reitti on samanlainen, mutta kalkonin hajoamistuotteet hajoavat ensin erillisiksi yhdisteiksi.

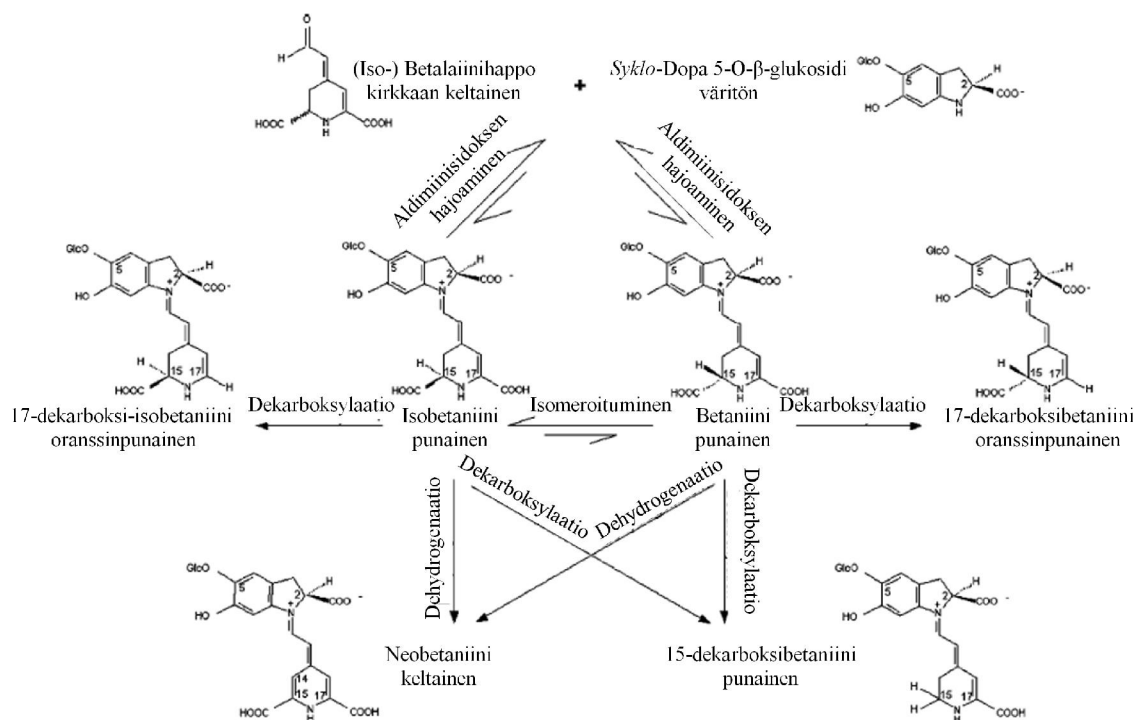
Antosyaanien hajoaminen elintarvikkeissa lämpökäsittelyn vaikutuksesta on riippuvainen myös pH:sta ja hapen läsnäolosta (von Elbe ja Schwartz 1996). Antosyaanit ovat hyvin herkkiä pH:n muutoksille. Kurca ym. (2007) tutkivat pH:n vaikutusta lämpökäsiteltujen mustien porkkanoiden antosyaanipitoisuuksiin. Antosyaanit kestivät paremmin lämpökäsittelyä alle pH 5:ssä kuin yli pH 5:ssä.

La Scalzo ym. (2008) tutkivat antosyaaneja violeteissa kukkakaaleissa ja lämpökäsittelyjen vaikutusta antosyaanipitoisuuksiin. Ryöppäys vähensi antosyaanipitoisuuden lajikkeesta riippuen 24–35 prosenttiin alkuperäisestä. 12 minuutin keiton jälkeen kukkakaalin antosyaaneista oli jäljellä vain 20 % alkuperäisestä, mikroaaltouunissa 2 minuutin ajan höyrytettyjen kukkakaalien antosyaanipitoisuus pysyi lähes muuttumattomana. Syanidiini-3-(6-*p*-kumaryyli)-sofrosidi-5-(6-sinapyyli)-glukosidin pitoisuus kasvoi prosessoinnin myötä, mikä viittaa yhdisteen verrattain parempaan lämpöstabiiliuteen. Syanidiini-3-sofrosidi-5-glukosidin pitoisuus laski lämpökäsittelyjen myötä ja samalla yhdisteen isomeerimuodon pitoisuus kasvoi, tämä viittaa siihen, että yhdiste muuttuu isomeerikseen lämmön vaikutuksesta (La Scalzo ym. 2008).

Betalaiini

Lämpötila on kriittisin tekijä, joka liittyy betalaiinien stabiiliuteen. Lämpökäsittely kuitenkin tarvitaan entsyymien inaktivointiin ja mikrobiologisen pilaantumisen estämiseen (Stintzing ja Carle 2008). Betalaiinit hajoavat lämpötilan noustessa yli 30 °C:seen. Huomattavia muutoksia betalaiinipitoisuuksissa tapahtuu yli 50 °C:ssa joten lämpökäsittelyjen yhteydessä tapahtuu värimuutoksia (Herbach ym. 2006).

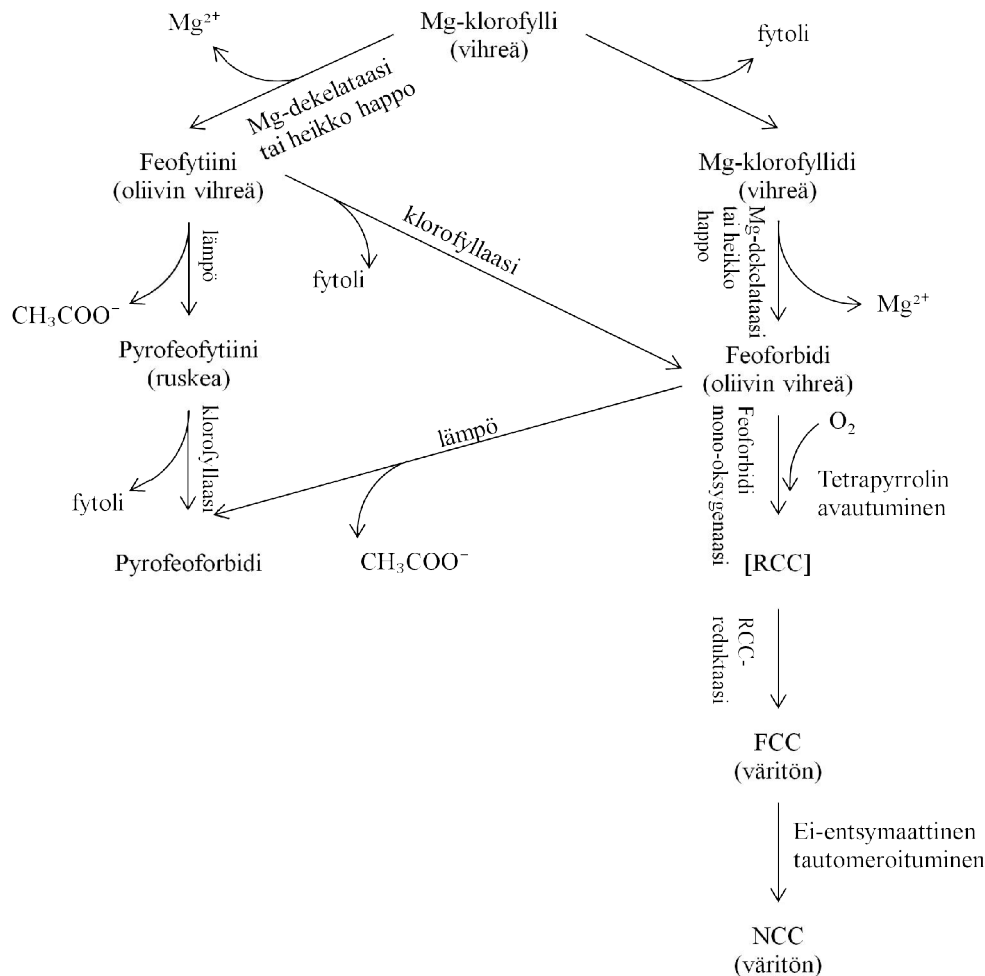
Betaniini voi hajota joko isomeroitumisen, dekarboksylaation tai jakautumisen (engl. cleavage) kautta (Azeredo 2009). Tämä johtaa punaisen värin vähenemiseen ja lopulta vaaleanruskeaan väriin. Betaniinin ja isobetaniinin jakautuminen tuottaa keltaista betalamiinihappoa ja väritöntä syklo-Dopa-5-*O*-glykosidia. Betasyaniinit, kuten betaniini ja isobetaniini ovat lämpöstabiilimpia verrattuna betaksantiineihin kuten vulgaksantiini I:n (Herbach ym. 2004). Tutkimuksessa punajuurimehua lämmitettiin 85-celsiusasteisessa vesihauteessa. Kahdeksan tunnin lämpökäsittelyn jälkeen punajuurimehussa ei enää ollut vulgaksantiinia havaittavia määriä, kun betaniini- ja isobetaniinipitoisuudet olivat laskeneet 10 ja 20 prosenttiin alkuperäisistä pitoisuuksista. Neobetaniinin, betaniinin hajoamistuotteen, pitoisuus kasvoi tässä ajassa 50 % alkuperäiseen pitoisuuteen verrattuna. Betalaiinihapon pitoisuus punajuurimehussa kasvoi selvästi ensimmäisen tunnin aikana. Kuvassa 5 on kuvattu betaniinin hajoamisreitit.



Kuva 5. Betaniinin hajoaminen lämmön vaikutuksesta. Mukailtu Herbach ym. (2004).

Klorofylli

Klorofylli hajoaa herkästi (von Elbe ja Schwartz 1996). Lämpökäsittelyn seurauksena syntyvät klorofyllien johdannaiset voidaan jakaa kahteen ryhmään magnesium-atomin esiintymisen mukaan. Johdannaiset, jotka sisältävät Mg-atomin, ovat väriltään vihreitä ja magnesiumittomat oliivinvruskeita. Ensimmäinen muutos klorofyllissä sitä lämmitettäessä on isomeroituminen. Isomeroituminen tapahtuu C-10-karbometoksyryhmässä. Magnesium atomi on helposti korvautuvissa kahdella vetyatomilla, jolloin tuloksena on oliivinvruskea feofytiini. Klorofyllin mahdolliset hajoamisreitit on kuvattu kuvassa 6.



Kuva 6. Klorofyllin mahdolliset hajoamistiet. RCC = punainen klorofylli kataboliitti, FCC = fluoresoiva klorofylli kataboliitti ja NCC = ei-fluoresoiva kataboliitti. Lämpötilalla merkitystä pyrofeofytiinin muodostumisesta feofytiinistä tai feoforbidista. Mukailtu Lanfer Marquez ja Sinnecker (2008).

2.3.2 Rakenne

Kasvismateriaalin kuiva-aineesta noin 90 % on polysakkarideja ja loput 10 % fenolisia yhdisteitä ja proteiineja sekä glykoproteiineja (Smith ym. 2002). Rakenteissa on useampaa erilaista solukkotyyppiä, joilla jokaisella on oma tehtävänsä (Haard ja Chism 1996). Parenkyymi eli perussolukko muodostaa suurimman osan kasvisten massasta. Perussolukko on pehmeää tai mehukasta solukkoa, jota kehystää kovat tai puiset rakenteet. Perussolukolla on merkittävä vaikutus vihanneksen rakenteeseen ja suutuntumaan. Uloimpana kerroksena on epidermi ja sen alla kuorikerros. Näiden kerrosten tehtävänä on suojata kasvia biologiselta ja fysikaaliselta rasitukselta. Kasvin rakennetta tukevia soluja ovat kollenkyymi ja sklerenkyymi. Kollenkyymien eli tukisolukon solut ovat pitkänomaisia ja niiden soluseinät ovat paksut. Soluissa on pektiiniä ja hemiselluloosa, mikä tuo taipuisuutta. Solukko on suhteellisen pehmeää, mutta vastustaa hajoamista kypsymisen ja

kypsentämisen aikana. Sklerenkyymi eli vahvikesolukko on paksuseinäistä ja puutunutta, vanha solukko on pääosin soluseinää. Kypsentäminen ei vaikuta vahvikesolukkuun. Lisäksi kasvien rakenteeseen kuuluu johtosolukkosysteemi, joka koostuu ksyleemistä eli johtosolukosta ja floemista eli nilasta, jotka kuljettavat vettä, mineraaleja ja liuenneita aineita.

Vihannekset jaetaan neljään ryhmään niiden esiintymisen perusteella: juuret, varret, lehdet ja hedelmät (Haard ja Chism 1996). Juurien kuten porkkanan ja punajuuren sisimpinä solukkoina ovat ksyleemi ja floemi, joita ympäröivät kuorikerros ja korkkikuori eli peridermi. Paksut juuret muodostuvat pääasiassa kambista eli paksuuskasvusolukosta. Esimerkiksi punajuuressa on useampia kambioita vyöhykkeinä ytimen ympärillä. Varret muodostuvat neljästä erilaisesta alueesta: epidermin alla ovat kuorikerros, johtosolukkosysteemi ja ydin. Lehtien päätehtävä on olla mukana fotosynteesissä, mikä näkyy niiden rakenteessa: Epidermissä on hyvin kehittynyt kutikula eli pintakelmu, jonka alla on kloroplastit. Lehtien johtosolukkosysteemi koostuu verkostomaisista suonista. Hedelmät koostuvat pääasiassa perussolukosta.

Keiton alkuvaiheessa kasvisolussa tapahtuu solukalvon häiriötä, joka aikaansaa nestejännityksen vähenemisen, mikä johtaa rapeuden vähenemiseen (Smith ym. 2002). Kuitenkin solun adheesiossa mukanaolevien polymeerien liukeneminen aiheuttaa suuremman muutoksen, sillä se mahdollistaa solujen irtoamisen. Polymeerit ovat lähinnä pektiinisiä polysakkarideja. Pektiinisten polysakkaridien liuetessa keitetessä tapahtuu hajoamista.

Esikeitolla voidaan vähentää keittämisestä johtuvaa pehmenemistä (Smith ym. 2002). Käytettäessä 50–60 asteen lämpötilaa. Gonçalves ym. (2010) havaitsivat rakenteen muutoksen tapahtuvan ensimmäisen 10–15 min aikana porkkanoita ryöpättäessä 75–90 °C:ssa.

3 KOKEELLINEN TUTKIMUS

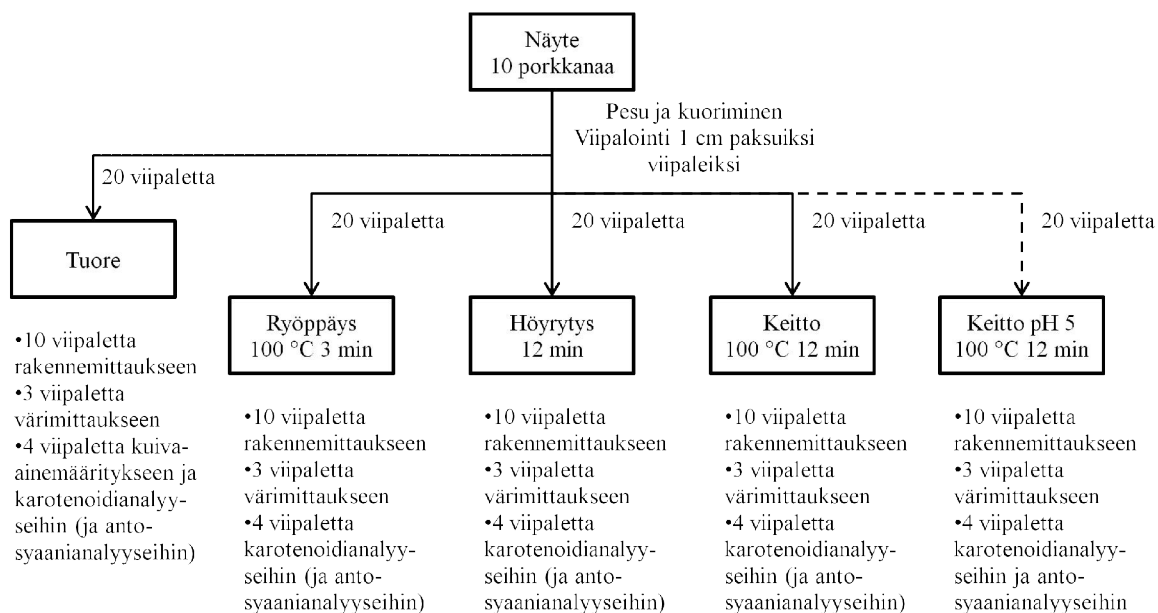
3.1 Materiaalit ja menetelmät

Näytteet

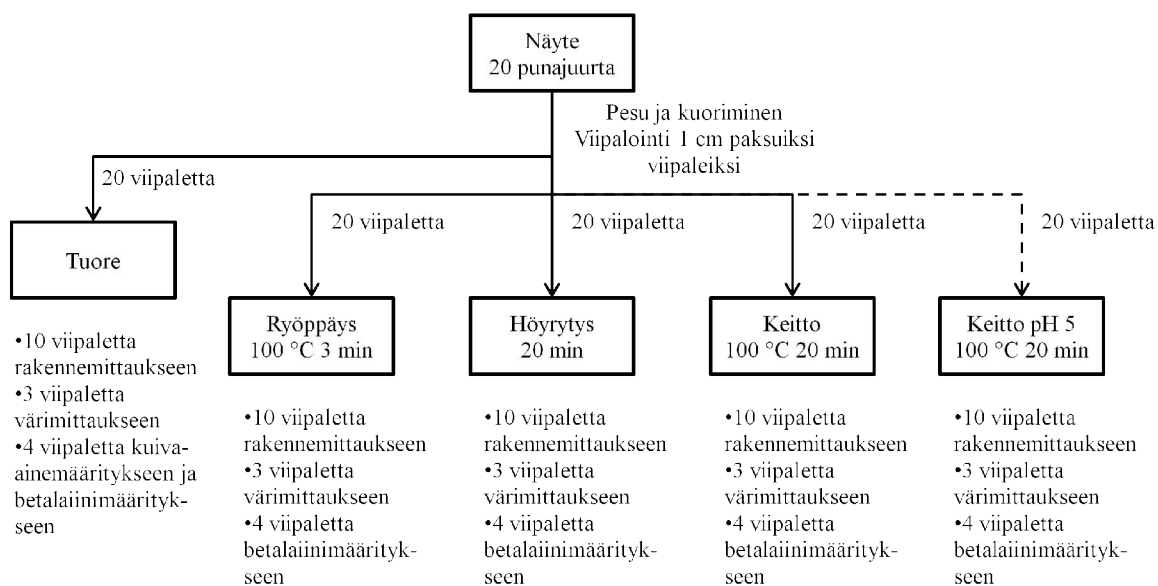
Työssä tutkittiin viittä porkkanalajiketta ja neljää juurikaslaajiketta. Porkkanalajikkeet olivat: Rainbow (valkoinen, keltainen ja oranssi), Purple Haze (violetti), Yellowstone (keltainen), Nutri Red (punainen) ja oranssi porkkana. Yhteensä tutkittavia porkkananäytteitä oli seitsemän. Tutkittavat juurikaslaajikkeet olivat punajuuri (Pablo), keltajuuri, raitajuuri ja valkojuuri. Juurekset kasvatettiin Satakunnassa Satafood Kehittämisyhdistys ry:n yhteistyöviljelijöillä Eurajoella ja Kokemäellä kesällä 2010. Yellowstone-porkkana nostettiin lokakuun alussa ja muut porkkanat lokakuun puolessa välissä, minkä välisen ajan Yellowstone-lajike oli varastoituna 0–2 °C:n lämpötilassa. Porkkanoita varastoitiin 4-celsiusasteisessa kylmiössä 6–7 viikkoa ennen kokeiden aloitusta. Juurikkaat nostettiin syyskuun alussa ja ne varastoitiin 0–2 °C:n lämpötilaan neljäksi viikoksi ennen Helsinkiin kuljetusta. Tämän jälkeen juurikkaat odottivat analyyseja 4-celsiusasteisessa kylmiössä noin 10 viikkoa.

Näytteiden esikäsittely

Porkkanat ja juurikkaat pestiin käsin, kuorittiin juuresveitsellä ja viipaloitiin 10 mm:n paksuisiksi viipaleiksi viipalointilaitteella (Scharfen, Saksa). Porkkanan kantaa jätettiin noin 2 cm viipaloimatta, sillä kanta saattoi olla vihertynyt. Esikäsitellyt näytteet jaettiin satunnaisesti neljään tai viiteen osaan riippuen näytteelle tehtävien käsittelyjen määrästä. Yksi osa pakattiin minigrip-pussiin ja varastoitiin 4-celsiusasteiseen jääkaappiin odottamaan analyyseja, tämä näyte nimettiin tuoreeksi näytteeksi. Muille osille tehtiin lämpökäsittelyt. Kuvissa 5 ja 6 on esitetty kaaviot porkkana- ja punajuurinäytteille tehdyistä käsittelyistä ja analyyseista.



Kuva 5. Porkkanoille tehdyt käsittelyt ja analyysit. Katkoviivalla merkityt ja suluissa olevat käsittelyt ja analyysit tehtiin vain violetille Purple Haze porkkanalle.



Kuva 6. Punajuurille tehdyt käsittelyt ja analyysit. Katkoviivalla merkitty käsittely tehtiin vain raitajuurelle.

Lämpökäsittelyt

Näytteille tehtiin 3 erilaista lämpökäsittelyä: ryöppäys, keitto ja höyrytys. Ryöppäyksessä näytteet lisättiin kiehuvaan veteen ja keitettiin kattilassa kolmen minuutin ajan siitä, kun vesi alkoi jälleen kiehua. Keitossa näytteet lisättiin kiehuvaan veteen, ja keiton pituus oli porkkanoille 12 minuuttia ja punajuurille 20 minuuttia siitä, kun vesi alkoi jälleen kiehua. Keitinvesi vaihdettiin jokaisen keiton jälkeen. Violetti porkkana ja raitajuuri keitettiin sekä

tavallisesti että keitinvedessä, jonka pH oli säädetty 5:een väkiviinaetikalla pH-mittaria (Knick Portamess 752, Saksa) apuna käyttäen. Höyrytys tehtiin kotitalouskäyttöön tarkoitetulla höyrykeittimellä (Philips HD9120). Höyrytyksen kesto oli 12 minuuttia porkkanoille ja 20 minuuttia punajuurille (sama aika kuin keitossa). Käsitellyt näytteet jäähdytettiin jäävedessä minigrip-pusseissa 15 min ajan, jonka jälkeen näytteet siirrettiin 4-celsiusasteiseen jääkaappiin. Värimittaus, valokuvaus ja rakennemittaus tehtiin näytteille heti lämpökäsittelyn jälkeen.

Väriaineanalyysija varten osa näytteestä pakkaskuivattiin. Näyte homogenoitiin Ultra-Turraxilla (Saksa) käsittelypäivänä. Näytteeseen otettiin 4 porkkanaviipaletta tai 4 neljäosasektoria juurikkaasta ja noin 5 g homogenoitua massaa siirrettiin pieniin lasisiin tuikepulloihin. Näytteet pakastettiin -20-asteisessa pakastimessa, jonka jälkeen näytteet siirrettiin -80 °C:n lämpötilaan säilytykseen 30 vuorokaudeksi. Pakastetut näytteet kuivattiin pakkaskuivaimessa (Finn Aqua Lyovac GT 2, Saksa) noin 71 tunnin ajan. Kuivatut näytteet siirrettiin tuikepulloissa vakuumieksikkaattoriin, jonka kuivausaineena oli fosforipentoksidi (P_2O_5). Pakkaskuivauksen yhteydessä määritettiin tuoreiden näytteiden kuiva-ainepitoisuus kolmesta rinnakkaisesta homogenoidusta näytteestä. Näytteet punnittiin ennen kuivausta ja kuivauksen jälkeen, kun näytteet olivat olleet vakuumieksikkaattorissa kolmen vuorokauden ajan.

Analyysit

Värimittaus

Näytteiden väriä mitattiin Minolta-värimittarilla (Konica Minolta CM-2600d, Japani) ja näytteistä otettiin valokuvat. Minolta-värimittarilla saatavat arvot kertovat näytteen vaaleudesta, punaisuudesta ja keltaisuudesta. L*-arvon ollessa 0 näyte on musta ja arvon ollessa 100 näyte on valkoinen. Positiivinen a*-arvo viittaa näytteen punaisuuteen ja negatiivinen arvo vihreyteen. Samoin positiivinen b*-arvo viittaa näytteen keltaisuuteen ja negatiivinen arvo sinisyyteen. Värimittaus tehtiin kolmelle rinnakkaiselle näytteelle värimittarin ohjeen mukaan. Yksivärisistä porkkanoista ja juurikkaista väri mitattiin 10:stä kohtaa viipaletta. Kaksivärisessä violetissa porkkanassa väri mitattiin sekä keskustan oranssista osasta että viipaleen reunan violetista osasta. Raitajuuresta väri mitattiin sen keskeltä ja sitä ympäröivästä punertavasta renkaasta. Valokuvat otettiin jokaisesta

näytteestä vakiovalaistuksessa valokaapissa (Verivide CAC 120-5) asetuksella D50, joka vastaa 5000 K:n värilämpötilaa.

Kokonaiskarotenoidipitoisuus

Karotenoidipitoisuudet määritettiin kaikista porkkananäytteistä. Karotenoidit uutettiin pakkaskuivatusta näytteestä Caldwellin ja Britzin (2006) mukaan. Homogenoitua näytettä punnittiin 50 mg ja siihen lisättiin 5 ml 100-prosenttista asetonia. Näytettä homogenoitiin (Ultra-Turrax, Saksa) 30 s:n ajan ja sekoitettiin koeputkisekoittajalla (Vortex) 2 minuuttia, jonka jälkeen näyte sentrifugoitiin kierrosnopeudella 2000 rpm 15 minuutin ajan. Supernatantti otettiin talteen ja kiinteä aine uutettiin uudelleen edellä mainitulla tavalla. Supernatantit yhdistettiin ja näytteen absorbanssi mitattiin 452 nm:n aallonpituudella. Nollanäytteenä käytettiin 100-prosenttista asetonia.

Näytteen karotenoidipitoisuus (c) laskettiin kuten Ollilaisen (1987) pro gradu -työssä, yhtälöllä:

$$c \text{ [g]} = (A \cdot V) / (\epsilon \cdot 100) \quad (1)$$

jossa

A = absorbanssi

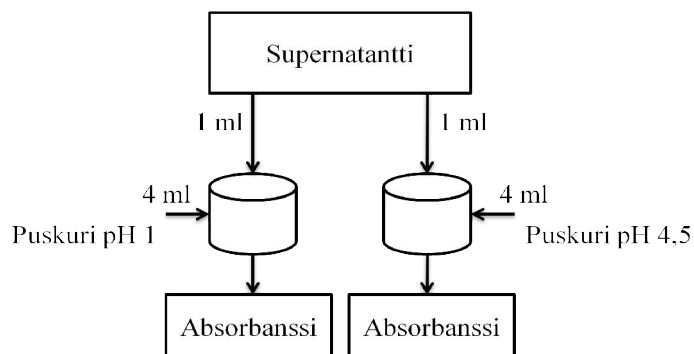
V = liuostilavuus (ml)

ϵ = β -karoteenin spesifinen absorptiokerroin 2725

Kokonaisantosyaanipitoisuus

Antosyaanipitoisuudet määritettiin Riedlin (2007) kuvaaman pH-differentiaalimenetelmän mukaisesti. Pakkaskuivatua näytettä punnittiin 50 mg 5 ml:aan metanoli/vesi/etikka-happo -liuosta (MeOH/H₂O/AA = 85:15:0,5). Näytettä homogenoitiin (Ultra-Turrax, Saksa) 30 s:n ajan ja sekoitettiin koeputkisekoittajalla (Vortex) 2 minuuttia, jonka jälkeen näyte sentrifugoitiin kierrosnopeudella 2000 rpm 15 minuutin ajan. Supernatantti kerättiin talteen ja uutto toistettiin kiinteälle aineelle. Tämän jälkeen supernatantit yhdistettiin. Supernatanteista otettiin kaksi rinnakkaista näytettä, joista toiseen lisättiin puskuriliuosta, jonka pH oli 1 (0,025 M KCl-liuos) ja toiseen puskuriliuosta, jonka pH oli 4,5 (0,4 M NaOAc-liuos) kuvan 7 mukaisesti. Puskuriliuosta lisättiin 4 osaa yhtä osaa näytettä kohti. Puskuriliuoksen lisäyksen jälkeen näytteet seisoivat huoneenlämmössä vähintään 15 min,

mutta korkeintaan 1 tunnin ajan ennen kuin absorbanssi mitattiin 510 nm:n ja 700 nm:n aallonpituuksilla. Nollanäytteenä mittauksessa käytettiin tislattua vettä.



Kuva 7. Näytteiden valmistaminen pH-differentiaalimenetelmän absorbanssin mittaamista varten.

Absorbanssi laskettiin käyttäen seuraavaa yhtälöä:

$$A = (A_{\lambda \text{ vis max}} - A_{700})_{\text{pH } 1} - (A_{\lambda \text{ vis max}} - A_{700})_{\text{pH } 4,5} \quad (2)$$

Antosyaanipitoisuuden (c) laskemiseen käytettiin yhtälöä:

$$c[\text{mg/l}] = (A \cdot \text{MW} \cdot \text{DF} \cdot 1000) / (\epsilon \cdot l) \quad (3)$$

jossa

A = absorbanssi

DF = laimennoskerroin

ϵ = spesifinen absorptiokerroin 26900 l/(mol cm)

MW = syanidiini-3-glukosidin moolimassa 449,2 g/mol.

Kokonaisbetalaiinipitoisuus

Homogenoitua pakkaskuivattua näytettä punnittiin 50 mg ja lisättiin 5 ml 60-prosenttista metanolia. Näytettä homogenoiitiin (Ultra-Turrax, Saksa) 30 s:n ajan ja sekoitettiin koeputkisekoittajalla (Vortex) 2 minuuttia, jonka jälkeen näyte sentrifugoitiin kierrosnopeudella 2000 rpm 15 minuutin ajan. Supernatantti kerättiin talteen ja uutto toistettiin kiinteälle aineelle. Tämän jälkeen supernatantit yhdistettiin ja näytteiden absorbanssit mitattiin. Keltaisille näytteille käytettiin 476 ja 600 nm:n aallonpituuksia, punaisille näytteille 538 ja 600 nm:n aallonpituuksia ja vaaleille näytteille 476, 538 ja 600 nm:n aallonpituuksia.

Näytteiden absorbanssit laskettiin käyttäen yhtälöjä:

$$x = 1,095 \cdot (a - c) \quad (4)$$

$$z = a - x \quad (5)$$

$$y = b - z - x/3,1 \quad (6)$$

jossa

a = näytteen absorptio 538 nm:ssa

b = näytteen absorptio 476 nm:ssa

c = näytteen absorptio 600 nm:ssa

x = betaniinin absorptio, josta on vähennetty värilliset epäpuhtaudet

y = vulgaksantiini I:n absorptio, josta on korjattu betaniinin vaikutus ja värilliset epäpuhtaudet

z = epäpuhtauksien absorptio

Näytteen betalainipitoisuus (c) laskettiin yhtälöllä:

$$c[\text{mg/l}] = A \cdot DF \cdot MW \cdot 1000 / \epsilon l \quad (7)$$

jossa

A = absorbanssi

DF = laimennoskerroin

ϵ = spesifinen absorptiokerroin

MW = moolimassa: 550 g/mol (betaniini) tai 339 g/mol (vulgaksantiini I)

Rakenne

Näytteiden rakennetta mitattiin aineenkoestuslaitteella (Instron 4465, Englanti). Käytettiin 100 Newtonin puristusvoimaa ja 3 mm halkaisijaltaan olevaa sylinterinmuotoista mittapäättä. 10 mm:n paksuinen näyte asetettiin tasaiselle teräksiselle alustalle ja mittapää laskettiin lähelle näytteen pintaa. Mittapää puristi näytettä 1 mm/s nopeudella 9 mm:n matkalla. Määritykset tehtiin kymmenelle rinnakkaiselle näytteelle. Näytteistä määritettiin myötövoima ja matka, jonka mittapää eteni ennen myötörajaa, ja määritettiin muodonmuutoskuvaajan kulmakerroin.

Tilastolliset käsittelyt

Tulosten ryhmien sisäisten varianssien yhtä suuruudet testattiin Levenen testillä ja ryhmien normaalijakautuneisuus Lillieforsin testillä tai Jaque-Bera-testillä, jos havaintoja oli vähemmän kuin neljä. Jos varianssit olivat yhtä suuret ja ryhmät normaalijakautuneita, ryhmien välisiä eroja testattiin yksisuuntaisella varianssianalyysillä ja Tukeyn hsd-testillä, muussa tapauksessa Kruskal-Wallisn ei-parametrisella varianssianalyysillä ja havaintojen keskinäinen vertailu tapahtui sijalukukeskiarvojen perusteella.

3.2 Tulokset

3.2.1 Juuresten kuiva-ainepitoisuus

Punajuurilajikkeiden keskimääräinen kuiva-ainepitoisuus oli korkeampi kuin porkkanoiden kuiva-ainepitoisuus. Porkkanoiden kuiva-ainepitoisuudet vaihtelivat välillä 9,9–14,4 % ja punajuurilajikkeiden kuiva-ainepitoisuus välillä 14,8–16,2 % (taulukko 2).

Taulukko 2. Porkkanoiden ja punajuurilajikkeiden keskimääräiset kuiva-ainepitoisuudet.

Näyte	Kuiva- ainepitoisuus (%)
Porkkanat	
Oranssi porkkana	10,1
Yellowstone	11,7
Nutri red	9,9
Rainbow keltainen	14,4
Rainbow valkoinen	11,3
Rainbow oranssi	12,7
Purple Haze	13,3
Punajuurilajikkeet	
Keltajuuri	15,8
Punajuuri	15,6
Valkojuuri	16,2
Raitajuuri	14,8

3.2.2 Juuresten väri

Kuvissa 8 ja 9 on esitetty poikkileikkaus jokaisesta näytteestä tuoreena ja käsiteltynä. Kuvassa 8 on porkkanalajikkeet ja kuvassa 9 punajuurilajikkeet.

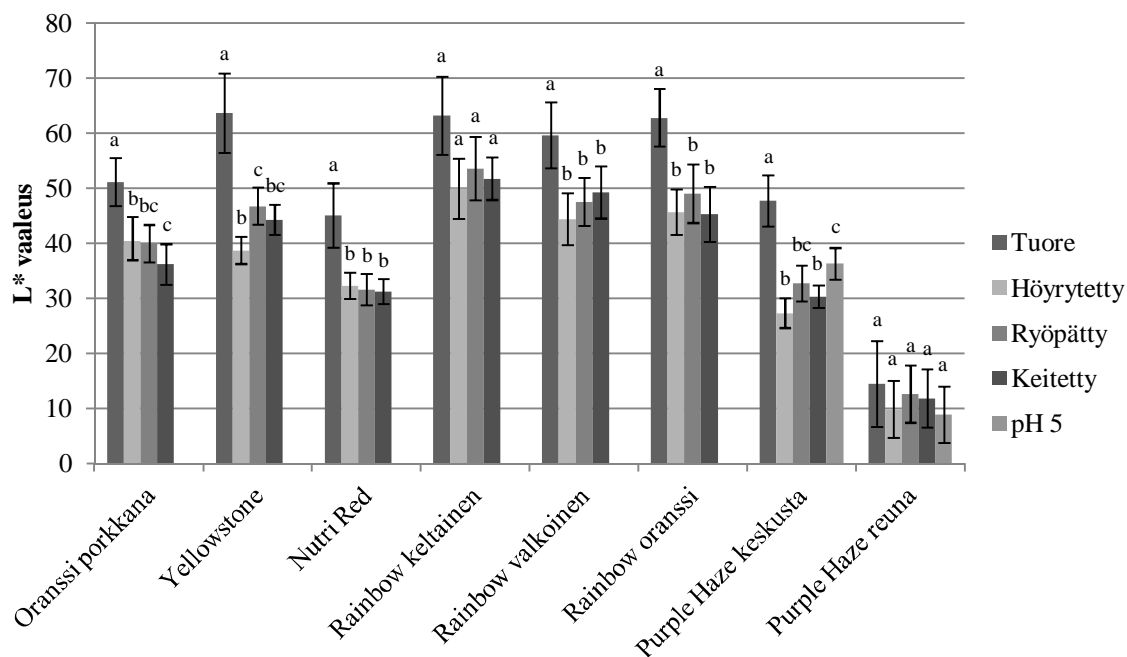


Kuva 8. Porkkananäytteet. Kuvassa vasemmalta lähtien tuore, höyrytetty, ryöpätty ja keitetty näyte sekä 7. lajikkeen kohdalla pH 5:een säädettyssä keitinvedessä keitetty näyte. Lajikkeet: 1. oranssi porkkana, 2. Yellowstone, 3. Nutri Red, 4. Rainbow keltainen, 5. Rainbow valkoinen, 6. Rainbow oranssi ja 7. Purple Haze.

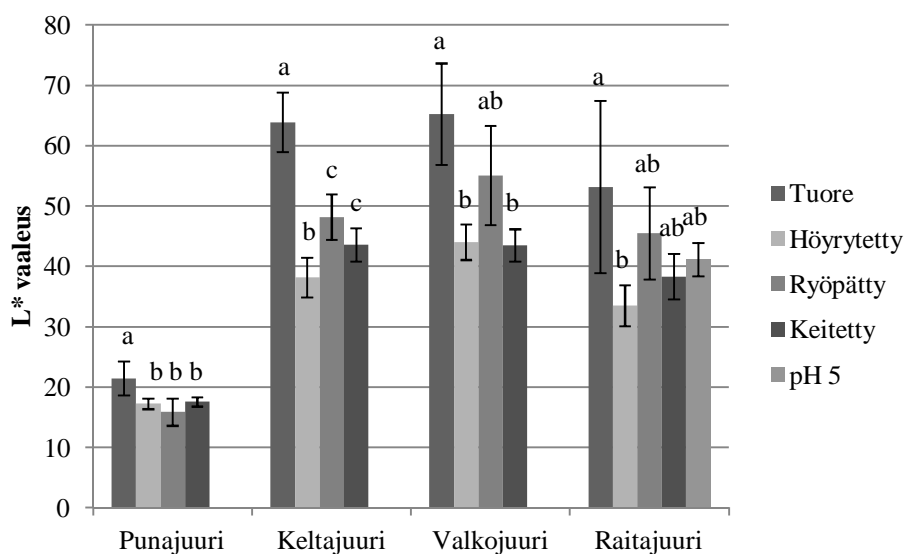


Kuva 9. Juurikasnäytteet. Kuvassa vasemmalta lähtien tuore, höyrytetty, ryöpätty ja keitetty näyte sekä 4. lajikkeen kohdalla pH 5:een säädettyssä keitinvedessä keitetty näyte. Lajikkeet: 1. keltajuuri, 2. punajuuri, 3. valkojuuri ja 4. raitajuuri.

Tuoreet näytteet olivat käsiteltyjä näytteitä vaaleampia. Purple Haze -lajikkeen tumman violetin reunan, keltaisen Rainbow-lajikkeen, valkojuuren ja raitajuuren vaaleudessa ei kuitenkaan ollut eroa käsiteltyjen ja tuoreiden näytteiden välillä (kuvat 10 ja 11). Lämpökäsiteltyjen näytteiden välillä ei pääasiassa ollut merkittävää eroa näytteiden vaaleudessa. Porkkanalajikkeista Rainbow-lajikkeen keltainen porkkana oli vaalein ja Purple Hazen violetti reuna tummin.



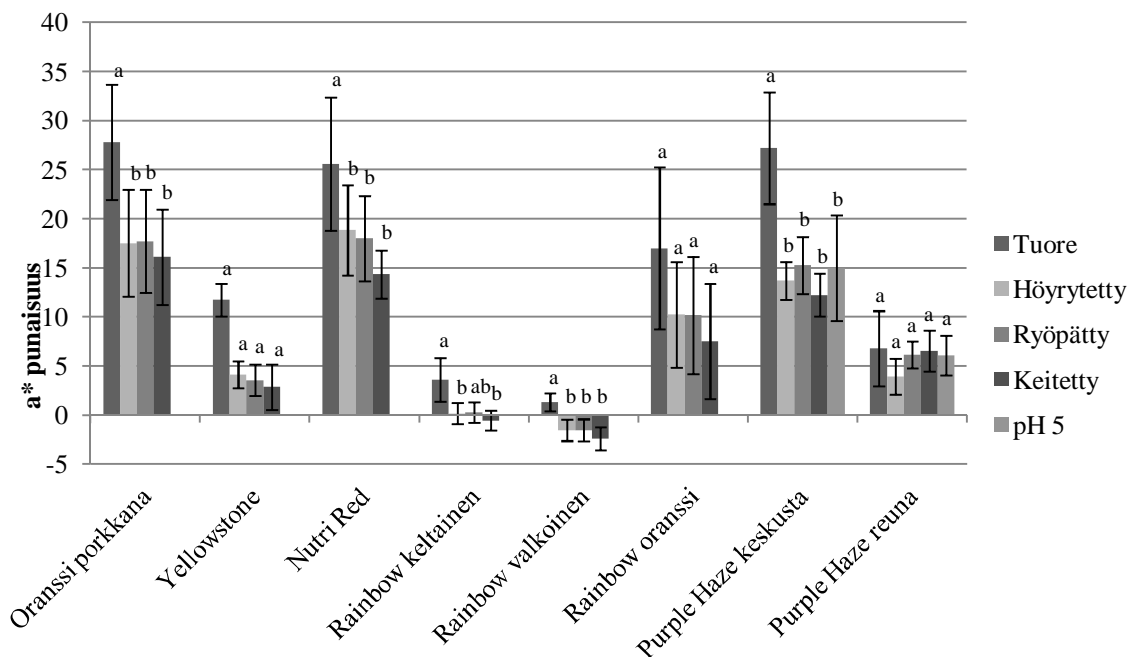
Kuva 10. Käsittelyiden vaikutus porkkanoiden vaaleuteen. L*-arvo 0 vastaa mustaa ja 100 valkoista. Lajikekohtaiset lämpökäsittelyiden väliset tilastollisesti merkittävät erot ($p < 0,05$) on merkitty kirjaimin. Samalla kirjaimella merkittyjen käsittelyjen välillä ei ole eroa.



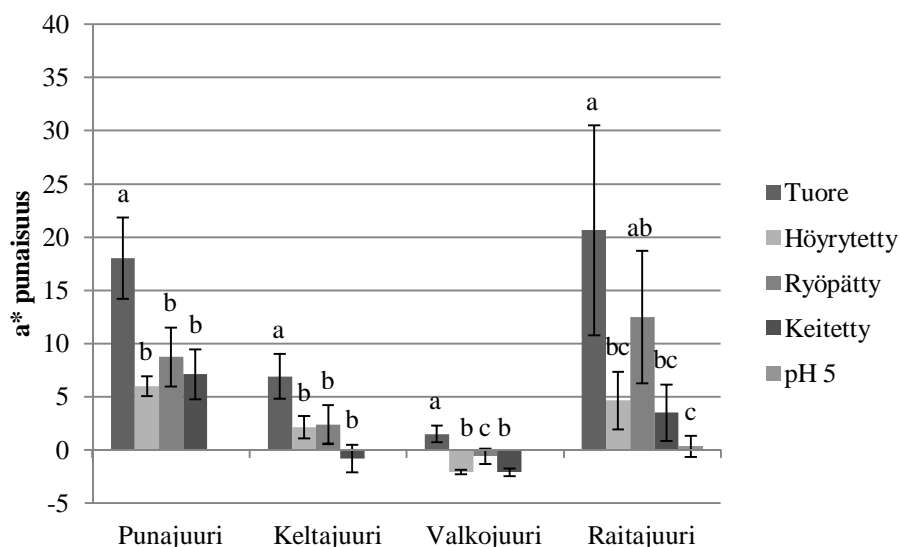
Kuva 11. Käsittelyiden vaikutus punajuurilajikkeiden vaaleuteen. L*-arvo 0 vastaa mustaa ja 100 valkoista. Lajikekohtaiset lämpökäsittelyiden väliset tilastollisesti merkittävät erot ($p < 0,05$) on merkitty kirjaimin. Samalla kirjaimella merkittyjen käsittelyjen välillä ei ole eroa.

Tuoreet näytteet olivat punaisempia ja keltaisempia kuin käsitellyt näytteet (kuvat 12–15). Kuitenkaan Yellowstonen, Oranssin Rainbown ja Purple Hazen tumman violetin reunan punaisuudessa ei ollut merkittävää eroa tuoreiden ja käsiteltyjen näytteiden välillä. Käsittelyiden välillä ei värissä ei ollut pääasiassa eroa tai ero oli hyvin pieni. Keltaisen ja valkoisen Rainbow-lajikkeen ja kelta- ja valkojuuren väri oli hyvin heikon punaista, ja käsiteltyjen näytteiden väri saattoi muuttua jopa heikosti vihertäväksi. Raitajuurinäytteiden

punaisuuden ja keltaisuuden erot olivat silmännähtäviä, keitetty ja pH 5:ssä keitetty näyte olivat selvästi keltaisempia tai vähemmän punaisia kuin muut näytteet (kuva 9). Porkkanalajikkeista punaisimpia olivat oranssi porkkana, Purple Haze ja Nutri Red (kuva 12). Punajuurista punaisimpia olivat puna- ja raitajuuret, ja seuraavaksi eniten punaisuutta oli keltajuuressa (kuva 13). Valkojuuri oli punajuurilajikkeista vähiten punainen.

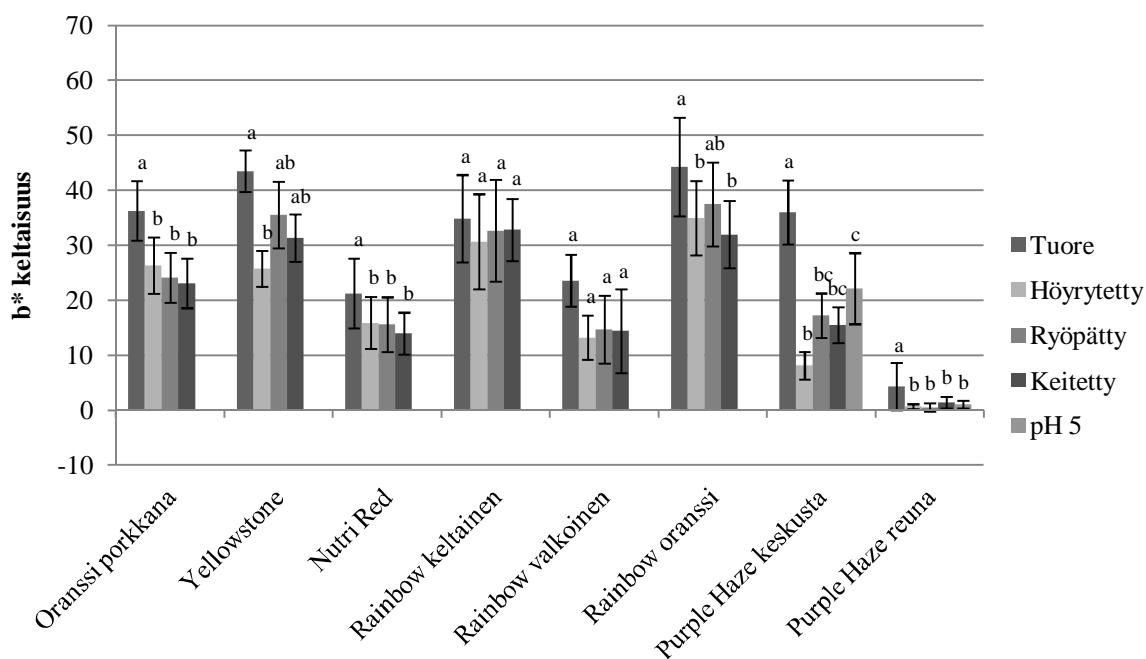


Kuva 12. Käsittelyiden vaikutus porkkanoiden punaisuuteen. Mitä suurempi a*:n arvo on, sitä punaisempi näyte on. Vastaavasti mitä pienempi negatiivinen a*-arvo on, sitä vihreämpi näyte on. Lajikekohtaiset lämpökäsittelyiden väliset tilastollisesti merkittävät erot ($p < 0,05$) on merkitty kirjaimin. Samalla kirjaimella merkittyjen käsittelyjen välillä ei ole eroa.

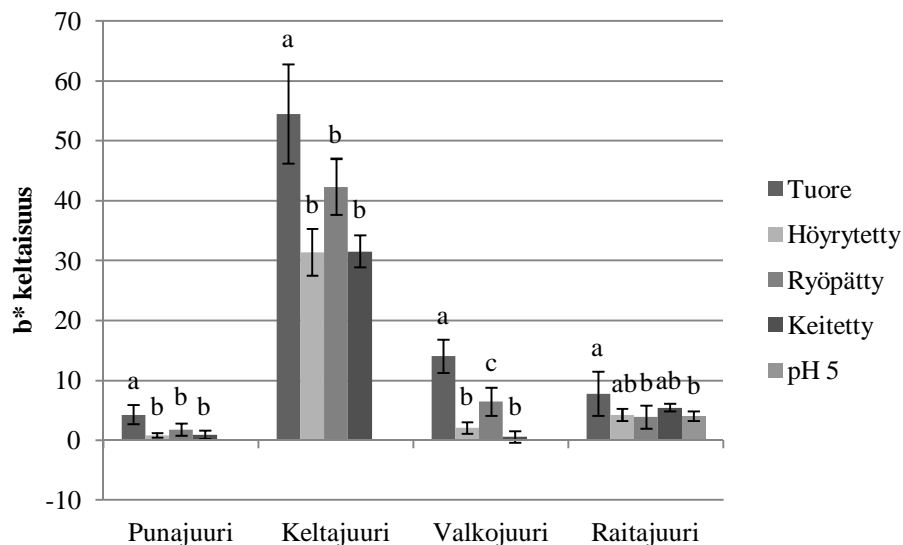


Kuva 13. Käsittelyiden vaikutus punajuurilajikkeiden punaisuuteen. Mitä suurempi a*:n arvo on, sitä punaisempi näyte on. Vastaavasti mitä pienempi negatiivinen a*-arvo on, sitä vihreämpi näyte on. Lajikekohtaiset lämpökäsittelyiden väliset tilastollisesti merkittävät erot ($p < 0,05$) on merkitty kirjaimin. Samalla kirjaimella merkittyjen käsittelyjen välillä ei ole eroa.

Pokkanalajikkeista keltaisimpia olivat Rainbow'n oranssi lajike ja Yellowstone sekä Rainbown keltainen lajike (kuva 14). Yellowstonen ja valkoisen Rainbown sekä raitajuuren keltaisuudessa ei ollut merkittävää eroa tuoreen ja käsiteltyjen näytteiden välillä. Punajuurista keltaisin oli keltajuuri (kuva 15). Valko- ja raitajuuri olivat huomattavasti vähemmän keltaisia ja punajuuri vähiten keltainen.



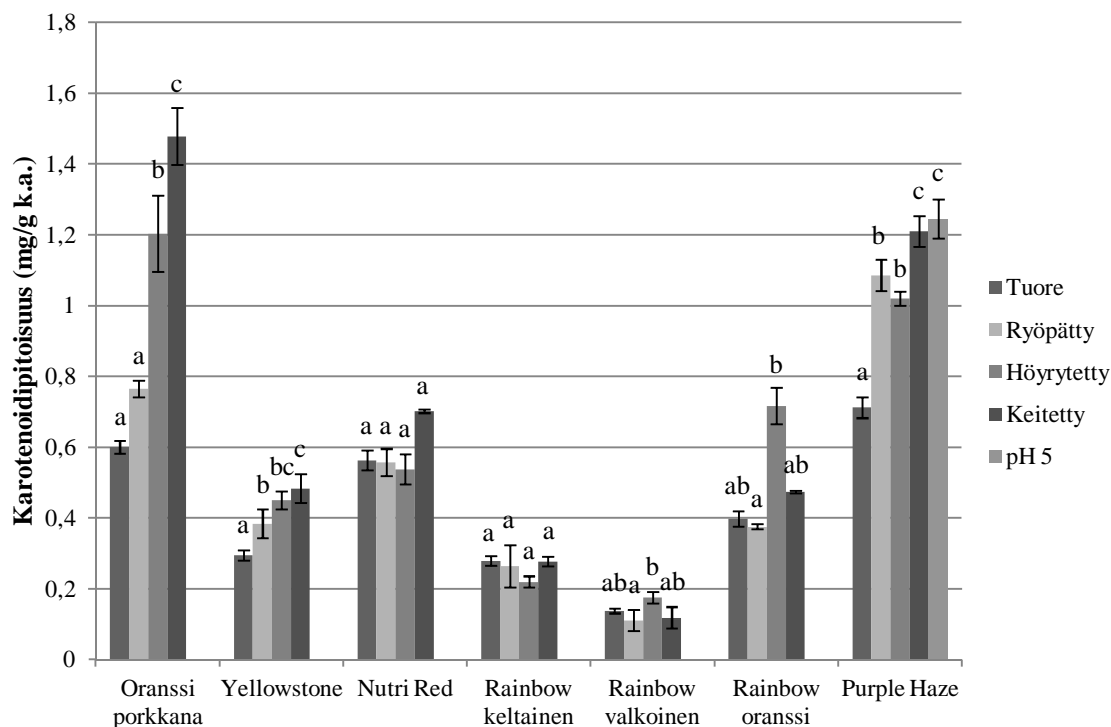
Kuva 14. Käsittelyiden vaikutus porkkanoiden keltaisuuteen. Mitä suurempi b*:n arvo on, sitä keltaisempi näyte on. Vastaavasti mitä pienempi negatiivinen b*-arvo on, sitä sinisempi näyte on. Lajikekohtaiset lämpökäsittelyiden väliset tilastollisesti merkittävät erot ($p < 0,05$) on merkitty kirjaimin. Samalla kirjaimella merkittyjen käsittelyjen välillä ei ole eroa.



Kuva 15. Käsittelyiden vaikutus punajuurilajikkeiden keltaisuuteen. Mitä suurempi b*:n arvo on, sitä keltaisempi näyte on. Vastaavasti mitä pienempi negatiivinen b*-arvo on, sitä sinisempi näyte on. Lajikekohtaiset lämpökäsittelyiden väliset tilastollisesti merkittävät erot ($p < 0,05$) on merkitty kirjaimin. Samalla kirjaimella merkittyjen käsittelyjen välillä ei ole eroa.

3.2.3 Karotenoidipitoisuus

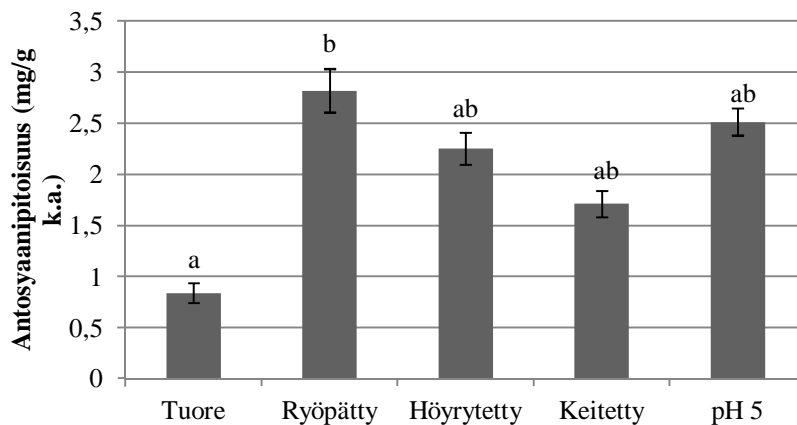
Oranssi ja Purple Haze -lajike olivat karotenoidipitoisimmat porkkanat. Porkkanoiden karotenoidipitoisuudet on nähtävissä kuvasta 16. Tuoreiden porkkanoiden karotenoidipitoisuus lajikkeittain laski järjestyksessä: Oranssi, Purple Haze > Nutri Red, Rainbow oranssi, Yellowstone, Rainbow keltainen > Rainbow valkoinen. Karotenoidipitoisuudet olivat yleisesti suurempia käsitellyissä näytteissä kuin tuoreissa näytteissä. Eroa tuoreiden ja käsiteltyjen näytteiden karotenoidipitoisuuksissa ei kuitenkaan havaittu Nutri Redin ja keltaisen ja valkoisen Rainbown kohdalla.



Kuva 16. Käsittelyiden vaikutus porkkanoiden karotenoidipitoisuuksiin. Lajikekohtaiset lämpökäsittelyiden väliset tilastollisesti merkittävät erot ($p < 0,05$) on merkitty kirjaimin. Samalla kirjaimella merkittyjen käsittelyjen välillä ei ole eroa.

3.2.4 Antosyaanipitoisuus

Purple Haze -lajikkeesta määritetyistä antosyaanipitoisuuksista nähdään käsittelyjen erot: eniten antosyaaneja käsitellyistä näytteistä sisälsivät ryöpätty ja pH 5:ssä keitetty näyte, sitten höyrytetty näyte (kuva 17). Vähiten antosyaaneja oli tuoreessa näytteessä. Tilastollisesti merkittävä ero antosyaanipitoisuudessa oli vain tuoreen ja ryöpätyn porkkanan välillä. Muut lämpökäsittelyt vähensivät antosyaanien pitoisuutta, mutta ei niin merkittävästi, että se olisi eronnut ryöpätyn porkkanan antosyaanipitoisuudesta.

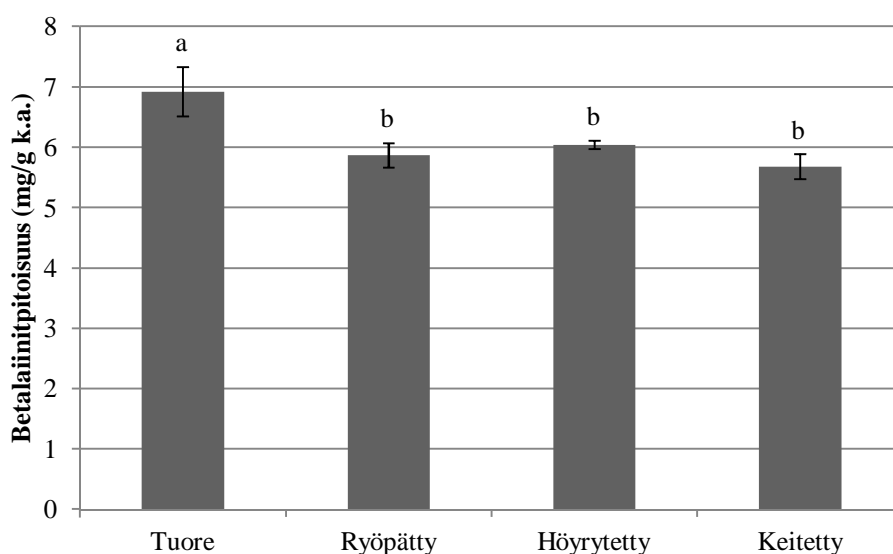


Kuva 17. Käsittelyiden vaikutus Purple Haze -porkkanan antosyaanipitoisuuteen. Samalla kirjaimella merkittyjen lämpökäsittelyjen välillä ei ole tilastollisesti merkittävää eroa ($p < 0,05$).

3.2.5 Betalaiinipitoisuus

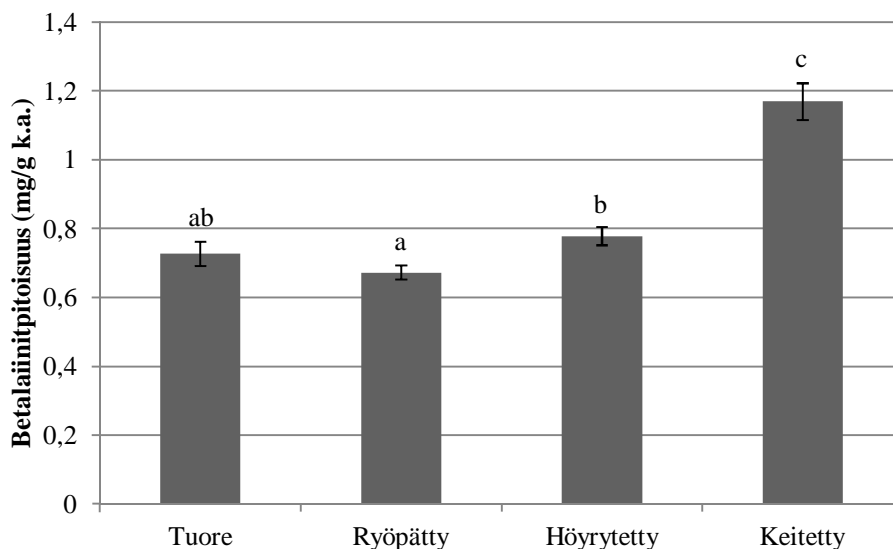
Punajuurilajikkeiden väliset betalaiinipitoisuudet olivat suuria: punajuuri sisälsi tuoreena betaniineja 6,9 mg/g kuiva-ainetta, keltajuuri sisälsi vulgaksantiineja 0,7 mg/g kuiva-ainetta ja raitajuurien ja valkojuurien kokonaisbetalaiinipitoisuus oli 0,17 ja 0,13 mg/g kuiva-ainetta.

Tuore punajuuri sisälsi 6,9 mg/g kuiva-ainetta betaniineja (kuva 18). Käsittelyt laskivat betalaiinipitoisuuden tasolle 6 mg/g kuiva-ainetta. Eri käsittelyjen välillä ei ollut eroja betalaiinipitoisuudessa.

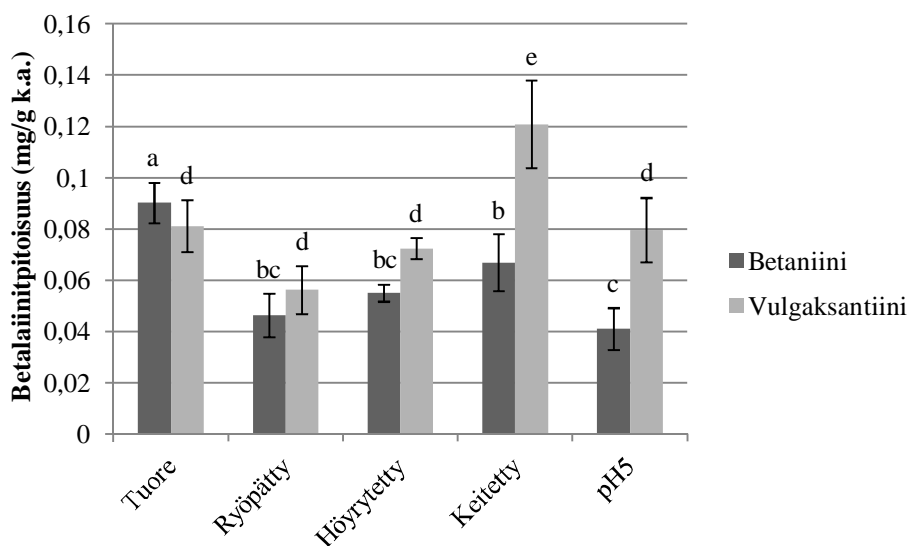


Kuva 18. Käsittelyiden vaikutus punajuuren betaniinipitoisuuteen. Samalla kirjaimella merkittyjen lämpökäsittelyjen välillä ei ole tilastollisesti merkittävää eroa ($p < 0,05$).

Keltajuuren betalaiinipitoisuudet vulgaksantiiniksi laskettuna kasvoivat keitettäessä (kuva 19). Sama vulgaksantiinien määrän kasvu todettiin myös raitajuuressa (kuva 20). Raitajuuren betaniinipitoisuus laski lämpökäsittelyn myötä kuten punajuurenkin. Keitetyn näytteen vulgaksantiinipitoisuus oli merkittävästi suurempi muihin näytteisiin verrattuna. Eroa ei ollut tuoreiden, ryöpättyjen ja höyrytettyjen näytteiden vulgaksantiinipitoisuuksissa. Raitajuuren vulgaksantiinipitoisuus oli keitettyssä näytteessä suurempi kuin säädetyssä pH:ssa keitettyssä näytteessä, joten pH:n säätö vaikutti vulgaksantiinipitoisuuteen. Eroa betaniinipitoisuudessa keitetyn ja säädetyssä pH:ssa keitetyn raitajuuren välillä oli havaittavissa, mutta kumpikaan näytteistä ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi ryöpättyistä tai höyrytettyistä.



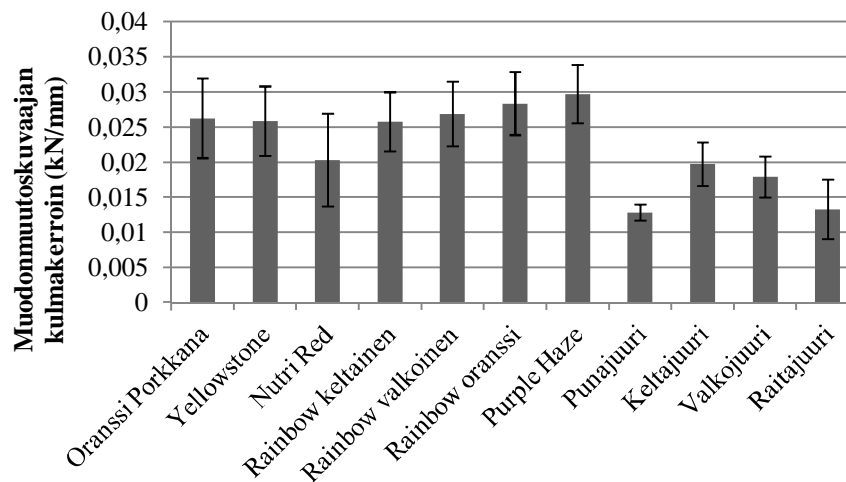
Kuva 19. Käsittelyiden vaikutus keltajuuren vulgaksantiinipitoisuuteen. Samalla kirjaimella merkittyjen lämpökäsittelyjen välillä ei ole tilastollisesti merkittävää eroa ($p < 0,05$).



Kuva 20. Käsittelyiden vaikutus raitajuuren betalaiinipitoisuuksiin. Samalla kirjaimella merkittyjen lämpökäsittelyjen välillä ei ole tilastollisesti merkittävää eroa ($p < 0,05$).

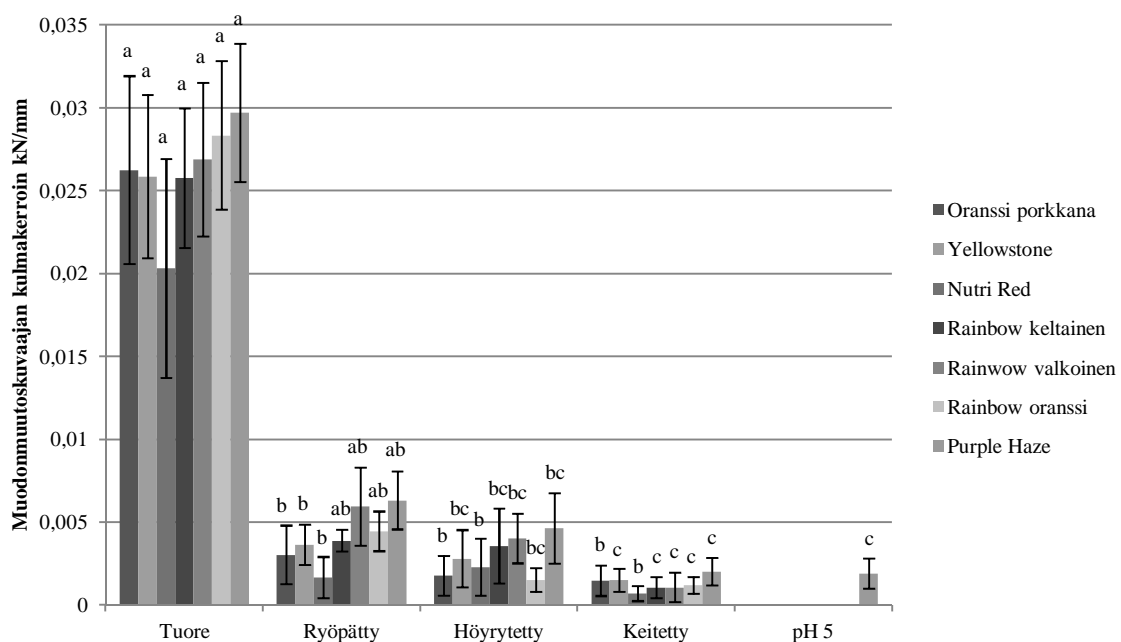
3.2.6 Rakenne

Tuoreiden vihannesten lajikkeiden väliset rakenteen kovuuserot olivat pieniä (kuva 21). Porkkanoista vain Nutri Red poikkesi kovuudeltaan muista porkkanoista olemalla muita pehmeämpi. Porkkanat olivat kovempia kuin juurikkaat.

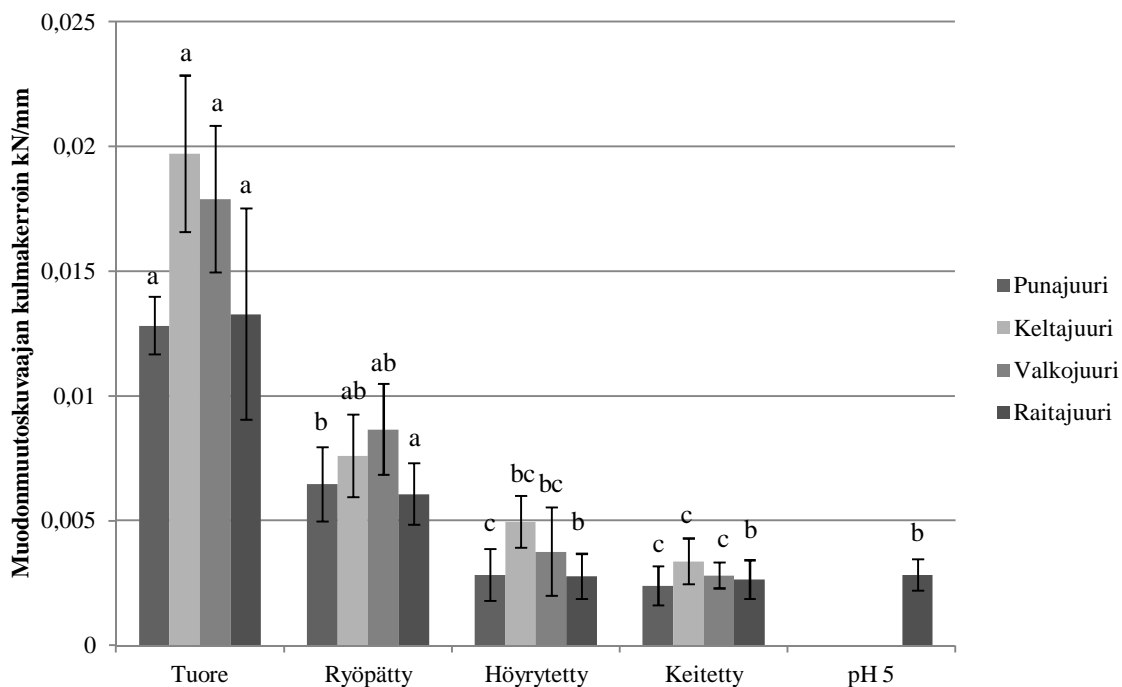


Kuva 21. Porkkana- ja punajuurilajikkeiden väliset kovuuserot tuoreina. Mitä suurempi kulmakerroin, sitä kovempi näyte.

Lämpökäsittely vaikutti rakenteen kovuuteen. Tuore näyte oli kovin, ja ero käsiteltyjen ja tuoreen välillä oli selvä. Eri käsittelyjen väliset erot olivat havaittavissa, mutta ne olivat pieniä. Keitettäessä pH:n säätö neutraalista viiteen ei vaikuttanut vihannesten rakenteen kovuuteen. Porkkanoiden kohdalla keitetyt näytteet olivat ryöpättyjä pehmeämpiä (kuva 22). Tilastollisesti merkitsevää eroa höyrytettyjen ja keitettyjen tai höyrytettyjen ja ryöpättyjen porkkananäytteen välillä ei ollut. Punajuurilajikkeiden kohdalla tilastollisesti merkitsevä ero saatiin, ja ryöpätty näytteet olivatkin kovempia kuin muut käsitellyt näytteet (kuva 23).



Kuva 22. Käsittelyiden vaikutus porkkanoiden kovuuteen. Mitä suurempi kulmakerroin, sitä kovempi näyte. Lajikekohtaiset lämpökäsittelyiden väliset tilastollisesti merkitsevät erot ($p < 0,05$) on merkitty kirjaimin. Samalla kirjaimella merkittyjen käsittelyjen välillä ei ole eroa.



Kuva 23. Käsittelyiden vaikutus punajuurilajikkeiden kovuuteen. Mitä suurempi kulmakerroin, sitä kovempi näyte. Lajikekohtaiset lämpökäsittelyiden väliset tilastollisesti merkittävät erot ($p < 0,05$) on merkitty kirjaimin. Samalla kirjaimella merkittyjen käsittelyjen välillä ei ole eroa.

3.3 Pohdinta

3.3.1 Väri

Tuoret näytteet olivat vaaleampia kuin lämpökäsittellyt näytteet, mutta punaisempia asteikolla punaisesta vihreään ja keltaisempia asteikolla keltaisesta siniseen. Gonçalves ym. (2010) havaitsivat lämpökäsittelyn vaikuttavan porkkanan väriin. Ryöppääminen aikaansai väriarvojen muutoksen, joka kertoi värin tummuneen ja punaisuuden ja keltaisuuden vähentyneen. Gonçalvesin ym. (2010) tutkimuksessa havaittiin myös, että käsittely korkeassa lämpötilassa lyhyellä käsittelyajalla aikaansai suuremman muutoksen värissä kuin pidempi käsittely matalammassa lämpötilassa. Samanlaista käsittelyajan pituuden aiheuttamaa muutosta ei havaittu värierona tässä tutkimuksessa. Ryöppäyksen ja keiton pituuden välinen ero oli hyvin lyhyt, jolloin muutosta värissä ei ehtinyt tapahtua. Käsittelylämpötilojen vaikutusta ei tutkittu tässä tutkimuksessa.

3.3.2 Väriainepitoisuudet

Karotenoidipitoisuudet olivat suurempia käsitellyissä näytteissä kuin tuoreissa näytteissä. Tämä johtui siitä, että karotenoidianalysissa uutto ei ollut riittävä saamaan kaikkia karotenoideja tuoreesta näytteestä, mikä nähdään siinä, että pienikin lämpökäsittely lisäsi

näytteiden karotenoidipitoisuuksia (Khachik ym. 1992). Karotenoidien määrä ei kuitenkaan kasva käsittelyiden myötä, vaan karotenoidipitoisuuksien kasvu johtuu käsittelyjen aiheuttamasta rakenteen muutoksesta. Lämpökäsittely rikkoo solurakenteita siten, että kasvisoluissa tiukasti kiinni olevat karotenoidit vapautuvat. Käsittelyjen välisistä eroista voidaan päätellä, että keitto on hajottanut porkkanoiden rakenteita eniten, jolloin karotenoidit ovat helpommin uuttuvia. Höyrytys vapautti toiseksi eniten karotenoideja ja ryöppäys vähiten. Lämpökäsittelyjen karotenoideja hajottavaa vaikutusta ei käytetyllä koeasetelmalla saatu näkyviin: keittoaikaa olisi tullut pidentää, jotta tämä vaikutus olisi voitu todeta. Khachikin ym. (1992) tutkimuksessa vihreitä papuja keitettiin tunnin ajan, jolloin mm. neoksantiinin ja luteiinin pitoisuudet laskivat, mutta α - ja β -karoteeni-pitoisuuksissa ei ollut merkittävää eroa tuoreiden ja keitettyjen papujen välillä. Scottin ja Eldridgen (2005) tutkimuksessa karotenoidipitoisuudet eivät eronneet säilöttyjen ja tuoreiden maissien välillä, joten tavallisetkaan prosessoinnit eivät yleisestä käsityksestä poiketen aina vähennä karotenoidipitoisuuksia. Tutkimuksessa pakastemaisseja ryöpättiin ennen pakastusta. Ryöppäys ei vähentänyt karotenoidi-pitoisuuksia, vaan päinvastoin toisessa maissilajikkeessa pakastuksen jälkeen karotenoideja oli enemmän kuin tuoreessa ja toisessa saman verran.

Porkkanoiden osalta tuoreen näytteen antosyaanien uutto ei ole riittänyt uuttamaan kaikkia näytteissä olevia antosyaaneja. Kuitenkin miedoinkin käsittely on helpottanut antosyaanien uuttuvuutta rakenteista niin, että tuloksista voidaan nähdä käsittelyjen aiheuttama antosyaanien hajoaminen. Matalan pH:n on todettu parantavan antosyaanien stabiiliutta (Kurca ym. 2007). Kurca ym. (2007) pitivät pH 5:tä raja-arvona, jonka alapuolella mustan porkkanan antosyaanit kestivät paremmin lämpökäsittelyjä, ja jonka yläpuolella antosyaanit olivat herkempiä lämmön vaikutuksille. Violetin porkkanan kohdalla oli havaittavissa vastaavaa: keitetyssä näytteessä oli vähemmän antosyaaneja kuin pH 5 keitetyssä näytteessä. Kurcan ym. (2007) tutkimuksessa lämpökäsittelyt olivat pitkiä, yli tunnin mittaisia. Tutkimuksessa antosyaanien hajoaminen oli selvästi havaittavissa.

Porkkanoiden merkitys ruokavaliossa johtuu pääasiassa karotenoideista, antosyaaneista ja muista fenolisista yhdisteistä (Arscott ja Tanumihardjo 2004). Koska määritetyt karotenoidi- ja antosyaanipitoisuudet olivat korkeampia lämpökäsitellyissä näytteissä verrattuna tuoreisiin näytteisiin, voidaan lämpökäsiteltyjä porkkanoita pitää ravitsemuksellisilta ominaisuuksiltaan laadukkaimmilta tuoreisiin verrattuna.

Betalaiinipitoisuuksien määrittäminen takia tuloksista ei tullut toisiinsa verrattavia. Määrittämällä kaikista punajuurinäytteistä sekä betaniinit että vulgaksantiinit, olisi tuloksista saatu vertailukelpoiset. Nyt tuloksista kuitenkin saadaan selville, että punajuuri on ehdottomasti suurin punaisten betaniinien lähde. Myös Barańskin ym. (2001) tutkimuksessa punajuuren betalaiinipitoisuus oli suurin. Tutkimuksessa punajuuri oli myös paras vulgaksantiinien lähde. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan punajuuren ja keltajuuren välistä eroa vulgaksantiinipitoisuuksissa voitu todeta. Myöskään eroa kyseisten lajikkeiden betaniinipitoisuuksissa ei voitu todeta. Selvä tulos kuitenkin oli, että punajuuret sisälsivät eniten betalaiineja. Seuraavaksi eniten betalaiineja sisälsi keltajuuri. Barańskin ym. (2001) mukaan keltajuuri sisältää huomattavasti vähemmän punaisia betaniineja verrattuna punajuureen. Vähiten betalaiineja sisälsivät raita- ja valkojuuret, sillä pitoisuuksien erot olivat huomattavia. Myös Barańskin ym. (2001) tutkimuksessa raita- ja valkojuurien betalaiinipitoisuudet olivat huomattavasti matalampia puna- ja keltajuuriin verrattuna. Valkojuuri ei sisältänyt ollenkaan betalaiineja ja raidalliset lajikkeet vain vähäisiä määriä punaisia betaniineja ja keltaisia vulgaksantiineja.

Vulgaksantiinipitoisuuden kasvaminen käsittelyjen myötä. Herbachin ym. (2004) mukaan betalaiinien hajoamistuotteet ovat pääasiassa keltaisia ja oranssipunaisia. Onko tässä syy vulgaksantiinien määrän kasvuun raitajuuren kohdalla. Toisaalta keltajuuressakin on sama havaittavissa. Keltajuuren betaniineja ei määritetty. Betaniinipitoisuuksien määrittäminen olisi tuonut tarvittavaa lisätietoa asiaan. Vulgaksantiinipitoisuuden kasvu ja betaniinipitoisuuden lasku on selvästi nähtävissä raitajuuren punaisuudessa, mutta merkittävää eroa keltaisuutta mitattaessa ei ollut. Höyrytetyt ja keitetyt näytteet olivat vähemmän punaisia kuin tuoreet ja ryöpätyt näytteet.

3.3.3 Rakenne

Rakenteen kovuuden mittaamiseen käytetyllä menetelmällä ei saatu selkeitä eroja lajikkeiden välille. Monissa tutkimuksissa on käytetty suurempaa voimakkenoa (Nguyen ym. 2010, Lemmens ym. 2009, De Roeck ym 2010, Araya ym.2009, Rastogi ym.2008). Esikokeissa valittu voimakkeno osoittautui parhaaksi käytössä olevista voimakkenoista.

Koska näytteitä varastoitiin viikkoja ennen käsittelyitä, on mahdollista, että osa lajikkeiden välisistä kovuseroista johtuu niiden erilaisesta säilyvyydestä, eikä tulos näin kerro kaikkea lajikkeiden kovuseroista.

4 PÄÄTELMÄT

Lämpökäsittelyt vaikuttavat sekä vihannesten väriin että rakenteeseen. Kotikeittiössä tehtävät käsittelyt parantavat väriaineiden uuttumista vihannesten rakenteista, jolloin myös niiden käytettävyys ihmisravinnossa paranee. Vasta pitkät lämpökäsittelyt aiheuttavat karotenoidien hajoamista siinä määrin, että voidaan sanoa karotenoideista johtuvan vihannesten ravintoarvon heikkenevän. Antosyaanien kohdalla kotikeittiössä tapahtuvalla keitolla ei ole myöskään ravintoarvoa heikentävää vaikutusta. Kuitenkin nähdään selvästi, että höyrytys säästää enemmän antosyaaneja, joten höyrytys olisi suositeltavampi käsittelytapa antosyaaneja sisältäville tuotteille. Jos otetaan huomioon vain karotenoidi- ja antosyaanipitoisuudet arvioitaessa lämpökäsittelyn vaikutusta vihannesten terveellisyyteen, voidaan olettaa, että lämpökäsittely parantaa vihannesten ravitsemuksellista laatua vapauttamalla karotenoideja vihannesten rakenteista ihmisen käyttöön. Koska porkkanoiden kohdalla karotenoidipitoisuus on yksi tärkeimmistä ravitsemuksellisista ominaisuuksista, ei lyhyehköjen lämpökäsittelyjen voida katsoa heikentävän porkkanoiden merkitystä ruokavaliossa, vaan päinvastoin parantavan sitä.

Porkkanoissa suurimmat karotenoidipitoisuudet todettiin tavallisella oranssilla porkkanalla ja violetilla lajikkeella. Terveellisyyttä arvioitaessa voidaan siis pitää näitä kahta lajiketta terveellisimpinä, kun arvio tehdään vain karotenoidipitoisuuksien perusteella. Koska porkkanoiden merkitys ruokavaliossa johtuu pääasiassa karotenoideista, antosyaaneista ja muista fenolisista yhdisteistä, voidaan oranssia ja violettia porkkanaa pitää ravitsemuksellisilta ominaisuuksiltaan parempina. Tuloksesta johtuen on myös kannattavaa pohtia valkoisen ja vaaleankeltaisten lajikkeiden sisällyttämistä porkkanavalikoimaan. Hyvin vähän karotenoideja sisältävät porkkanat eivät lisää ruokavalion terveellisyyttä siinä määrin kuin tavallinen oranssi porkkana tai violetti porkkana.

Punajuuren betalaiinipitoisuus oli selvästi muita värimuunnoksia suurempi. Jos punajuurilajikkeiden värimuunnosten terveellisyyttä arvioidaan vain antioksidanttiaktiivisuuden perusteella, voidaan punajuurta pitää terveellisimpänä, sillä betalaiinien on todettu olevan antioksidanttiaktiivisia. Punajuurissa on kuitenkin myös muita bioaktiivisia aineita, kuten fenoleita ja foolihappoa, joiden pitoisuuksia tässä tutkimuksessa ei määritetty.

Vaikka tietyn väriaineen vaikutusta terveyteen ei ole varmasti todistettu, on kuitenkin vihannesten kulutus epäilyksettä terveyttä ylläpitävää. Vihannesten väriaineiden ja antioksidanttiaktiivisuuden välinen yhteys on kiistaton, joten syömällä monipuolisesti värikkäitä vihanneksia voi ylläpitää terveyttään. Perinteisten lajien ja lajikkeiden rinnalle tulleet eksoottiset lajit ja uudet värimuunnokset tuovat kuluttajille entistä monipuolisemman valikoiman terveellisiä vaihtoehtoja.

LÄHTEET

- Araya XIT, Smale N, Zabaras D, Winley E, Forde C, Stewart CM, Mawson AJ. 2009. Sensory perception and quality attributes of high pressure processed carrots in comparison to raw, sous-vide and cooked carrots. *Innov Food Sci Emerg* 10:420-433.
- Arscott SA, Tanumihardjo SA. 2004.
- Arscott SA, Tanumihardjo SA. 2010. Carrots of many colors provide basic nutrition and bioavailable phytochemicals acting as a functional food. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 9:223-239.
- Azeredo HMC. 2009. Betalains: properties, sources, applications, and stability – a review. *Int J Food Sci Techn* 44:2365-2376.
- Barański R, Grzebelus D, Frese L. 2001. Estimation of genetic diversity in a collection of the garden beet group. *Euphytica* 122:19-29.
- Caldwell CR ja Britz SJ. 2006. Effect of supplemental ultraviolet radiation on the carotenoid and chlorophyll composition of green house-grown leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars. *J Food Compos Anal* 19: p 637-644.
- Cardello AV. 1996. The role of human senses in food acceptance. Teoksessa: Meiselman HL, toim. Food choice, acceptance and consumption. Chapman & Hall. s 1-82.
- Chen BH, Peng HY, Chen HE. 1995. Changes of carotenoids, color, and vitamin A contents during processing of carrot juice. *J Agric Food Chem* 43:1912-1918.
- Crisp P, Walkey DGA, Bellman E, Roberts E. 1975. A mutation affecting curd colour in cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* dc). *Euphytica* 24:173-176.
- De Roeck A, Mols J, Duvetter T, Van Loey A, Hendrickx M. 2010. Carrot texture degradation kinetics and pectin changes during thermal versus high-pressure/high-temperature processing: a comparative study. *Food Chem* 120:1104-1112.
- Delgado-Vargas F ja Paredes-López O toim. 2003a. Anthocyanins and betalains. Teoksessa: Delgado-Vargas F ja Paredes-López O, toim. Natural colorants for food and nutraceutical uses. CRC Press. 53 s
- Delgado-Vargas F ja Paredes-López O toim. 2003b. Other natural pigments. Teoksessa: Delgado-Vargas F ja Paredes-López O, toim. Natural colorants for food and nutraceutical uses. CRC Press. 35 s
- Evers A-M, Hårdh K, Ylätalo M. 1984. Piha ja Puutarha. Kirjayhtymä, Helsinki. 192 s.
- Evira. 2009. Eviran julkaisuja 4/2009: Lisäaineopas. Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. Helsinki 2009.
- Ferruzzi MG, Blakeslee J. 2007. Digestion, absorption, and cancer preventative activity of dietary chlorophyll derivatives. *Nutr Res* 27:1-12.
- Giusti MM, Jing P. 2008. Analysis of anthocyanins. Teoksessa: Socaciu C, toim. Food Colorants Chemical and Functional Properties. CRC Press. s 479-506.
- Gonçalves EM, Pinheiro J, Abreu M, Brandão TRS, Silva CLM. 2010. Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. *J Food Eng* 97:574-581.
- Gregory JF. 1996. Vitamins. Teoksessa: Fennema OR toim. Food chemistry. 3.p. New York: Marcel Dekker, Inc. s 531-616.
- Hempel J, Böhm H. 1996. Quality and quantity of prevailing flavonoid glycosides of yellow and green French beans (*Phaseolus vulgaris* L.) *J Agric Food Chem* 44:2114-2116.
- Herbach KM, Stintzing FC, Carle R. 2004. Impact of thermal treatment on color and pigment pattern of red beet (*Beta vulgaris* L.) preparations. *J Food Sci* 69: C491-498.

- Herbach KM, Stintzing FC, Carle R. 2006. Betalain stability and degradation– structural and chromatic aspects. *J Food Sci* 71: R41-50.
- Horvitz MA, Simon PW, Tanumihardjo SA. Lycopene and β -carotene are bioavailable from lycopene 'red' carrots in humans. *Eur J Clin Nutr* 58:803-811.
- Jaakkonen A-K. 2011. Puutarhatilastot 2010. Saatavilla: <http://www.maataloustilastot.fi/puutarhatilastot>. Julkaistu 31.3.2011. Tulostettu 28.6.2011.
- Khachik F, Goli MB, Beecher GR, Holden J, Lusby WR, Tenorio MD, Barrera MR. 1992. Effect of food preparation on qualitative and quantitative distribution of major carotenoid constituents of tomatoes and several green vegetables. *J Agric Food Chem* 40:390-398.
- Kurca A, Özkan M, Cemeroğlu B. 2007. Effects of temperature, solid content and pH on the stability of black carrot anthocyanins. *Food Chem* 101:212-218.
- Kotimaiset Kasvikset ry a. kasvisten sukupuu. Saatavilla: <http://www.kasvikset.fi/WebRoot/1033640/Oletussivu.aspx?id=1047891>. Tulostettu 21.6.2010.
- Kotimaiset Kasvikset ry b. Kasvitieto. Saatavilla: <http://www.kasvikset.fi/WebRoot/1033640/Oletussivu.aspx?id=1037431>Tulostettu 21.6.2010.
- Lanfer Marquez UM, Sinnecker P. 2008. Chlorophylls in foods: sources and stability. Teoksessa: Socaciu C, toim. *Food Colorants Chemical and Functional Properties*. CRC Press. s 195-211.
- Lemmens L, Tibäck E, Svelander C, Smout C, Ahrné L, Langton M, Alming M, Van Loey A, Hendrickx M. 2009. Thermal pretreatments of carrot pieces using different heating techniques: effect on quality related aspects. *Innov Food Sci Emerg* 10:522-529.
- Lessin WJ, Catigani GL, Shwartz SJ. 1997. Quantification of *cis-trans* isomers of provitamin A carotenoids in fresh and processed fruits and vegetables. *J Agric Food Chem* 45:3728-3732.
- Li L, Paolillo DJ, Parthasarathy MV, DiMuzio EM, Garvin DF. 2001. A novel gene mutation that confers abnormal patterns of β -carotene accumulation in cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*). *Plant J* 26:59-67.
- Lo Scalzo R, Genna A, Branca F, Chedin M, Chassaigne H. 2008. Anthocyanin composition of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) and cabbage (*B. oleracea* L. var. *capitata*) and its stability in relation to thermal treatments. *Food Chem* 107:136-144.
- Marx M, Stuparic M, Schieber A, Carle R. 2003. Effects of thermal processing on *trans-cis*-isomerization of β -carotene in carrot juices and carotene-containing preparations. *Food Chem* 83:609-617.
- Nicolle C, Simon G, Rock E, Amouroux P, Révész C. 2004. Genetic variability influences carotenoid, vitamin, phenolic, and mineral content in white, yellow, purple, orange, and dark-orange carrot cultivars. *J Amer Soc Hort Sci* 129:523-529.
- Nguyen LT, Tay A, Balasubramaniam VM, Legan JD, Turek EJ, Gupta R. 2001. Evaluating the impact of thermal and pressure treatment in preserving textural quality of selected foods. *Food Sci Technol* 43:525-534.
- Mayer-Miebach E ja Spieß WEL. 2003. Influence of cold storage and blanching on the carotenoid content of *Kintoki* carrots. *J Food Eng* 56:211-213.
- Mercadante AZ. 2008. Analysis of carotenoids. Teoksessa: Socaciu C, toim. *Food Colorants Chemical and Functional Properties*. CRC Press. s 447-478.
- Mercadante AZ ja Bobbio FO. 2008 Anthocyanins in foods: occurrence and physicochemical properties. Teoksessa: Socaciu C, toim. *Food Colorants Chemical and Functional Properties*. CRC Press. s 241-276.
- Patras A, Brunton NP, O'Donnell C, Tiwari BK. 2010. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanism and kinetics of degradation. *Trends Food Sci Technol* 21:3-11.

- Pihlanto A. 2011. Potato and other root crops. Teoksessa: Terry LA, toim. Health-Promoting Properties of Fruit and Vegetables. Cambridge: CABI Publishing. s 218-237.
- Pyo Y-H, Lee T-C, Logendra L, Rosen RT. 2004. Antioxidant activity and phenolic compounds of Swiss chard (*Beta vulgaris* subspecies *cycla*) extracts. Food Chem 85:19-26.
- Rastogi NK, Nguyen LT, Balasubramaniam VM. 2008. Effect of pretreatments on carrot texture after thermal and pressure-assisted thermal processing. J Food Eng 88:541-547.
- Riedl 2007. Colour stability measurements of anthocyanins from black carrot extract and elderberry concentrate. Helsingin yliopisto.
- Rock CL. 1997. Carotenoids: biology and treatment. Pharmacol Ther 75:185-197.
- Ross CA. 2006. Vitamin A and carotenoids. Teoksessa: Shils ME, toim. Modern nutrition in health and disease. 10.p. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. s 351-375.
- Scott CE ja Eldridge AL. 2005. Comparison of carotenoid content in fresh, frozen and canned corn. J Food Compost Anal 18:551-559.
- Shahidi F, Naczki M. 2003 Cereals, legumes, and nuts. Teoksessa: Phenolics in food and nutraceuticals. CRC Press. 66 s.
- Simonne AH, do Nascimento Nunes, C, Brecht JK. 2011. Tomato and Other Solanaceous Fruits. Teoksessa: Terry LA, toim. Health-Promoting Properties of Fruit and Vegetables. Cambridge: CABI Publishing. s 321-351.
- Smith AC, Waldron KW, Maness N, Perkins-Veazie P. 2002. Vegetable texture: measurement and structural implications. Teoksessa: Bartz JA, toim. Postharvest physiology and pathology of vegetables. CRC Press. 33 s
- Stintzing FC, Schieber A, Carle R. 2002. Identification of betalains from yellow beet (*Beta vulgaris* L.) and cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. J Agric Food Chem 50:2302-2307.
- Stintzing FC ja Carle R. 2004. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food and in human nutrition. Trends Food Sci Technol 15:19-38.
- Stintzing FC ja Carle R. 2008. Analysis of betalains. Teoksessa: Socaciu C, toim. Food Colorants Chemical and Functional Properties. CRC Press. s 507-520.
- Surles RL, Weng N, Simon PW, Tanumihardjo SA. 2004. Carotenoid profiles and consumer sensory evaluation of specialty carrots (*Daucus carota*, L.) various colors. J Agric Food Chem 52:3417-3421.
- Updike AA ja Schwartz SJ. 2003. Thermal processing of vegetables increases cis isomers of lutein and zeaxanthin. J Agric Food Chem 51:6184-6190.
- Voipio I. 2001. Vihannekset –lajit, viljely, sato. Puutarhaliiton julkaisu nro 316. Opas nro 46.
- Volden J, Bengtsson GB, Wicklund T. 2009. Glucosinolates, L-ascorbic acid, total phenols, anthocyanins, antioxidant capacities and colour in cauliflower (*brassica oleracea* L. ssp. *botrytis*); effects of long-term freezer storage. Food Chem 112:967-976.
- von Elbe JH ja Schwartz SJ. 1996. Colorants. Teoksessa: Fennema OR, toim. Food chemistry. 3.p. New York: Marcel Dekker, Inc. s 651-722.
- Walley PG ja Buchanan-Wollaston V. 2011. Brassicas. Teoksessa: Terry LA, toim. Health-Promoting Properties of Fruit and Vegetables. Cambridge: CABI Publishing. s 74-89.
- Ötles S ja Çagindi Ö. 2008. Carotenoids as natural colorants. Teoksessa: Socaciu C, toim. Food Colorants Chemical and Functional Properties. CRC Press. s 51-70.

LIITTEET

Liite 1. Varianssianalyysien tulokset

Käsittelyllä tarkoitetaan näytteille tehtyjä lämpökäsittelyjä.

Oranssi porkkana

Karotenoidipitoisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	1,45502	3	0,48501	102,22	$1,02 \cdot 10^{-6}$
Käsittelyjen sisäinen	0,03796	8	0,00474		
Kokonaisvaihtelu	1,49298	11			

Väriin vaaleus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	307,093	3	123,364	52,46	$1,32 \cdot 10^{-5}$
Käsittelyjen sisäinen	18,814	8	2,352		
Kokonaisvaihtelu	388,907	11			

Väriin punaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	262,604	3	87,5348	6,96	0,013
Käsittelyjen sisäinen	100,637	8	12,5796		
Kokonaisvaihtelu	363,241	11			

Väriin keltaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	328,219	3	109,406	16,49	0,0009
Käsittelyjen sisäinen	53,071	8	6,634		
Kokonaisvaihtelu	381,29	11			

Rakenteen kovuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	33374,6	3	1124,87	24,72	$1,77 \cdot 10^{-5}$
Käsittelyjen sisäinen	1950,4	36	54,18		
Kokonaisvaihtelu	5325	39			

Yellowstone

Karotenoidipitoisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	0,06228	3	0,02076	19,99	0,0004
Käsittelyjen sisäinen	0,00831	8	0,00104		
Kokonaisvaihtelu	0,07059	11			

Värin vaaleus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	1040,11	3	346,703	52,12	$1,35 \cdot 10^{-5}$
Käsittelyjen sisäinen	53,22	8	6,652		
Kokonaisvaihtelu	1093,33	11			

Värin punaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	89,6667	3	29,8889	6,9	0,075
Käsittelyjen sisäinen	53,3333	8	6,6667		
Kokonaisvaihtelu	143	11			

Värin keltaisuus

Vaihtelun lähde	SS	Df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	113,667	3	37,8889	8,74	0,033
Käsittelyjen sisäinen	29,333	8	3,6667		
Kokonaisvaihtelu	143	11			

Rakenteen kovuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	3983,85	3	1327,95	29,17	$2,06 \cdot 10^{-6}$
Käsittelyjen sisäinen	1342,15	36	37,28		
Kokonaisvaihtelu	5326	39			

Nutri Red

Karotenoidipitoisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	89,6667	3	29,8889	6,9	0,075
Käsittelyjen sisäinen	53,3333	8	6,6667		
Kokonaisvaihtelu	143	11			

Väriin vaaleus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	402,898	3	134,299	41,77	$3,11 \cdot 10^{-5}$
Käsittelyjen sisäinen	25,722	8	3,215		
Kokonaisvaihtelu	428,621	11			

Väriin punaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	197,761	3	65,9202	15,87	0,001
Käsittelyjen sisäinen	33,225	8	4,1531		
Kokonaisvaihtelu	230,986				

Väriin keltaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	90,395	3	30,1318	22,66	0,0003
Käsittelyjen sisäinen	10,638	8	1,3297		
Kokonaisvaihtelu	101,033	11			

Rakenteen kovuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	3495,2	3	1165,07	25,61	$1,15 \cdot 10^{-5}$
Käsittelyjen sisäinen	1828,3	36	50,79		
Kokonaisvaihtelu	5323,5	39			

Keltainen Rainbow

Karotenoidipitoisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	0,00694	3	0,00231	2,2	0,17
Käsittelyjen sisäinen	0,00841	8	0,00105		
Kokonaisvaihtelu	0,01535	11			

Värin vaaleus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	95	3	31,6667	7,33	0,062
Käsittelyjen sisäinen	47,5	8	5,9375		
Kokonaisvaihtelu	142,5	11			

Värin punaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	31,0773	3	10,3591	6,42	0,016
Käsittelyjen sisäinen	12,9044	8	1,613		
Kokonaisvaihtelu	43,9817	11			

Värin keltaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	9,667	3	3,2222	0,74	0,86
Käsittelyjen sisäinen	133,333	8	16,6667		
Kokonaisvaihtelu	143	11			

Rakenteen kovuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	4341,95	3	1447,32	31,8	$5,76 \cdot 10^{-7}$
Käsittelyjen sisäinen	982,55	36	27,29		
Kokonaisvaihtelu	5324,5	39			

Valkoinen Rainbow

Karotenoidipitoisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	0,00747	3	0,00249	4,7	0,036
Käsittelyjen sisäinen	0,00424	8	0,00053		
Kokonaisvaihtelu	0,0117	11			

Väriin vaaleus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	391,375	3	130,458	19,59	0,0005
Käsittelyjen sisäinen	53,262	8	6,658		
Kokonaisvaihtelu	444,637	11			

Väriin punaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	23,5085	3	7,83616	55,32	$1,08 \cdot 10^{-5}$
Käsittelyjen sisäinen	1,1331	8	0,14164		
Kokonaisvaihtelu	24,6416	11			

Väriin keltaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	89,6667	3	29,8889	6,9	0,075
Käsittelyjen sisäinen	53,3333	8	6,6667		
Kokonaisvaihtelu	143	11			

Rakenteen kovuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	4472,55	3	1490,85	32,74	$3,66 \cdot 10^{-7}$
Käsittelyjen sisäinen	855,95	36	23,78		
Kokonaisvaihtelu	5328,5	39			

Oranssi Rainbow

Karotenoidipitoisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	129,667	3	43,2222	9,97	0,019
Käsittelyjen sisäinen	13,333	8	1,6667		
Kokonaisvaihtelu	143	11			

Väriin vaaleus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	612,087	3	204,029	51,83	$1,38 \cdot 10^{-5}$
Käsittelyjen sisäinen	31,489	8	3,936		
Kokonaisvaihtelu	643,576	11			

Väriin punaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	89,6667	3	29,8889	6,9	0,075
Käsittelyjen sisäinen	53,333	8	6,6667		
Kokonaisvaihtelu	143	11			

Väriin keltaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	247,585	3	82,5283	7,72	0,0095
Käsittelyjen sisäinen	85,483	8	10,6854		
Kokonaisvaihtelu	333,068	11			

Rakenteen kovuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	4463,75	3	1487,92	32,71	$3,70 \cdot 10^{-7}$
Käsittelyjen sisäinen	857,75	36	23,83		
Kokonaisvaihtelu	5321,5	39			

Violetti porkkana

Karotenoidipitoisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	0,53947	4	0,13487	83,43	$1,22 \cdot 10^{-7}$
Käsittelyjen sisäinen	0,01616	10	0,00162		
Kokonaisvaihtelu	0,55563	14			

Antosyaanipitoisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	264,667	4	66,1667	13,23	0,010
Käsittelyjen sisäinen	15,333	10	1,5333		
Kokonaisvaihtelu	280	14			

Värin vaaleus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	747,199	4	186,8	38,68	$4,70 \cdot 10^{-6}$
Käsittelyjen sisäinen	48,296	10	4,863		
Kokonaisvaihtelu	795,495	14			

Värin punaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	431,964	4	107,991	7,02	0,0058
Käsittelyjen sisäinen	153,787	10	15,379		
Kokonaisvaihtelu	585,751	14			

Värin keltaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	1287,56	4	321,891	20,53	$8,23 \cdot 10^{-5}$
Käsittelyjen sisäinen	156,79	10	15,679		
Kokonaisvaihtelu	1444,36	14			

Värin vaaleus violetissa reunassa

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	59,828	4	14,9571	0,73	0,59
Käsittelyjen sisäinen	204,849	10	20,4849		
Kokonaisvaihtelu	264,677	14			

Värin punaisuus violetissa reunassa

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	15,6196	4	3,90489	2,04	0,16
Käsittelyjen sisäinen	19,1252	10	1,91252		
Kokonaisvaihtelu	34,7447	14			

Värin keltaisuus violetissa reunassa

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	29,6185	4	7,40462	21,46	$6,77 \cdot 10^{-5}$
Käsittelyjen sisäinen	3,4501	10	0,34501		
Kokonaisvaihtelu	33,0686	14			

Rakenteen kovuus					
Vaihtelun lähde	SS	<i>df</i>	MS	χ^2	<i>p</i>
Käsittelyjen välinen	8273,85	4	2068,46	38,97	$7,07 \cdot 10^{-8}$
Käsittelyjen sisäinen	2130,15	45	47,34		
Kokonaisvaihtelu	10404	49			

Keltajuuri

Vulgaksantiinipitoisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	<i>p</i>
Käsittelyjen välinen	0,45876	3	0,15292	118,74	$5,68 \cdot 10^{-7}$
Käsittelyjen sisäinen	0,0103	8	0,00129		
Kokonaisvaihtelu	0,46907	11			

Värin vaaleus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	<i>p</i>
Käsittelyjen välinen	1101,75	3	367,251	116,35	$6,15 \cdot 10^{-7}$
Käsittelyjen sisäinen	25,25	8	3,156		
Kokonaisvaihtelu	1127	11			

Värin punaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	<i>p</i>
Käsittelyjen välinen	90,765	3	30,2549	15,86	0,001
Käsittelyjen sisäinen	15,261	8	1,9076		
Kokonaisvaihtelu	106,026	11			

Värin keltaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	<i>p</i>
Käsittelyjen välinen	1082,77	3	360,925	20,15	0,0004
Käsittelyjen sisäinen	143,27	8	17,909		
Kokonaisvaihtelu	1226,05	11			

Rakenteen kovuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	<i>p</i>
Käsittelyjen välinen	4623,75	3	1541,25	33,85	$2,13 \cdot 10^{-7}$
Käsittelyjen sisäinen	702,75	36	19,52		
Kokonaisvaihtelu	5326,5	39			

Punajuuri

Betaniinipitoisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	<i>p</i>
Käsittelyjen välinen	2,71944	3	0,90648	14,25	0,0014
Käsittelyjen sisäinen	0,50882	8	0,0636		
Kokonaisvaihtelu	3,22826	11			

Värin vaaleus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	<i>p</i>
Käsittelyjen välinen	51,8026	3	17,2675	14,68	0,0013
Käsittelyjen sisäinen	9,4076	8	1,176		
Kokonaisvaihtelu	61,2102	11			

Värin punaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	<i>p</i>
Käsittelyjen välinen	207,557	3	90,1858	19,48	0,0005
Käsittelyjen sisäinen	37,029	8	4,6286		
Kokonaisvaihtelu	307,586	11			

Värin keltaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	<i>p</i>
Käsittelyjen välinen	23,1752	3	7,72508	13,01	0,0019
Käsittelyjen sisäinen	4,7514	8	0,59392		
Kokonaisvaihtelu	27,9266	11			

Rakenteen kovuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	<i>p</i>
Käsittelyjen välinen	0,0007	3	0,00023	177,95	$1,22 \cdot 10^{-21}$
Käsittelyjen sisäinen	0,00005	36	0		
Kokonaisvaihtelu	0,00074	39			

Valkojuuri

Värin vaaleus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	961,79	3	320,597	13,77	0,0016
Käsittelyjen sisäinen	186,27	8	23,283		
Kokonaisvaihtelu	1148,06	11			

Värin punaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	25,8543	3	8,61809	39,62	$3,79 \cdot 10^{-5}$
Käsittelyjen sisäinen	1,7401	8	0,21751		
Kokonaisvaihtelu	27,5944	11			

Värin keltaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	p
Käsittelyjen välinen	327,414	3	109,138	53,87	$1,19 \cdot 10^{-5}$
Käsittelyjen sisäinen	16,207	8	2,026		
Kokonaisvaihtelu	343,621	11			

Rakenteen kovuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	4433,6	3	1477,87	32,47	$4,16 \cdot 10^{-7}$
Käsittelyjen sisäinen	890,9	36	24,75		
Kokonaisvaihtelu	5324,5	39			

Raitajuuri

Betaniinipitoisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	<i>p</i>
Käsittelyjen välinen	0,00458	4	0,00115	17,04	0,0002
Käsittelyjen sisäinen	0,00067	10	0,00007		
Kokonaisvaihtelu	0,00525	14			

Vulgaksantiinipitoisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	<i>p</i>
Käsittelyjen välinen	0,00682	4	0,0017	13,01	0,0006
Käsittelyjen sisäinen	0,00131	10	0,00013		
Kokonaisvaihtelu	0,00813	14			

Värin vaaleus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	<i>p</i>
Käsittelyjen välinen	667,77	4	166,942	3,6	0,046
Käsittelyjen sisäinen	464,02	10	46,402		
Kokonaisvaihtelu	1131,79	14			

Värin punaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	<i>p</i>
Käsittelyjen välinen	807,34	4	201,834	10,28	0,0014
Käsittelyjen sisäinen	196,39	10	19,639		
Kokonaisvaihtelu	1003,73	14			

Värin keltaisuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	F	<i>p</i>
Käsittelyjen välinen	32,0784	4	8,0196	4,59	0,023
Käsittelyjen sisäinen	17,4907	10	1,74907		
Kokonaisvaihtelu	49,5691	14			

Rakenteen kovuus

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	<i>p</i>
Käsittelyjen välinen	7979,9	4	1994,99	37,6	$1,35 \cdot 10^{-7}$
Käsittelyjen sisäinen	2418,6	45	53,75		
Kokonaisvaihtelu	10398,5	49			

Tuoreiden porkkananäytteiden karotenoidipitoisuuksien erot

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	746,667	6	124,444	19,39	0,0035
Käsittelyjen sisäinen	23,333	14	1,667		
Kokonaisvaihtelu	770	20			

Tuoreiden vihannesten kovuserot

Vaihtelun lähde	SS	df	MS	χ^2	p
Käsittelyjen välinen	74972,1	10	7497,21	73,7	$8,53 \cdot 10^{-12}$
Käsittelyjen sisäinen	35915,9	99	362,79		
Kokonaisvaihtelu	110888	109			