



Johanna Ranta

Valaistuksen vaikutus sisäviljeltyjen tomaattien laatuominaisuuksiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

27.3.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Johanna Ranta
Otsikko:	Valaistuksen vaikutus sisäviljeltyjen tomaattien laatuominaisuuksiin
Sivumäärä:	47 sivua + 3 liitettä
Aika:	27.3.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine:	Bio- ja elintarviketekniikka
Ohjaajat:	Urban & Local -hankkeen projektipäällikkö Kaj Lindedahl Lehtori Pia-Tuulia Laine

Insinööriyössä tutkittiin kasvatusvalaistuksen vaikutuksia Saint Pierre -tomaatin laatuominaisuuksiin. Työn tavoitteena oli tuottaa käyttökelpoista vertailudataa hyödynnettäväksi kasvatusvalaisinten tuotekehityksessä ja tomaatin kasvatuksessa käytetävän valon spektrin optimoinnissa.

Työn teoriaosiossa esiteltiin tomaatin tärkeimpiä laatutekijöitä sekä kartoitettiin olemassa olevaa tietoa valon eri aallonpituuksien vaikutuksista tomaatin laatuun. Kokeellisessa osuudessa kolmen näkyvää valoa sisältäneen, mutta UVA- ja kaukopunasäteilyn osalta eronneen kasvatusosaston tomaattinäytteistä (n=4) määritettiin Brix- ja pH-arvot sekä tehtiin rakenne-, volyyymi- ja värimittaukset. Kolmitestin avulla selvitettiin, ilmenikö eri osastojen tomaattinäytteiden välillä aistittavaa eroa. Tuloksista nähtiin, että UVA-säteilyä ja suuremman määrän KP-säteilyä sisältäneellä osastolla kasvatetut tomaatit olivat kiinteimpiä ja niistä mitattiin aavistuksen muiden osastojen näytteitä korkeammat Brix-arvot sekä matalammat pH-arvot. Pelkkää UVA-säteilylisää sisältäneellä osastolla kasvatetut tomaatit olivat kiinteitä, mutta muita osastoja pienempikokoisia ja väriltään vaaleimpia. Ilman UVA-säteilylisää kasvatetut tomaatit olivat väriltään punaisimpia, mutta rakenteeltaan heikoimpia. Havaitut erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Kolmitestissä (n=11) tilastollisesti merkitsevä aistinvarainen ero (p=0,0088) havaittiin kahden UVA-säteilylisän osalta eronneen kasvatusosaston näytteiden välillä.

Työ toteutettiin onnistuneesti ja sen avulla saatiin tietoa valon vaikutuksista tomaatin laatuun. Laadun kannalta optimaalisen KP- ja UVA-säteilyn tehon ja keston selvittämisen todetaan olevan mielenkiintoinen jatkotutkimuskohde tulevaisuudessa. Laatuominaisuuksiin vaikuttavien yhdisteiden, kuten lykopeenin, fenolisten yhdisteiden ja VOC-yhdisteiden pitoisuuksien määrittäminen antaisi lisätietoa valon spektrien vaikutuksista laatuun. Lisäksi ehdotetaan yleisen kuvailevan menetelmän hyödyntämistä koulutetulla raadilla kolmitestissä havaitun tilastollisesti merkitsevän eron aiheuttajan selvittämiseksi.

Avainsanat: tomaatti, laatu, kasvivalaisin, aallonpituus

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Johanna Ranta
Title: Influence of Lighting on Quality Attributes of Indoor-Cultivated Tomatoes
Number of Pages: 47 pages + 3 appendices
Date: 27 March 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major: Biotechnology and Food Engineering
Supervisors: Kaj Lindedahl, Project Manager
Pia-Tuulia Laine, Senior Lecturer

In this thesis, the effects of cultivation lighting on the quality characteristics of the Saint Pierre tomato were examined. The aim was to generate practical comparative data to be used in the product development of growth lights and in optimizing the light spectrum for tomato cultivation.

In the theoretical part of the thesis, important quality factors for tomatoes and the existing knowledge on the impact of various light wavelengths on tomato quality were studied. In the experimental part, Brix and pH values were measured for tomato samples ($n=4$) from three growth compartments that included visible light but varied in their UVA and far-red radiation. Structural, volume, and color measurements were also conducted. A triangle test was used to explore whether there was a noticeable difference between the tomato samples from the different compartments. The findings indicated that tomatoes grown in the compartment with UVA radiation and a higher amount of far-red radiation were firmer and had slightly higher Brix values and lower pH values compared to samples from the other compartments. Tomatoes grown with only an addition of UVA radiation were firm but smaller in size and lighter in color than those from other compartments. Tomatoes cultivated without the addition of UVA radiation were the reddest but had the weakest structure. The differences observed were not statistically significant. However, a statistically significant sensory difference ($p=0.0088$) was detected between samples from two compartments that differed in their UVA radiation addition, as determined by the triangle test ($n=11$).

The thesis was successfully executed and provided insights into the effects of light on tomato quality. Determining the optimal intensity and duration of FR and UVA radiation for quality purposes emerges as an intriguing area for future research. Measuring the concentrations of quality-affecting compounds would offer further insights into the impact of light spectra on quality. Additionally, the use of a general descriptive method with a trained panel is recommended to identify the cause of the statistically significant difference observed in the triangle test.

Keywords: Tomato, Quality, Light, Wavelength

The originality of this thesis has been checked using Turnitin Originality Check service.

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tomaatin laatutekijät ja koostumus	2
2.1	Tomaatin laatutekijät	2
2.1.1	Väri	2
2.1.2	Maku, haju ja flavori	3
2.1.3	Rakenne	3
2.1.4	Koko, muoto ja pinta	3
2.1.5	Laatuluokitukset	4
2.2	Tomaatin koostumus	4
2.3	Tomaatin laatuun vaikuttavat yhdisteet	6
2.3.1	Sokeri- ja happopitoisuus	6
2.3.2	Umami-yhdisteet	8
2.3.3	Sekundaariset aineenvaihduntatuotteet ja antioksidantit	9
2.3.4	Haihtuvat orgaaniset yhdisteet	10
2.4	Saint Pierre -lajike	11
3	Kasvien valaistus sisäkasvatuksessa	11
3.1	Fotosynteesistä aktiivinen säteily	11
3.2	PAR-alueen ulkopuolinen säteily	13
4	Valaistuksen vaikutus tomaattiin	14
4.1	Vaikutukset kasvuun ja satoon	14
4.2	Vaikutukset laatuominaisuuksiin	16
4.2.1	Näkyvän valon aallonpituudet	17
4.2.2	UV-säteily	18
4.2.3	Kaukopunasäteily	20
5	Materiaalit ja menetelmät	22
5.1	Vesiviljellyt tomaatit ja niiden valo-olosuhteet	22
5.1.1	Aistinvaraisen arvioinnin näytteet	23
5.1.2	Laboratoriomittauksissa käytetyt näytteet	24
5.2	Värimittaukset	25

5.3	Tilavuuden ja kiinteyden mittaukset	27
5.4	Brix- ja pH-mittaukset	28
5.5	Kolmitesti	29
5.6	Tulosten käsittely	31
6	Tulokset ja niiden tulkinta	31
6.1	Yleistä	31
6.2	Eri valaistusolosuhteissa kasvatettujen tomaattien värierot ja pintavirheet	31
6.3	Erot rakenteellisissa ominaisuuksissa	34
6.4	Tomaattien happamuudet ja sokeripitoisuudet	40
6.5	Tomaattien aistinvaraiset erot	42
7	Yhteenveto	44
	Lähteet	47
	Liitteet	
	Liite 1: Pakkaskuivatut tomaattinäytteet	
	Liite 2: Kolmitestin arviointilomake	
	Liite 3: Mittaustulosten tilastolliset analyysit	

Lyhenteet

- ANOVA: *Analysis of Variance*. Varianssianalyysi, jolla voidaan selvittää, onko vertailtavien ryhmien välillä tilastollisesti merkittävää eroa.
- °Brix: Liukseen liuenneiden kuiva-aineiden pitoisuus (1 °Brix = 1 gramma kiintoaineita liuenneena 100 grammaan nestettä).
- DLI: *Daily Light Integral*. Päivittäinen valointegraali.
- LED: *Light Emitting Diode*. Valodiodi.
- PAR: *Photosynthetically Active Radiation*. Fotosynteettisesti aktiivinen säteily.
- pH: Liuoksen happamuus lukuarvolla ilmaistuna (pH < 7 = hapan, pH > 7 = emäksinen).
- P:KP: Valon punaisen aallonpituuden (600–700 nm) ja kaukopunasäteilyn (730 nm) välinen suhde.
- PPFD: *Photosynthetic Photon Flux Density*. Fotosynteettisesti aktiivinen säteilyvuon tiheys.
- UV: *Ultravioletti*. Sähkömagneettisäteily, jonka aallonpituus on 10–400 nanometriä.

1 Johdanto

Viime vuosina kasvivalaistuksen alalla tapahtunut merkittävä kehitys on avannut uusia näkökulmia kasvien kasvuedellytysten tutkimiseen ja optimointiin. Erityisesti LED-valotekniikan (*Light Emitting Diode*) kehittyminen on tuonut mukanaan mahdollisuuksia tarkastella valon aallonpituuden vaikutuksia kasvien kasvuun ja laatuun aiempaa tarkemmin. Yksi tärkeä tutkimuskohde tässä kontekstissa on ollut tomaatin laadun optimointi valon avulla. [1, s. 2.] Tomaatti (*Solanum lycopersicum L.*) on yksi maailman merkittävimmistä kasviksista sekä kaupallisesti että ravitsemuksellisesti [2, s. 199], mikä tekee sen laadun parantamisesta ja tuotannon optimoinnista keskeisen tutkimuskohteen. Tomaatin ympärivuotinen viljely Suomessa ei ole mahdollista ilman keinotekoisia valaistusta, sillä loppusyksyllä ja talven aikana auringonvalon määrä on riittämätön kasvien tarpeisiin, mikä näkyy tomaatin heikentyneessä laadussa. [3, s. 2.] Viime vuosina tomaatin laadun merkitys on kuitenkin lisääntynyt kuluttajien ja sitä kautta myös tuottajien keskuudessa. Tämä lisää tarvetta kehittää viljelymenetelmiä, joilla voidaan samalla edistää tomaatin tuotantoa ja tehostaa tärkeiden laatuun liittyvien yhdisteiden biosynteesiä. [4, s. 2; 5, s. 2.]

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia, miten näkyvän valon ohella emittoivat UVA- ja kaukopunasäteily vaikuttivat tomaatin laatutekijöihin, kuten sokeripitoisuuteen, happamuuteen, kokoon sekä rakenteeseen, ja selvittää, aiheuttivatko testiryhmien valaistusolosuhteet eroa tomaattien aistittaviin ominaisuuksiin. Työ toteutettiin osana Forum Virium Helsingin koordinoimaa ja EU:n osarahoittamaa Urban & Local -hankkeen projektia. Hankeprojektin yhteistyökumppaneina toimivat Metropolia Ammattikorkeakoulu ja valaisinvalmistaja Greenlux Lighting Solutions Oy. Työ toimi jatkeena Teppo Venermon opinnäytetyölle ”LED-valon spektritutkimus tomaateilla”, jossa keskityttiin tomaatintaimien kasvun ja sadon seurantaan. Projektin tavoitteena oli saavuttaa hyödyllistä vertailudataa sekä koota yhteen aiheeseen liittyvää tutkimustietoa yrityksen tarpeisiin. Tarkoituksena oli, että yritys voisi jatkossa hyödyntää tietoa kasvivalaisinten valospektrin optimoinnissa ja tuotekehityksessä.

2 Tomaatin laatutekijät ja koostumus

Tomaatti (*Solanum lycopersicum L.*) on yksi suosituimmista sekä arvostetuimmista puutarhaviljelyhedelmistä, ja sillä on huomattava taloudellinen merkitys maailmanlaajuisesti. Se on maailman toiseksi eniten viljelty vihannes sekä tuotannon että kulutuksen osalta, ja Suomessa sitä tuotetaan vuoden ympäri noin 40 miljoonaa kiloa vuosittain. [2, s. 199; 6, s. 777; 7.] Tomaatin laatuindikaattoreihin kuuluu erilaisia fysikaalisia, kemiallisia ja aistinvaraisia tekijöitä, joihin vaikuttaa yhtäaikaisesti useampi eri kemiallinen komponentti. Myös terveydelle hyödyllisten yhdisteiden pitoisuudet antavat lisäarvoa erityisesti terveystietoisien kuluttajien keskuudessa, mikä lisää tomaatin kokonaisvaltaista laatua. Monien laatuun vaikuttavien yhdisteiden pitoisuutta ja synteesiä on mahdollista säädellä ympäristötekijöiden avulla. [2, s. 199–200; s. 211–215; 6, s. 781–782.]

2.1 Tomaatin laatutekijät

Tomaatin hyvään laatuun liitetään sille ominainen maku ja tuoksu, tasalaatuinen koko ja muoto, kirkas ja homogeeninen väri, kiinteä hedelmäliha ja kestävä, eheä kuori. Näiden ominaisuuksien välillä ilmenee eroja riippuen lajikkeesta sekä viljelyolosuhteista, kuten veden ja ravinteiden määrästä, lämpötilasta, sekä kasvin saaman valon määrästä ja laadusta. [8, s. 471; 2, s. 215.]

2.1.1 Väri

Tomaatit tunnetaan niiden kirkkaan punaisesta väristä, joka on merkki kypsyydestä ja hyvästä mausta. Koska punainen väri on merkittäväksi koettu laatutekijä, sen voimakkuutta on pyritty vahvistamaan kasvinjalostuksessa. Väriin ja sen intensiteettiin vaikuttavia tekijöitä ovat lajike, viljelyvyöhyke ja kasvukausi, lämpötilan ollessa merkittävin värin kehittymistä lisäävä tekijä. [2, s. 211.] Myös valon spektrikoostumuksella on tutkimuksissa havaittu olevan vaikutusta tomaatin väriin. [6, s. 781–782.]

2.1.2 Maku, haju ja flavori

Tomaatille ominainen aistinvarainen profiili syntyy sekä rakenteen, hajun että maun miellyttävästä yhdistelmästä. Sen muodostukseen vaikuttaa sokerin, vapaiden happojen sekä lukuisten bioaktiivisten ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden tasapaino. [2, s. 199–200.] Yhdessä nämä tekijät muodostavat tomaatin flavorin eli suun kautta saatujen aistimusten kokonaisuuden. [9.] Tomaatin maussa on havaittavissa kaikkia viittä perusmakua: makeaa, hapanta, suoloista, karvasta ja umamia. [10, s. 1226.] Yleisesti aistinvaraisen arvioinnin menetelmissä tomaatin flavoria kuvaavana sanastona on käytetty esimerkiksi ”astriingoiva”, ”ruohomainen” ja ”hedelmäinen”. Makua on kuvattu sanoilla ”makea”, ”suolainen”, ”hapan” ja ”karvas” ja hajua sanoilla ”ruohoinen”, ”hedelmäinen” ja ”heinämäinen”. [2, s. 215.]

2.1.3 Rakenne

Tomaatin rakenteeseen vaikuttavat sen kuoren vahvuus ja sisustan kiinteys, jotka ovat molemmat hyvään laatuun liitettäviä ominaisuuksia. Kiinteä rakenne pidentää tomaatin säilyvyyttä ehkäisten tauteja ja kuljetuksessa syntyviä vaurioita, mikä tekee siitä tavoitellun ominaisuuden. Kiinteyden heikentyminen johtuu tavallisesti kudosten pehmentymisestä, joka lisääntyy tomaatin kypsyessä ylikypsäksi, ja tästä syystä on mahdollista, että pehmeys vaikuttaa negatiivisesti myös kuluttajien saamaan mielikuvaan. Tomaatin kiinteyteen vaikuttavat kypsyysasteen lisäksi lajike sekä viljelykäytännöt, joihin sisältyvät muun muassa käytetyt lannoitteet, veden määrä, valon määrä ja laatu sekä erilaiset ympäristöön liittyvät stressitekijät. Kiinteyttä säätelee moni tekijä, joista yksi tärkeimmistä on tomaatin soluseinien sisältämien pektiinien sekä niitä pilkkovien entsyymien määrä. [8, s. 471–474; 2, s. 212–215.]

2.1.4 Koko, muoto ja pinta

Tomaatin laatuun vaikuttavat sen koko, muoto ja pintavirheiden esiintyminen. Tomaatin koko on yksi tärkeimmistä ominaisuuksista sekä laadullisesta että

maataloudellisesta näkökulmasta, minkä vuoksi sitä on pyritty kasvattamaan ja-
lostamalla. Modernit tomaattilajikkeet ovatkin muutaman gramman painoista
kantaisäänsä (*Solanum pimpinellifolium*) reilusti suurempia ja voivat painaa jopa
yli 500 grammaa. Myös tomaatin muoto voi toimia laadun mittarina, etenkin yh-
teneväisen muodon ollessa tomaatin kaupallista laatua lisäävä tekijä. Hyvälaa-
tuiset tomaatit ovat myös väriltään tasaisia, pinnaltaan ehjiä ja kokonaisuudes-
saan mahdollisimman virheetömiä. [11, s. 4; 12.]

2.1.5 Laatuluokitukset

Tomaatinviljelijöitä koskevat tietyt EU-asetusten säätelemät kaupan pitämisen
erityisvaatimukset, sillä tomaatti sisältyy monien muiden tuoreiden hedelmien ja
vihannesten tavoin erityisvaatimustuotteisiin. Vaatimusten mukaan tomaatit on
lajiteltava niiden ulkoisen laadun perusteella seuraaviin laatuluokkiin:

- Extra-luokka: tomaatit ovat kaikilta osin erittäin hyvälaatuisia ja yleiseltä ulkonäöltään, kooltaan, muodoltaan ja väritykseltään yhteneväisiä. Sallittuja ovat vain hyvin pienet pinnalliset virheet, kuten vähäiset naarmut ja kuorivirheet.
- 1. luokka: hyvälaatuiset tomaatit, joissa kuitenkin pienten kuori- tai muotovirheiden esiintyminen on sallittua. Virheet eivät saa vaikuttaa merkittävästi tuotteen yleiseen laatuun tai käyttökelpoisuuteen.
- 2. luokka: kohtuullisen hyvälaatuiset tomaatit, joissa voi olla yksi tai useampi virhe, kuten kolhiintumista, värivirheitä tai vaurioita. [12.]

Erytisvaatimustuotteita koskevat myös erilliset vähimmäisvaatimukset, joiden mukaan tomaattien tulee olla puhtaita, terveitä, eheitä sekä riittävän kypsiä, mutta ei ylikypsiä. Niissä ei saa olla tuholaisten aiheuttamia vaurioita, epätavallista pintakosteutta eikä vierasta hajua tai makua. [12.]

2.2 Tomaatin koostumus

Kypsä tomaatti sisältää keskimäärin 3,0–8,9 % kuiva-aineita, jotka koostuvat sokereista, orgaanisista hapoista, mineraaleista, proteiineista, kuiduista, rasvoista sekä aminohapoista, vitamiineista, fenolisista yhdisteistä ja

karotenoideista (taulukko 1). Näiden yhdisteiden määrät vaihtelevat kasvuolosuhteiden, hedelmän kehitysvaiheen ja genotyypin mukaan. [13, s. 2–4.]

Taulukko 1. Kypsän tomaatin sisältämien pääasiallisten kuiva-aineiden keskimääräiset pitoisuudet. [13, s. 2–4.]

Kuiva-aine	Pitoisuus (m-%)
Fruktoosi	25
Glukoosi	22
Sakkaroosi	1
Sitruunahappo	9
Omenahappo	4
Mineraalit	8
Proteiinit	8
Selluloosa, hemiselluloosa ja pektiini	17
Rasvahapot	2
Vitamiinit, karotenoidit, aminohapot ja fenoliset yhdisteet	4

Vaikka tomaatin sokerit koostuvat pääasiallisesti fruktoosista, glukoosista ja pienestä määrästä sakkaroosia, sen tiedetään sisältävän myös hyvin pieniä määriä muita sokereita, kuten mannitolia, sorbitolia ja raffinoosia. Sitruuna- ja omenahappo ovat pääasialliset tuoreen ja kypsän tomaatin sisältämät orgaaniset hapot. Lisäksi tomaatissa esiintyy vähäisessä määrin maito-, etikka-, fumaari-, sitramaliini- ja pyroglutamiinihappoja. Selluloosa, hemiselluloosa ja pektiini vastaavat pääasiassa tomaatin soluseinämän rakenteesta. Tomaatti sisältää myös runsaasti vitamiineja ja mineraaleja, erityisesti kalsiumia, kaliumia, fosforia, C-, E, K- ja A-vitamiinia sekä folaattia. Tomaatin pääasialliset rasvahapot ovat linolihappoja ja monitydyttymättömiä rasvahappoja, minkä lisäksi se sisältää 17:ää eri aminohappoa. Karotenoideista erityisesti lykopenia ja β -karoteenia on tomaatissa runsaasti. [14, s. 92–93; 15, s. 4–23.]

2.3 Tomaatin laatuun vaikuttavat yhdisteet

Tärkeimpiä laatuun vaikuttavia yhdisteitä ovat sokerit, orgaaniset hapot, haihtuvat orgaaniset yhdisteet, karotenoidit sekä fenoliset yhdisteet. Myös joillakin vitamiineilla ja mineraaleilla tiedetään olevan vaikutusta tomaatin laatuominaisuuksiin. Moni aistittavaan laatuun vaikuttava yhdiste toimii myös terveysvaikutteisena antioksidanttina, joista tärkeimpiä ovat karotenoidit, C-vitamiini (askorbiinihappo), E-vitamiini (alfa-tokoferoli) sekä fenoliset yhdisteet. Myös kuiva-ainepitoisuus on yksi tomaatin laadusta kertova tekijä, sillä sen määrä korreloi etenkin sokeripitoisuuden ja happamuuden kanssa ja vaikuttaa tällä tavoin erityisesti tomaatin makuun ja flavoriin. Tomaattikasvit ovat erittäin herkkiä valaistuksen, veden saannin ja lämpötilan vaihteluille, jotka voivat vaikuttaa merkittävästi niiden aineenvaihduntaan. Nämä muutokset voivat heijastua suoraan tomaattien kemialliseen koostumukseen, fysiologiaan ja sekundaaristen aineenvaihduntatuotteiden synteysiin, mikä puolestaan vaikuttaa hedelmien laatuun. On myös havaittu, että kasvit, jotka kasvavat epäsuotuisissa olosuhteissa, reagoivat stressiin lisäämällä antioksidanttisten yhdisteiden tuotantoa. Tämä voi auttaa kasveja sopeutumaan haastavissa ympäristöolosuhteissa. [2, s. 199–214; 13, s. 2–4; 16, s. 323.]

2.3.1 Sokeri- ja happopitoisuus

Makeus on yksi tomaatin tärkeimmistä aistittavista ominaisuuksista. Kypsyyssään tomaatin sisältämä tärkkelys muuttuu sokereiksi, mikä lisää tomaattien makeutta ja vähentää happamuutta, rakenteen muuttuessa samalla pehmeämmäksi. [17, s. 104.] Koska makeuden merkitys tomaatin flavorissa on merkittävä, sen lisääminen on yksi tomaatinjalostajien tärkeimmistä tavoitteista. Brix-arvo on yleisesti paljon käytetty mittari laadun ja kypsyyden arvioinnissa, sillä sen avulla mitataan sokereiden määrää hedelmissä ja muissa elintarvikkeissa (1 °brix = 1 % liukoisia kuiva-aineita). [18, s. 1; 11, s. 5.] Tomaateista mitatuissa Brix-arvoissa esiintyy paljon vaihtelua, riippuen sekä viljelyolosuhteista että tomaattilajikkeesta. Vuonna 2011 tehdyssä laajassa maataloustutkimuksessa

tomaattien Brix-arvot vaihtelivat 3,5 ja 6,0:n välillä kirsikkatomaattien Brix-arvojen ollessa keskimäärin suurempia, °Brix 5,0–8,0. [19.]

Tomaatin flavoriin vaikuttaa merkittävästi myös orgaanisten happojen määrä, joiden pitoisuuden kasvaessa myös aistittava happamuus kasvaa. Liuoksen happamuus ilmoitetaan pH-arvona, vaihteluvälin ollessa happamasta emäkseen pH 1–14 ja pH 7:n ollessa neutraali. Kypsän tomaatin pH-arvo vaihtelee maataloustutkimusten mukaan 4,3 ja 4,9:n välillä, matalan pH-arvon merkitessä korkeampaa happamuutta. Tutkimuksissa on osoitettu, että sokereiden ja happojen korkeampi määrä ei vaikuta pelkästään tomaatin makeuteen ja happamuuteen, vaan myös sen kokonaisvaltaisen flavorin voimakkuuteen (taulukko 2). Tomaattilajikkeella on merkittävä vaikutus mitattujen pH-arvojen suuruuksiin, ja tätä kautta myös tomaattien lajikekohtaisiin makuprofiileihin. [17, s. 104; 20; 21, s. 311–312; 22, s. 1992–1993.]

Taulukko 2. Korkeiden ja matalien happo- ja sokeripitoisuuksien vaikutukset tomaatin flavoriin [23].

Happopitoisuus	Sokeripitoisuus	Flavori
Korkea	Korkea	Hyvä
Korkea	Matala	Hapan
Matala	Korkea	Mieto
Matala	Matala	Mauton

Tomaattien happamuus voi aiheuttaa kuluttajille epämiellyttävän makukokemuksen. On kuitenkin tärkeää huomata, että korkea happopitoisuus aistitaan happamana vain, jos tomaatin sokeripitoisuus on alhainen. Kun sokeripitoisuus kasvaa, myös tomaatin maku paranee. Matala happopitoisuus voi johtaa mietoihin tai mauttomiin tomaatteihin, riippuen sokerin määrästä. Hyvän flavorin saavuttamiseksi sekä tomaatin sokeri- että happopitoisuuden tulisi olla korkealla tasolla. [23; 24, s. 2.]

Happojen sekä sokereiden määrien lisäksi myös niiden laatu voi vaikuttaa kokonaisvaltaiseen flavoriin. Esimerkiksi omenahappo aistitaan sitruunahappoa happamampana, mutta maultaan se on miedompi ja viipyilevämpi. Voimakkaamman happamuuden aistimuksen on havaittu myös korreloivan positiivisesti raikauden, suolaisuuden ja jälkimaun kokonaisvoimakkuuden kanssa. Kokonaisvaltaisessa flavorissa voikin ilmetä eroja eri happojen välisten pitoisuussuhteiden muuttuessa, vaikka kokonaishappopitoisuus pysyisi samana. [25, s. 8; s. 36–42.]

Myös erityyppisillä sokereilla on omat vaikutuksensa tomaatin aistittaviin ominaisuuksiin. Tomaatin sisältämillä sokereilla, fruktoosilla, glukoosilla ja sakkaroosilla on toisistaan poikkeava suhteellinen makeus, jonka arvo ilmaisee soke-
rin makeuden suhteessa sakkaroosiin (suhteellinen makeus 1,0). Fruktoosi on sakkaroosia makeampaa (suhteellinen makeus 1,2–1,8) ja glukoosi vähemmän makeaa (suhteellinen makeus 0,60). Tästä syystä myös sokerikoostumus voi vaikuttaa flavoriin ja erityisesti makeuden aistimuksen voimakkuuteen sokeripitoisuudesta riippumatta. [26; 27, s. 48.]

2.3.2 Umami-yhdisteet

Tomaatin makuprofiilin tärkeä tekijä on umami, joka on yksi viidestä perusmausta suolaisen, happaman, karvaan ja makean ohella. Umamia kuvaillaan lihaisana, ruokaisana ja maukkaan täyteläisenä makuna, ja se toimii tärkeänä osana monen liha-, kasvis-, ja kalatuotteen makuprofiilia. [28.] Umaminen maku tulee pääosin glutamaatista, jota tomaatissa on monia kasviksia suurempia pitoisuuksia. Viljellyt lajikkeet sisältävät runsaammin glutamaattia kuin luonnonvaraiset lajikkeet, sillä sen makua on suosittu kasvinjalostuksessa. Glutamaatin lisäksi myös jotkin 5'-ribonukleotidit toimivat umamiyhdisteinä, ja näillä yhdisteillä on havaittu lisäksi makua, maistuvuutta ja suutuntumaa parantavia yhteisvaikutuksia. [10, s. 1227.]

2.3.3 Sekundaariset aineenvaihduntatuotteet ja antioksidantit

Tomaatti tuottaa suuren määrän erilaisia sekundäärisiä aineenvaihduntatuotteita, joista suurin osa on karotenoideja, polyfenoleja ja alkaloideja. Monissa näistä yhdisteistä on lukuisten terveysvaikutustensa lisäksi vaikutusta tomaatin aistittaviin ominaisuuksiin. Sekundääristen aineenvaihduntatuotteiden määrät vaihtelevat monen eri tekijän mukaan, niiden vaikuttaessa eri tavoin tomaatin laatuun. [10, s. 1225–1229.]

Tomaatti sisältää runsaasti karotenoideja, joista suurin osa toimii väristä vastaavina pigmentteinä. Pääasialliset karotenoidit tomaatissa ovat lykopeeni ja β -karoteeni. Hyvästä laadusta kertova kirkkaan punainen väri syntyy tomaatin sisältämästä lykopeenista, jonka pitoisuuden kasvun myötä väri voimistuu. Tomaatin lykopeenipitoisuus vaihtelee runsaasti tomaatin genotyypin mukaan. Kypsyyssään tomaatin kuiva-ainepitoisuus ja sitä myötä myös lykopeenipitoisuus lisääntyy ja erityisesti kypsissä, punaisissa lajikkeissa se voi muodostaa jopa 60–74 % kaikista karotenoideista. Lisäksi lykopeeni toimii tehokkaana ja terveyshyötyjä tuovana antioksidanttina, ja tästä syystä tomaatteja voidaan viljellä myös pelkästään lykopeenin uuttamista varten. Toinen tomaatin pääasiallisista väriin vaikuttavista karotenoideista on keltaoranssista väristä vastaava β -karoteeni, jota on punaisissa tomaattilajikkeissa merkittävästi lykopeenia pienempiä pitoisuuksia. Lykopeenin tapaan myös β -karoteeni toimii antioksidanttina, minkä lisäksi sillä on rooli A-vitamiinin esiasteena. [2, s. 200–201; 10, s. 1227–1228; 16, s. 327.]

Tomaatti sisältää runsaasti terveysvaikutteisia fenolisia yhdisteitä, jotka esiintyvät pääasiassa joko fenolihappoina (kofeiini-, klofogeeni-, feruli-, ja p-kumariinihappo) tai flavonoideina (kversetiini, rutiini ja narangeniini). Fenoliset yhdisteet voivat vaikuttaa myös tomaatin flavoriin, sillä tutkimuksissa niiden on havaittu aktivoivan karvaan maun havaitsemiseen erikoistuneita makureseptoreita ja saavan aikaan suuta kihelmöivän (astringoivan) tuntemuksen. Erityisesti tomaatin kuoren sisältämän naringeniinin tiedetään aiheuttavan karvasta makua. [29, s. 2834; 30, s. 1525–1531; 32, s. 5.] Kokonaisfenolipitoisuus tomaateissa

vaihtelee runsaasti ja auringon UV-säteilyn on havaittu vaikuttavan kasvattamalla sen määrää. [6, s. 777.]

Alkaloideista etenkin glykoalkaloideilla on vaikutusta tomaatin makuun, minkä lisäksi ne suojaavat tomaattia ja sen hedelmiä patogeeneilta. Tomaatin sisältämät glykoalkaloidit esiintyvät tomatiini-nimisenä yhdisteenä, jota on erityisesti ra'assa tomaatissa ja tomaatin vihreissä osissa, mutta myös kypsät tomaatit sisältävät sitä pieniä määriä. Korkea tomatiinipitoisuus aiheuttaa tomaateissa kitkerää makua, joka koetaan yleisesti epämiellyttäväksi. [29, s. 2838.]

Antioksidanttina toimiva C-vitamiini (askorbiinihappo) on yksi tärkeimmistä indikaattoreista, kun arvioidaan tomaatin ravitsemuksellista laatua. [33, s. 7.] Kuten muidenkin bioaktiivisten yhdisteiden, myös C-vitamiinin määrä vaihtelee runsaasti eri tomaattilajikkeiden välillä, minkä lisäksi myös ympäristökijöillä voi olla vaikutusta sen pitoisuuksiin. C-vitamiinipitoisuus kasvaa tomaatin kypsyessä, ja sen korkea pitoisuus voi antioksidanttisten vaikutusten lisäksi ylläpitää tomaatin kiinteyttä ja pidentää näin sen säilyvyyttä kypsymisen edetessä. [2, s. 203.]

2.3.4 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet

Kypsistä tomaateista on löydetty yli 400 haihtuvaa orgaanista yhdistettä (VOC), joista noin kahdenkymmenen on havaittu vaikuttavan tomaatin aistittaviin ominaisuuksiin. VOC-yhdisteet vaikuttavat erityisesti tomaatin hajuun, ja sitä kautta niillä on merkittävä vaikutus tomaatin kokonaisvaltaiseen flavoriin. Jokaisella VOC-yhdisteellä on oma ominaishajunsa, joiden keskinäiset vuorovaikutukset vaikuttavat oleellisesti tomaatin flavorin muodostumiseen. Lisäksi vuorovaikutusta tiedetään olevan tomaatin sisältämien muiden yhdisteiden kanssa ja tämän takia VOC-yhdisteet voivat muuttaa esimerkiksi tomaatille ominaisen maun, happamuuden tai makeuden intensiteettiä. Tutkimuksissa VOC-yhdisteiden on havaittu osallistuvan tomaattien aistittavan makeuden havaitsemiseen sokeri- ja happopitoisuudesta riippumatta. [34, s. 1–2; 35, s. 2, 36, s. 911.]

2.4 Saint Pierre -lajike

Tomaatin ominaisuuksissa esiintyy vaihtelua, riippuen lajikkeesta. Työssä tutkittava Saint Pierre on perinteikäs, harrastuspuutarhureiden keskuudessa suosittu ranskalainen tomaattilajike. Se lukeutuu pihvitomaatteihin, joille on ominaista suuri koko ja runsaasti siemenlokeroita sisältävä hedelmäliha. Saint Pierre tunnetaan erityisesti sen suurista, punaisista ja erityisen mehukkaista hedelmistään, jotka kypsyvät pienissä tertuissa. Sen tomaatit painavat keskimäärin 100 grammaa ja niiden flavoria kuvaillaan miedoksi, hienoisena makeaksi ja vain aavistuksen happamaksi. Saint Pierre -lajikkeen suosio perustuu sen maineeseen kestäväenä ja satoisana lajikkeena, joka sopii hyvin sekä kasvihuoneviljelyyn että ulkoviljelyyn. [37; 38.]

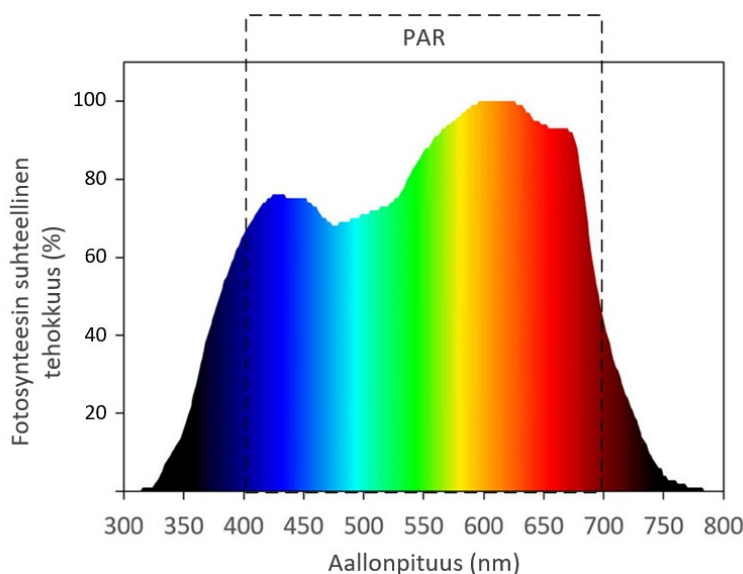
3 Kasvien valaistus sisäkasvatuksessa

Fotosynteesi on biologinen prosessi, jonka avulla kasvit muuntavat valon energiaa kemialliseksi energiaksi. Sen lisäksi, että valo on kasveille tärkeä energianlähde, se ohjaa myös monia kehitysprosesseja, kuten fotoperiodismia ja fotomorfogeneesia. Se on olennainen fysiologiseen aineenvaihduntaan vaikuttava ympäristötekijä, joka säätelee kasvien kasvua ja kehitystä, tärkeimpien vaikuttavien tekijöiden ollessa valon laatu, intensiteetti ja valojakso. Koska valo on yksi tärkeimmistä kasvien kehitykseen vaikuttavista tekijöistä, niille on kehittynyt monimutkaisia mekanismeja valosta saatavan informaation havaitsemiseksi ja tulkitsemiseksi. [39; 40, s. 46.]

3.1 Fotosynteettisesti aktiivinen säteily

Kasvien kasvu ja selviytyminen on riippuvainen fotosynteesin tehokkuudesta, jota määrittää saatavilla olevan valon määrä ja aallonpituus. Yhteyttämisen kannalta kasveille välttämätöntä valospektrin aluetta kutsutaan fotosynteettisesti aktiiviseksi säteilyksi (PAR = photosynthetically active radiation), joka kattaa valon aallonpituuden alueen 400–700 nm (kuva 1). [41, s. 6.] Tämän valospektrin ulkopuolista säteilyä on yleisesti pidetty fotosynteesin kannalta hyödyttömänä,

kun sitä sovelletaan kasvatusvalaistuksessa yksittäisenä aallonpituusalueena [42, s. 2].



Kuva 1. Fotosynteesin suhteellinen tehokkuus eri valojen aallonpituuksilla ja PAR-alue [39, muokattu].

PAR-alueen säteily kattaa auringon kokonaissäteilyn energiasta noin 45–50 %, ja sen aallonpituuksiin kuuluvat sininen, keltavihreä ja punainen valo. Fotosynteesissä kasvin lehtivihreä absorboi erityisesti sinisen (400–500 nm, tehuippu 440–450 nm) ja punaisen (600–700 nm, tehuippu 660 nm) valospektrin aallonpituuksia, heijastaen samalla vihreää ja kaukopunaista säteilyä. Keltavihreän valon (500–600 nm) vaikutusta kasveihin on jo jonkin aikaa ymmärretty väärin, yleisen käsityksen ollessa se, etteivät kasvit käytä keltavihreää valoa fotosynteesiin. Viimeaikaiset tutkimukset kuitenkin kyseenalaistavat tämän käsityksen ja osoittavat, että myös vihreä valo edistää kasvien kasvua. [41, s. 44; 43, s. 1347; 44.]

PAR-säteilyn intensiteetti ja kasviin kohdistuva määrä mitataan fotosynteettisen fotonivuon tiheydestä (PPFD = Photosynthetic Photon Flux Density). PPFD-arvo kuvaa, kuinka monta mikromoolia PAR-säteilyn määrästä osuu tietylle alueelle aikayksikköä kohti ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$). Optimaaliset PPFD-tasot ovat kasvi- ja kasvuvaihekohtaisia. [45.] PPFD-arvon lisäksi paljon käytetty kasvin

vastaanottamaan valon intensiteettiin ja valaistuksen optimointiin liittyvä mittari on DLI-arvo, joka kertoo kasvin käytettävissä olevasta valoenergiasta päivän aikana. DLI-arvo kuvaa, kuinka monta moolia valoa osuu neliömetrin kokoiselle alueelle päivässä ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$), eli päivittäistä kokonaisvalon määrää. [46, s. 10.]

Altistuessaan valolle kasvien erilaisiin valon aallonpituuksiin erikoistuneet valoreseptorit aktivoituvat. Niiden avulla kasvit pyrkivät sopeutumaan ympäristössä tapahtuviin muutoksiin sekä bioottiseen ja abioottiseen stressiin. Kasvien valobiologiassa viime vuosina otetut edistysaskeleet ovat myös paljastaneet valoreseptoreiden signaalireittien ja muiden kasvin sisäisten signaalireittien säätelevän toisiaan. Tämän monimutkaisen signaaliverkoston ymmärtämisen sekä LED-valotekniikan kehittymisen ansiosta eri valolaatuja voi olla mahdollista hyödyntää tulevaisuudessa yhä tehokkaammin kasvinviljelyssä. [47, s. 1–2; 48, s. 1.]

Kasvivalojärjestelmät hyödyntävät PAR-valoa jäljittelemällä luonnonvaloa. Optimaalinen spektri kuitenkin vaihtelee paljon kasvin, kasvuvaiheen sekä vuoden-aikojen mukaan. Auringon valo riittää keväästä syksyyn tavallisesti korjaamaan kasvatusvalaistuksen spektrissä ilmeneviä puutteita, mutta esimerkiksi Suomessa on talvikuukausina valittava koko viljelyajan toimiva kompromissispektri tai kalliimpi spektriltään säädeltävissä oleva valaisinratkaisu. [41, s. 46; 49.]

3.2 PAR-alueen ulkopuolinen säteily

Pieni osa auringon kokonaissäteilystä on ultraviolettivaloa, joka jaetaan kolmeen tyyppiin sen kattaman aallonpituuden perusteella: UVA-, UVB-, ja UVC-säteilyyn. Näistä maan pinnalle ylettyviä aallonpituuksia ovat UVA (315–400 nm) ja UVB (280–315 nm). Kaikki UV-säteily on aallonpituudeltaan PAR-alueen ulkopuolella, mutta tutkimuksissa sen on havaittu vaikuttavan kasvien biologisiin prosesseihin, koostumukseen ja rakenteeseen muilla tavoin. [40, s. 1–2; 50, s. 2–5.]

Hieman alle puolet auringon kokonaissäteilystä on infrapunasäteilyä, joka ei sekään lukeudu PAR-alueen spektriin eikä näin ole kasvien hyödynnettävissä fotosynteesissä. Infrapuna-alueen alkupäässä sijaitsee erillinen kaukopunainen alue (700–800 nm). Tavallisesti kaukopunainen valo luokitellaan infrapunasäteilyksi, mutta kasvitieteessä se erotetaan fysiologisen merkityksensä vuoksi omaksi aallonpituusalueeksi. [51, s. 55.] Kaukopunaisen ja punaisen valon suhteella on havaittu olevan merkittäviä kasvien kasvua sääteleviä vaikutuksia. Myös muulla infrapunasäteilyllä on epäsuoria vaikutuksia kasvin kehitykseen, sillä sen lämmittävä vaikutus edesauttaa kasvisolujen kasvua ja kasvattaa tätä kautta niitä kasvin rakenteita, joissa fotosynteesi tapahtuu. [41, s. 6.]

4 Valaistuksen vaikutus tomaattiin

Tomaatti on lajina alkujaan peräisin alueilta, jossa vallitsee sen tarpeisiin so- piva, runsaasti auringon valoa ja lämpöä tarjoava trooppinen ilmasto. Etenkin talvikauden kasvihuoneviljelyssä ja lauhkeammilla ilmastovyöhykkeillä valon vä- häinen määrä rajoittaa tomaatin kehitystä. Tästä syystä lajityypillisten olosuhteiden luomiseksi tarvitaan tekniikoita, joiden avulla on mahdollista saavuttaa to- maatille optimaaliset viljelyolosuhteet vuodenajasta ja sijainnista riippumatta. [13, s. 2.] Kasvihuonetomaattien valontarvetta lisää se, että tomaattia kasvate- taan suhteellisen suurella viljelytiheydellä ja tästä syntyvä varjostus on otettava huomioon valaistusta suunnitellessa. Optimaalinen PPFD-arvo tomaatin tai- melle on 150–350 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (DLI 8-18 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$) ja kukinta- ja hedelmäntuotto- vaiheessa olevalle tomaattikasville 350–800 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (DLI 22-30 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$). [46, s. 11; 49.] Lisävalaistuksen tarjoaminen edesauttaa sekä riittävän sadon saavuttamista että tomaatin biokemiallisen koostumuksen optimointia, jolloin to- maattisadosta on mahdollista saada runsaampi ja korkealaatuisempi. [13, s. 2.]

4.1 Vaikutukset kasvuun ja satoon

Puutteellisella valospektrillä tiedetään olevan merkittäviä negatiivisia vaikutuksia kasvin kehittymiseen, morfologiaan sekä satoon. Näkyvän valon punainen aal- lonpituus edesauttaa tehokkaimmin kasvien kasvua, kehitystä, kukintaa ja

hedelmien tuottoa. Sen monokromaattinen käyttö kasvatusvalaistuksessa ei kuitenkaan riitä, vaan kasvit tarvitsevat yhteyttämiseen myös muita valon aallonpituuksia. Pelkässä punaisessa valossa kasvatetut kasvit kasvavat pitkiä ja ohuiksi. Punaisen valon lisäksi tarvitaan vähintään sinistä valoa täydennykseksi, jotta kasvi kykenee yhteyttämään tehokkaasti. Tutkimusten mukaan kasvatusvalaistuksessa onkin hyvä olla noin 10–20 % sinistä valoa ja noin 80–90 % punaista valoa. [41, s. 42–43; 44.] Sinisellä valolla tiedetään olevan punaisen valon kanssa positiivisten yhteisvaikutusten lisäksi omat vaikutuksensa kasvien morfologiaan, kasvuun ja ominaisuuksiin. Tutkimuksissa sillä on havaittu olevan kasvua ohjaava vaikutus; valon lisääntyessä kasvien lehdet pienenevät ja kehittyvät paksummiksi, minkä lisäksi kasvien nivelvälit lyhenevät, jolloin tuloksena on tiiviimpiä kasveja. [41, s. 25]

Myös vihreällä valolla on havaittu olevan tärkeä merkitys fotosynteesin edistäjänä. Vihreä valo kykenee läpäisemään lehtien pinnan huomattavasti tehokkaammin kuin punainen ja sininen valo. Tämä ominaisuus on erityisen merkittävä, koska vihreä valo tunkeutuu tehokkaasti alemman latvuserroksen läpi, mikä tehostaa fotosynteesiä koko kasvissa. Vaikka vihreän valon tehokkuus fotosynteesissä ei olekaan yhtä suuri kuin muiden PAR-alueen aallonpituuksien, se on silti tärkeä kasvin hyödyntämä resurssi. Näin ollen jopa pienen määrän vihreää valoa sisällyttäminen LED-kasvivalon spektriin voi osoittautua hyödyllisemmäksi kuin spektri ilman vihreää valoa. Kokonaisuudessaan tämä auttaa maksimoimaan kasvien fotosynteesin tehokkuuden, mikä puolestaan edistää kasvua. [41, s. 41–42; 44; 53.]

PAR-alueen ulkopuolella sijaitsevat UVA- ja UVB-säteily sekä kaukopunainen säteily vaikuttavat kasvien morfogeneesiin, eli muodon kehittymiseen ja fototropismiin, eli kykyyn kasvaa valoa kohti. UVA- ja UVB-säteily vaikuttavat kasvin lehtien pinnan ja niiden pinnalla sijaitsevan vahakerroksen paksuuteen. UVA-säteilyn on havaittu vaikuttavan myös kasvien muotoon, tehden niistä tiiviskasvuisia ja biomassaltaan suurempia. [41, s. 1–2; 50, s. 2–5.]

Kaukopunasäteilyn vaikutus kasvien kehitykseen, kasvuun ja kasvun säätelyyn on erityisen merkittävä. Säätely tapahtuu punaisen ja kaukopunaisen säteilyn suhteiden (P:KP) muutoksen kautta. Valoreseptoreiden avulla kasvi pystyy havaitsemaan P:KP:n olevan matala, jolloin varren kasvu tehostuu suuntaan, jossa punaista valoa on saatavilla enemmän. Kasvuvaikutus keskittyy niihin kasvin viherhiukkasia sisältäviin osiin, joille matalan P:KP:n säteily kohdistuu. Tämän mekanismin avulla kasvi pystyy ohjaamaan kasvuaan ja vaihtamaan lehtiensä asentoa valon saannin kannalta optimaaliseen suuntaan. [43, s. 1348; 51.] Kaukopunasäteilyä lisäämällä voidaan nopeuttaa lehtien ja varren kasvua sekä kasvattaa korkeita ja kookkaita kasveja. Myös tomaattisadon kypsymistä saattaa nopeuttaa matala P:KP-suhde, sillä kasvihormonina toimivan etyleenin tuotanto lisääntyy kaukopunasäteilyn vaikutuksesta. [41, s. 44–45; 43, s. 1348–1348.]

Kaukopunasäteilyllä on havaittu olevan olennainen rooli myös kasvin sopeutumisessa erilaisiin bioottisen ja abioottisen stressin lähteisiin. Matalan P:KP-suhteen on havaittu lisäävän tomaatin taimien kykyä suojautua osmoottiselta stressiltä. Eräässä tutkimuksessa matala P:KP-suhde vaikutti parantavan taimien suolansietokykyä, minkä lisäksi se edisti terveempää kasvua, lisäsi selvästi kasvu- sekä fotosynteesinopeutta ja klorofyllin määrää sekä edesauttoi tomaatin entsyymaattista kykyä suojautua oksidatiiviselta stressiltä. [55, s. 1.]

4.2 Vaikutukset laatuominaisuuksiin

Tomaatin suosio kuluttajien keskuudessa johtuu sen moninaisista käyttötarkoituksista, korkeasta ravintoarvosta, terveyshyödyistä sekä sen yleisesti kuluttajien keskuudessa arvostetuista aistinvaraisista ominaisuuksista. Sesongin ulkopuolella viljellyt kasvihuonetomaatit ovat kuitenkin maineeltaan heikompia kuin sesongin aikana tai pelloilla viljellyt tomaatit. Yhtenä syynä tälle ovat jalostusohjelmat, joissa keskitytään erityisesti tomaatin pidennettyyn säilyvyyteen, kokoon ja satoon. Osittain ilmiötä selittää myös puutteellinen valon määrä ja laatu, joilla on merkittävä vaikutus tomaatin laatuominaisuuksiin. Valtaosa kasvatusvalaistukseen liittyvistä tutkimuksista on keskittynyt kasvin vihreiden osien kasvuun

sekä varren ja lehtien ominaisuuksiin. Keinotekoisen valaistuksen käytön lisääntyessä ja LED-tekniikan kehittymisen myötä keinotekoisen valon vaikutukset tomaatin laatuominaisuuksiin ovat herättäneet kasvintuottajien mielenkiinnon. [6, s. 777; 33, s. 1–2.]

4.2.1 Näkyvän valon aallonpituudet

PAR-alueeseen sisältyvillä näkyvän valon eri aallonpituuksilla on havaittu olevan erilaisia vaikutuksia tomaatin laatuominaisuuksiin. Etenkin punaisen ja sinisen valon yhdistämisen sekä monokromaattisen punaisen ja sinisen valon on huomattu parantavan tomaatin laatuindikaattoreita. Punaisen ja sinisen valon suhteen lisääminen on kasvattanut muun muassa liukoisen sokerin määrää, sokeri-happopitoisuuden suhdetta, C-vitamiinipitoisuutta ja lykopeenin määrää. Tutkimuksissa sinisellä valolla on havaittu olevan myös sekundäärisiä aineenvaihduntatuotteita lisäävä vaikutus kasveissa. Sekundäärisiin aineenvaihduntatuotteisiin lukeutuvat esimerkiksi tomaatin sisältämät punaista väriä tuova lykopeeni ja makuun vaikuttavat fenoliset yhdisteet. [33, s. 2.]

Vuonna 2023 tehdyssä tutkimuksessa tutkittiin näkyvän valon spektrin vaikutuksia Micro-Tom-lajikkeisen tomaatin laatuindikaattoreihin. Tomaateista tutkittiin muun muassa liukoisen sokerin määrää, happopitoisuutta, sokeri-happosuhdetta sekä askorbiinihapon ja β -karoteenin määrää. Tutkimuksessa käytössä oli valkoinen valo, johon lisättiin PAR-alueen eri aallonpituuksien intensiteettiä, ja tutkittiin niiden vaikutuksia laatuun vaikuttavien yhdisteiden määrään. Tuloksena havaittiin tilastollisesti merkitseviä laadullisia eroja erilaisissa valospektreissä kasvatettujen tomaattien välillä. [33, s. 1.]

Taulukossa 3 on esitelty tutkimuksessa tehtyjen mittausten tuloksia. Liukoisen sokerin määrän havaittiin olevan korkeinta punaisen lisävalon tomaateissa, mutta heikompaa sinisen ja vihreän lisävalon tomaateissa. Happopitoisuus kasvoi vain vähän punaisen valon lisäyksestä ja merkittävästi sinisen ja vihreän valon lisäyksestä. C-vitamiinin määrä kasvoi selvästi punaisen valon lisäyksestä ja hieman myös sinisen valon lisäyksestä. Lykopeenin määrä sen sijaan kasvoi

jokaisen lisävalon kohdalla, joista suurin pitoisuus mitattiin vihreän valon tomaateista. Punainen valo lisäsi β -karoteenin määrää, sinisen ja vihreän valon laskeissa niitä. [33, s. 4.]

Taulukko 3. Tutkimuksessa eri valossa kasvatetuista tomaateista mitatut laatuindikaattorit DLI-arvon ollessa 12,96 mol/m²/d. [33, s. 4.]

Laatuindikaattorit	Valkoinen valo	Punainen valo	Sininen valo	Vihreä valo
Liukoinen sokeri (%)	1,9	2,1	1,3	0,7
Happopitoisuus (%)	0,8	0,9	1,2	1,5
C-vitamiini (μ g/mg)	22,2	27,9	23,6	20,6
Lykopeeni (μ g/mg)	2,9	3,3	4,0	4,4
β -karoteeni (μ g/mg)	4,3	5,3	2,6	2,3

Enemmän punaista valoa sisältävässä kasvatusvalaistuksessa tomaateista kehittyi vähemmän happamia, sokeripitoisempia sekä laatuindikaattoreiltaan optimaalisempia, kuin valaistuksissa, joissa sinisen tai vihreän aallonpituuden intensiteetti oli korkein. Myös punaisessa valossa kasvatettujen tomaattien C-vitamiinipitoisuus oli korkeampi, mikä voi osaltaan edistää tomaattien kiinteyttä ja sitä kautta myös säilyvyyttä. [33, s. 4; 2, s. 203.] Vihreän valon lisääminen sen sijaan heikensi laatuindikaattorien määrää eniten, tehden tomaateista myös happamampia. Poikkeuksena tästä oli lykopeeni, jonka pitoisuutta vihreän valon havaittiin lisäävän eniten. Tutkimus keskittyi näkyvän valon spektrillä esiintyvien aallonpituuksien vaikutuksiin. On myös huomattava, että DLI-arvon suuruudella havaittiin myös olevan merkittävä vaikutus siihen, millä spektrillä mitattiin laadun kannalta suotuisimmat tulokset. [33, s. 4.]

4.2.2 UV-säteily

Tämänhetkisen tutkimustiedon valossa UV-säteilyllä on havaittu olevan lupautuvia vaikutuksia tomaatin laatutekijöihin, tulosten kuitenkin vaihdellessa tutkitun kasvilajin, UV-säteilyn tyypin ja keston mukaan. Tarkkoja mekanismeja UV-

säteilyn vaikutuksesta tomaatin laatuun ei vielä tiedetä, sillä tutkimustieto aiheesta on toistaiseksi vähäistä. Erityisesti säteilyn kestolla ja intensiteetillä vaikuttaa kuitenkin olevan merkitystä siihen, minkälaisia muutoksia tomaatin laatuominaisuuksissa havaitaan.

Osa etenkin UVA-säteilyn vaikutuksista on näyttänyt parantavan laadullisia ominaisuuksia, ja osa taas on näyttänyt vaikuttavan niihin heikentävästi. Vaikutuksia on havaittu olevan sekä sisäisiin laatuindikaattoreihin, kuten sokerin ja joidenkin laatuun vaikuttavien yhdisteiden määriin, että ulkoisiin ominaisuuksiin, kuten väriin, kokoon ja kiinteyteen. Myös UVA- ja UVB-säteilyn joitakin sekundaarisia aineenvaihduntatuotteita lisäävä vaikutus voi parantaa erilaisin tavoin tomaatin aistittavia ominaisuuksia. Vaikutukset ovat olleet osassa tutkimuksista selvempiä UVB-säteilyllä, UVA-säteilyn vaikutusten jäädessä vähäisemmiksi. [6, s. 781–782; 341, s. 26; 51, s. 55; 56, s. 22.]

UVA-valon vaikutuksista tomaatin sokeripitoisuuteen on tutkimuksissa saatu erilaisia tuloksia. Osassa niistä UVA-säteilyn on havaittu laskevan ja osassa nostavan tomaateista mitattuja Brix-arvoja. Koska tutkimuksissa on ollut käytössä erilaisia tomaattilajikkeita ja kasvatusolosuhteita, minkä lisäksi säteilytyksen intensiteetissä ja kestoissa on ollut eroja, on todennäköistä, että sokereiden määrään vaikuttaa saman aikaisesti useampi eri tekijä. Esimerkiksi päivittäisen säteilyaltistuksen kestolla on ollut vaikutusta siihen, kuinka paljon Brix-arvo on heikentynyt UV-säteilyn vaikutuksesta. Pidempiaikainen säteilyaltistus ja korkeampi säteilyn intensiteetti on vaikuttanut voimistavan UVA-säteilyn Brix-arvoa alentavaa vaikutusta tomaateissa. [6, s. 779–782; 56, s. 19.]

Liukoisten kiintoaineiden määrän lisäksi UV-säteily voi muuttaa hedelmien väriä vähentämällä punaisuutta, kokonaisvärin intensiteettiä sekä homogeenisuutta. Värin heikentymisen on havaittu tapahtuvan erityisesti UVA-säteilyn vaikutuksesta. Vaikutukset väriin liittyvät ainakin osittain muutoksiin tomaattien karotenoidisynteeseissä. Punaista väriä lisäävän lykopenin osuuden kokonaiskarotenoidien määrästä on tutkimuksissa havaittu laskevan, kun kasvatusvalaistukseen on lisätty UVA-säteilyä. Vaikutukset keltaiseen väriin vaikuttavan β -

karoteenin pitoisuuksiin eivät ole yhtä selviä, mutta suurimmassa osassa tutkimuksista myös niiden on havaittu vähenevän, kun UVA-altistus on ollut intensiteetiltään korkeaa tai pitkäkestoista. On kuitenkin huomattava, että osassa tutkimuksista β -karoteenin määrä on myös lisääntynyt, [6, s. 781–782; 56, s. 19–22.]

UVA-säteilyn on havaittu lisäävä haittuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) tuotantoa sekä antioksidanttien ja fenolisten yhdisteiden pitoisuuksia. Ilmiön taustalla on kasvin valoreseptoreiden käynnistämä prosessi, jonka avulla tomaatti suojautuu UV-säteilyn aiheuttamalta oksidatiiviselta stressiltä. UVA-säteilyllä on havaittu olevan myös tomaattien kokoa pienentävä vaikutus, minkä lisäksi se on edistänyt tutkimuksissa tomaatin kehittymistä kiinteämmäksi. [6, s. 780–783; 56, s. 19.]

Vuonna 2018 julkaistussa tutkimuksessa kontrollina toimineen PAR-alueen spektrin ($\text{PPFD} = 200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) rinnalle lisätyssä UVA-säteilyssä kasvatettujen tomaattien rakenne oli kiinteämpi ja antioksidanttikapasiteetti sekä fenolisten yhdisteiden pitoisuus korkeampi. Brix-arvot sen sijaan olivat selvästi matalammat kontrolliin verrattuna. Lisäksi UVA-säteily vaikutti tomaatin värin ja pinnan houkuttelevuuteen negatiivisesti. Tomaattien kiinteyttä lisännyt vaikutus ilmeni, kun säteilyaltistus oli pitkäkestoista (neljä tuntia päivässä). Tomaatin hajun ja maun havaittiin paranevan UVA-säteilylisäyksen ansiosta, mutta tämä tapahtui vain silloin, kun käytössä oli lyhyempikestoisen säteilyaltistus (yksi tunti). UVA-säteily lisäsi kestosta riippumatta tomaatin kokonaisfenolipitoisuutta ja flavonoidien määrää. Myös antioksidanttikapasiteetti kasvoi sitä mukaa, kun säteilyaltistuksen kesto piteni. [6, s. 780–782.]

4.2.3 Kaukopunasäteily

Kaukopunasäteilyn aallonpituuksien roolia ja mahdollisuuksia tomaattien kasvun ja sadon säätelyssä on tutkittu paljon, mutta tutkimukset sen vaikutuksista tomaatin laatuun ovat jääneet selvästi vähäisemmiksi. Osassa aiheesta tehdyissä tutkimuksissa kaukopunasäteilyllä on kuitenkin havaittu olevan

positiivisia vaikutuksia myös joihinkin tomaatin laatuominaisuuksiin, kuten sokeiden määrään, hedelmien kokoon, karotenoidipitoisuuteen ja aistinvaraisiin ominaisuuksiin.

Kaukopunaisen säteilyn on havaittu vaikuttavan merkittävästi tomaatin kykyyn vastaanottaa ravinteita ja yhteyttämistuotteita kasvin muista osista, vaikuttaen kuiva-aineiden jakautumiseen kasvissa. Korkeampi kaukopunaisen säteilyn määrä on tutkimuksissa lisännyt kuiva-aineiden määrää tomaatin hedelmissä, niistä valtaosan ollessa sokereita. Vuonna 2020 tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että sinipunaiseen valoon lisätty kaukopunainen säteily lisäsi merkittävästi tomaattien kokonaiskuiva-ainemäärää ja fruktoosi- ja glukoosipitoisuuksia tomaatin kypsyessä verrattuna tomaatteihin, joiden kasvatusvalaistukseen lisäystä ei tehty. Tutkimuksessa kaukopunasäteilyn havaittiin myös kasvattavan merkittävästi tomaattien kokoa. [57, s. 1914; 58, s. 1.]

Toisessa samana vuonna tehdyssä LED-valaistusta koskevassa tutkimuksessa aistinvarainen raati arvioi puna-kaukopunasäteilyssä kasvatetut tomaatit kokonaisvaltaiselta laadultaan parhaiksi, kun verrokkina oli pelkkä valon punainen aallonpituus. Tomaatit olivat raadin arvioimana tuoksultaan ja tekstuuriltaan miellyttävimpiä, makeimpia ja vähemmän happamia. Myös tässä tutkimuksessa tomaattien kuiva-ainepitoisuus, Brix-arvo ja keskimääräiset painot olivat korkeimmat, kun kaukopunasäteilylisäystä käytettiin kasvatusvalaistuksessa. [1, s. 2.]

Myös karotenoidien määrän on havaittu tutkimuksissa lisääntyvän kaukopunaisen säteilyn ansiosta [59, s. 95]. Havaintoja karotenoidipitoisuuden kasvusta tomaateissa on sekä tomaattien kasvatusvalaistusta että jälkikäsittelyä koskevissa tutkimuksissa. Eräässä tomaattien poiminnan jälkeistä valokäsittelyä koskevassa tutkimuksessa selvitettiin eri spektreistä koostuvien valopulssien vaikutuksia tomaatin laatuun ja havaittiin, että kaukopunaisen valon ja näkyvän valon yhdistelmä lisäsi karotenoidien määrää merkittävästi UV-säteilyssä ja näkyvässä valossa kasvatettuja verrokkeja enemmän. [60, s. 3922.] Muutokset karotenoidien määrässä tomaatin hedelmissä voivat epäsuorasti muuttaa myös

samojen metabolisten reittien kautta syntyvien VOC-yhdisteiden pitoisuuksia, joilla voi olla vaikutuksia tomaatin aistittaviin ominaisuuksiin [61, s. 1734].

Kuten UV-säteilyä koskevissa tutkimuksissa, myös kaukopunasäteilyn vaikutukset tomaattien laatuun ovat vaihdelleet, eikä osassa tutkimuksissa aistittavissa ja fysikaalis-kemiallisissa ominaisuuksissa ilmennyt muutoksia. Erot tutkimustuloksissa viittaavat siihen, että tomaattikasvit reagoivat lajikekohtaisesti spektri-koostumukseen, säteilytehoon ja säteilyaltistuksen keston. [58, s. 3; 62, s. 1.]

5 Materiaalit ja menetelmät

5.1 Vesiviljelyt tomaatit ja niiden valo-olosuhteet

Tutkittavina näytteinä toimivat Metropolia Ammattikorkeakoulun Urbanfarmlab -kasvatustalouden tiloissa kolmessa eri kasvatusvalaistuksessa vesiviljellyt Saint Pierre -lajikkeeseen tomaatit. Kasvatustalouden olosuhteet olivat valaistusolosuhteita lukuun ottamatta yhtäläiset. Kaikkien osastojen valaistus piti sisällään saman määrän näkyvää valoa, mutta erosivat toisistaan kaukopunasäteilyn (730 nm) määrän ja UVA-säteilyn (385 nm) osalta, joiden vaikutuksia tomaatin laatuindikaattoreihin oli työn tarkoituksena tutkia. Referenssinä toimi UVA-säteilyä ja alhaisemman määrän kaukopunasäteilyä sisältävä valaistusosasto. Ensimmäisellä verrokkiosastolla referenssinä toimineeseen valon spektriin lisättiin suurempi määrä kaukopunasäteilyä. Toisella verrokkiosastosta UVA-säteilyä ei sisällytetty valaistukseen, sen ollessa muutoin referenssispektrin kanssa yhtäläinen. Kasvatustalouden, -olosuhteiden ja käytettyjen kasvilamppujen tiedot on esitelty tarkemmin Teppo Venermon insinööriyössä. [63.]

Tässä työssä kolmesta käytetystä kasvatusvalaistusolosuhteesta käytetään seuraavaa nimeämistapaa:

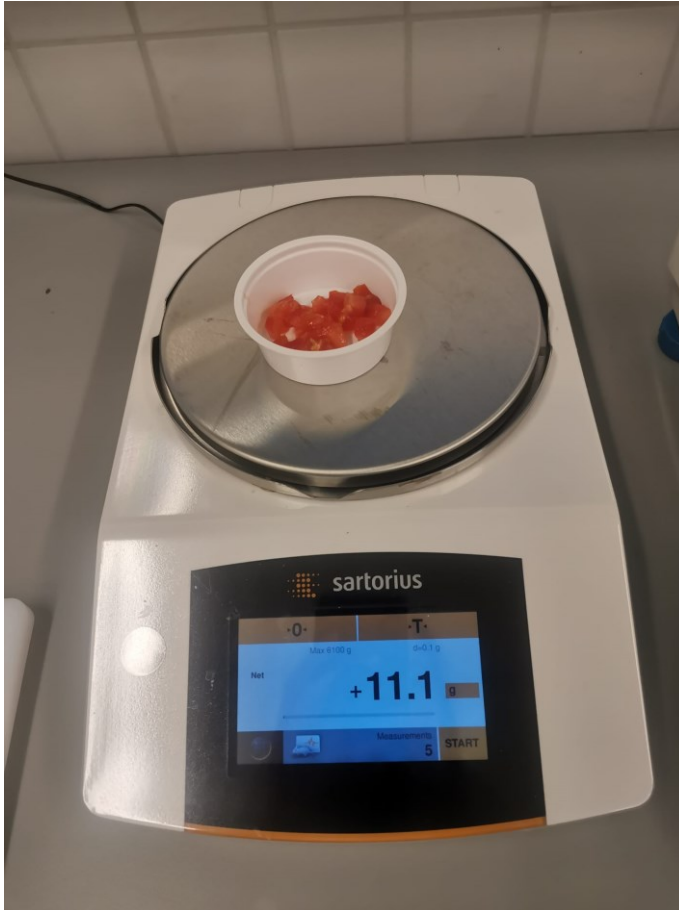
- Osasto A: Solray 385 + KP (P:KP = 7, +UVA)
- Osasto B (referenssi): Solray 385, (P:KP = 12,9, +UVA)
- Osasto C: Solray X + KP (P:KP = 12,9, -UVA)

Tavoitteena oli saada jokaisesta valaistusolosuhteesta mittauksia ja aistinvaraista arviointia varten mahdollisimman monta kypsää tomaattia samasta kypsyysasteesta tulosten vertailukelpoisuuden varmistamiseksi. Kypsyysasteen arviointi tapahtui silmämääräisesti värin punaisuutta arvioimalla sekä tunnustellen kiinteyttä arvioimalla. Kaikki tutkittavat näytteet poimittiin samana päivänä. Aistinvarainen arviointi ja laboratoriomittaukset tehtiin viiden päivän sisällä poiminnasta, jotta mahdolliset säilytyksen aiheuttamat erot tutkittavien ominaisuuksien välillä saataisiin minimoitua. Näytteitä säilytettiin poiminnan jälkeen avonaisissa pakastuspusseissa huoneenlämmössä, elintarvikelaboratorion varastotilassa.

Poiminnan jälkeen tomaatit lajiteltiin aistinvaraisen arvioinnin näytteisiin ja laboratoriomittauksiin tarkoitettuihin näytteisiin. Saman kypsyysasteen tomaatteja oli saatavilla vain rajallinen määrä, ja massaltaan eniten näytettä tarvittiin aistinvaraiseen arviointiin. Riittävän näytemäärän varmistamiseksi suuremmat tomaatit varattiin aistinvaraisen arvioinnin näytteiksi ja muita analyysyjä varten säästettiin pienemmät tomaatit. Tällä tavoin jokaisesta valaistusolosuhteesta saatiin mahdollisimman monta rinnakkaisnäytettä, eli kokonaista tomaattia, ja samalla aistinvaraisen raadin kokoa tai aistinvaraisessa erotustestissä tarjottavien näytteiden kokoa ei tarvinnut pienentää.

5.1.1 Aistinvaraisen arvioinnin näytteet

Aistinvaraiseen arviointiin varattiin noin 700 grammaa tomaattia kustakin valaistusolosuhteesta. Testimaiston perusteella sopivan näyteköön arvioitiin olevan noin 9–12 grammaa. Jokaiselle arvioijalle tarjottiin yhdeksän näytettä, jotka valmisteltiin pilkkomalla tomaatti noin puolen senttimetrin kokoisiksi kuutioiksi (kuva 2).

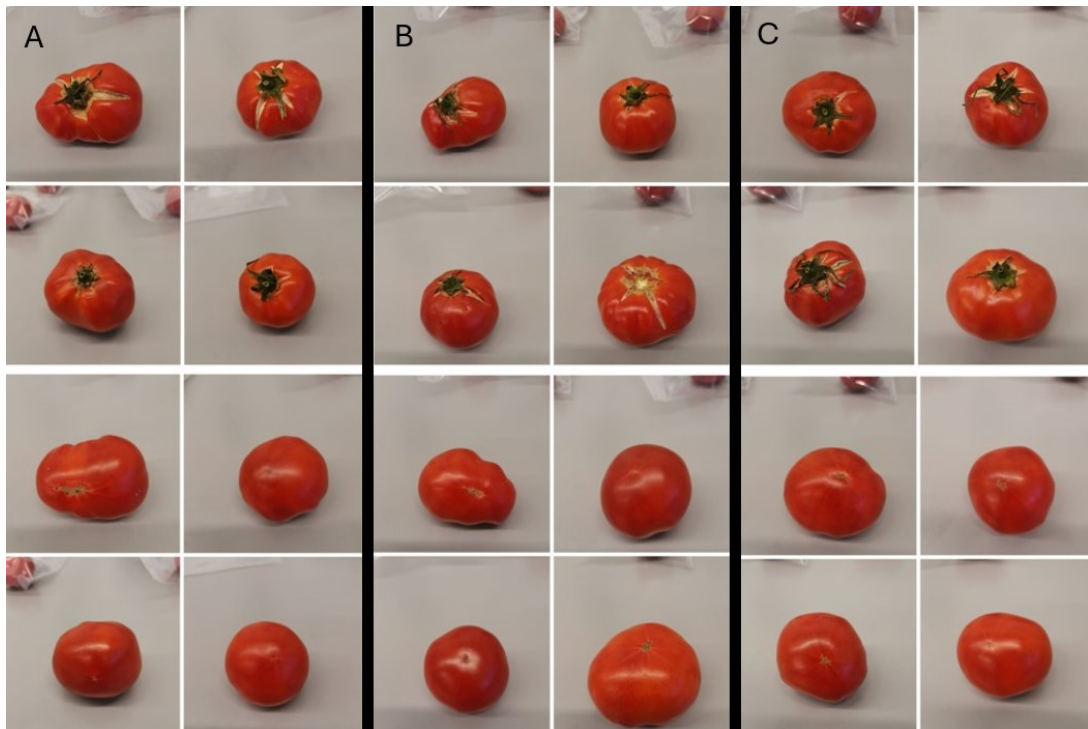


Kuva 2. Kuvassa aistinvaraisessa arvioinnissa tarjottava näyte, jonka optimaalisen koon arvioitiin olevan noin 9–12 grammaa.

Homogeenisuutta pyrittiin saavuttamaan yhdistämällä useampaa tomaattia samasta valaistusolosuhteesta. Pilkkominen ja näytteiden annostelu tehtiin noin puoli tuntia ennen arvioijien saapumista, jotta vältettäisiin näytteiden pitkäaikainen odottaminen pöydällä, mikä saattaisi muuttaa aistittavia ominaisuuksia. Näytemäärä annosteltiin näytekuppeihin silmämääräisesti, punnitusta näytteestä otettuun referenssikuvaan vertaamalla.

5.1.2 Laboratoriomittauksissa käytetyt näytteet

Laboratoriossa tehtäviä mittauksia varten kaikilta kolmelta kasvatusosastolta koottiin neljä tomaattia rinnakkaisnäytteiksi, eli kokonaisuudessaan tutkittavaksi saatiin 12 tomaattia (kuva 3).



Kuva 3. Laboratoriomittauksissa käytetyt näytetomaatit, jotka oli kasvatettu kasvatusosastoilla A (näkyvä valo +UVA +KP), B (näkyvä valo +UVA) ja C (näkyvä valo -UVA). Kaikista näytetomaateista otettiin kaksi kuvaa, yksi kummaltakin puolelta.

Mittauksista hylättiin tomaatit, joihin oli säilytyksen aikana ilmaantunut pilaantumisen merkkejä, sekä poiminnan aikana haljenneet tomaatit, joiden voitiin olettaa muuttuneen ominaisuuksiltaan ja koostumukseltaan säilytyksen aikana. Mittausjärjestys suunniteltiin niin, että jokaiseen näytetomaattiin voitiin suorittaa kaikki mittaukset, etenemällä ei-tuhoavista menetelmistä tuhoaviin menetelmiin.

5.2 Värimittaukset

Värimittauksen tavoitteena oli selvittää näytteiden välisten värieron suuruutta sekä näytteiden punaisuutta, keltaisuutta ja tummuutta. Mittauksissa käytettiin PCA Instruments -valmistajan PCE-CSM 4 -mallista kolorimetriä ja väriavaruusmallina CIELAB-väriavaruutta. Menetelmän tuloksina saatavia suureita ovat näytteiden välisten värierojen suuruudesta kertovat Delta E -arvot sekä värin tummuudesta, punaisuudesta ja keltaisuudesta kertovat $L^*a^*b^*$ -arvot. Delta E -

arvo mittaa kahden värin välisen, ihmissilmän havaitseman visuaalisen muutoksen suuruutta asteikolla 0–100. Taulukossa 4 on esitettyä suuntaa antava taulukko Delta E -arvoista ja ihmisen kyvystä havaita värieron. [64, s. 14–16.]

Taulukko 4. Delta E -arvot ja niitä vastaavat havainnot, joita ihmissilmä kykenee tekemään [64, s. 15–16].

Delta E -arvo	Havaittavuus
$0 < \Delta E < 1$	Ei havaittavissa ihmissilmällä
$1 < \Delta E < 2$	Vain kokenut tarkastelija voi havaita eron
$2 < \Delta E < 3,5$	Myös kokematon tarkastelija havaitsee eron
$3,5 < \Delta E < 5$	Selkeä värieron havaitaan
$5 < \Delta E$	Tarkastelija havaitsee kaksi eri väriä

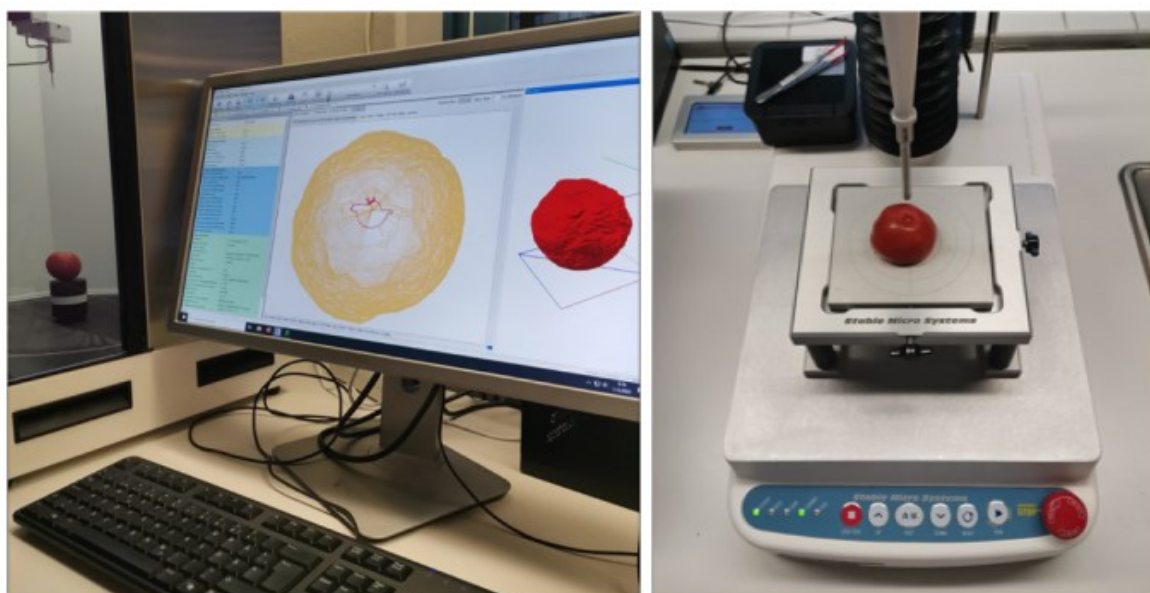
CIELAB-väriavaruudessa jokainen väri kuvaillaan kolmen komponentin (L^* , a^* ja b^*) avulla. L^* -arvo kertoo vaaleuden voimakkuudesta asteikolla 0–100, jossa 0 tarkoittaa mustaa ja 100 maksimaalista vaaleutta. a^* -arvo kertoo vihreän ja punaisuuden määräästä, jossa maksimaalinen vihreys sijoittuu akselilla arvoon -128 ja maksimaalinen punaisuus arvoon $+128$. b^* -arvo kertoo sinisyyden ja keltaisuuden määräästä, jossa maksimaalinen sinisyys sijoittuu akselilla arvoon -128 ja maksimaalinen keltaisuus arvoon $+128$. ($a^* = 0$; $b^* = 0$ = harmaa). [64, s. 14.]

Värimittaukset suoritettiin valitsemalla jokaisesta näytetomaatista viisi eri mitauspistettä, neljä kyljiltä ja yksi kannan vastapäiseltä puolelta. Jokaisen osaston näytteitä verrattiin toisiinsa, jolloin tuloksena saatiin värierojen suuruudesta kertovat Delta E -arvot. Lisäksi ylös kirjattiin värimittarin antamat $L^*a^*b^*$ -arvot, jotka kuvaavat värin sijaintia kolmiulotteisessa CIELAB-väriavaruudessa.

Värimittauksen yhteydessä tomaattien pintavirheitä tarkasteltiin silmämääräisesti, minkä lisäksi tomaateista otettiin valokuvat myöhempää tarkastelua varten.

5.3 Tilavuuden ja kiinteyden mittaukset

Tomaattien tilavuusmittauksiin (kuva 4) käytettiin Stable Micro Systems -valmistajan Volscan 600 -laitetta ja Volscan Profiler -analysointiohjelmaa. Kaikki näytteet mitattiin kokonaisina yksi kerrallaan ja ne asetettiin mittalaitteeseen tomaatin kanta ylöspäin. Näytteet asetettiin mittauslaitteen satulan piikkeihin varoen puhkaisemasta niiden kuoriin ylimääräisiä reikiä, jotta tulevia rakennemittauksia varten saataisiin näytteeksi ehjä puolikas jokaisesta tomaatista. Ajot suoritettiin korkean resoluution skannauksena. Pyörimisnopeudeksi asetettiin 1,0 rps ja pystysuuntaiseksi skannausväliksi 0,10 mm. Näytteet punnittiin ennen ajoja laitteen sisäisellä vaa'alla. Tilavuusmittausten tuloksena saatiin näytteiden massat, volyymit ja tiheydet myöhempää analysointia varten.



Kuva 4. Tomaattien tilavuusmittauksissa käytetty Stable Micro Systems -valmistajan Volscan 600 -tilavuusanalysointilaitteeseen ja Volscan Profiler -analysointiohjelmalla (kuva vasemmalla) ja puhkaisutestissä käytetty saman valmistajan TA.XT plus Texture Analyzer -rakennemittauslaitteeseen (kuva oikealla).

Tomaattien kiinteyden mittaukset suoritettiin puhkaisutestinä Stable Micro Systems TA.XT plus Texture Analyzer -laitteella (kuvassa 4), hyödyntäen rakennemittauksen tulosten käsittelyyn ja analyysiin tarkoitettua Texture Exponent -ohjelmaa. Käytössä oli sylinterin muotoinen P/5-analyysigeometria, joka on

halkaisijaltaan 5 millimetriä. Mittausnopeudeksi asetettiin 2 mm/s ja mittaus-syvyydeksi 10 mm. Mittaukset suoritettiin puolikkaille tomaateille ja tätä varten tomaatit halkaistiin kahteen osaan veitsellä kannan kohdalta ja sen suuntaisesti. Jokaiselle näytteelle tehtiin yksi mittaus. Mittauksiin valittiin tomaatin ehjä puolikas, jonka pinta ei ollut rikkoutunut tilavuusmittauksen näytesatulan piikeistä. Tomaatin puolikkaat asetettiin mittauslaitteeseen leikkauspinta alaspäin niin, että mittauspää puhkaisi tomaatin kuoren. Tuloksena ohjelma tuotti tulostaulukon ja käyrän, jossa on nähtävissä kuhunkin näytteeseen käytetty voima (g) ajan funktiona.

5.4 Brix- ja pH-mittaukset

Refraktiometrin antama Brix-arvo kertoo, kuinka monta grammaa sokereita on liuenneena 100 grammaan nestettä. Toimintaperiaate perustuu nesteen valontaittokyvyn mittaamiseen: sokerin määrän kasvaessa myös näytteen valontaittokyky kasvaa. [18, s. 3.] Tomaattien sokeripitoisuudet määritettiin mittaamalla näytteistä Brix-arvot. Mittaukset suoritettiin käyttäen Atago-merkkistä Pocket PAL-1 -refraktometriä. Jokaisesta näytetomaatista puristettiin kaksi pisaraa mehua refraktometrin mittauspinnalle ja tulokset kirjattiin ylös.

pH-mittaukset suoritettiin Thermo Scientific -valmistajan Elitesphear-kit-mallisella pH-mittarilla. Jokaisesta näytteestä mitattiin erikseen pH-arvot ja mittauksia varten näytteet esikäsiteltiin soseuttamalla ne omissa dekanterilaseissaan. pH-mittauksista saadut tulokset sekä mittauslämpötilat kirjattiin ylös myöhempää käsittelyä ja analysointia varten.

pH-mittausten lopuksi näytteet pakastettiin ja pakkaskuivattiin kuuden vuorokauden ajan mahdollista myöhempää jatkokäyttöä varten. Kuvat näytteistä petrialjoilla ennen pakkaskuivausta, pakkaskuivattuina sekä jauhettuina löytyvät liitteestä 1. Pakkaskuivauksen aikana näytteissä ilmeni vaahtoamista, joka olisi mahdollista välttää käyttämällä jatkossa siihen tarkoitettua apuainetta.

5.5 Kolmitesti

Kolmitesti on paljon käytetty erotustestimenetelmä, jonka avulla selvitetään mahdollisia eroja aistinvaraisissa ominaisuuksissa. Se on tarkkuutensa vuoksi erityisen hyödyllinen menetelmä silloin, kun halutaan selvittää, löytyykö näytteiden välillä hyvin pieniä, vaikeasti havaittavia eroja. Tässä työssä kolmitestin tavoitteena oli selvittää, eroavatko eri valoilla kasvatetut tomaatit toisistaan. Kolmitestin testiasetelmassa kolmen näytteen näytesarjassa on kaksi samanlaista ja yksi poikkeava näyte, joka raadin tehtävänä on tunnistaa. Mikäli arvioija ei tunnista poikkeavaa näytettä, valinta on perustettava arvaukseen. Kolmitestissä arvauksen mahdollisuus on 1/3. [65, s. 76–79.] Koska kaikkien kolmen kasvatusvalaistuksen vaikutuksia tomaattien ominaisuuksiin haluttiin verrata toisiinsa, kolmitesti suoritettiin kolmella näytesarjalla. Ensimmäisessä näytesarjassa näytteinä osastoilla A ja B viljellyt tomaatit, toisessa näytesarjassa osastoilla A ja C viljellyt tomaatit ja kolmannessa näytesarjassa osastoilla B ja C viljellyt tomaatit. Näytesarjat aseteltiin tarjottimille vaakariveihin ja niiden esitysjärjestys satunnaistettiin (kuva 5).

Aistinvaraisen arvioinnin toteuttamiseen käytettiin siihen suunniteltua RedJade-ohjelmaa (RedJade Sensory Solutions LLC, Yhdysvallat), jonka käyttöönottoa harjoiteltiin osana tätä insinööriä. Ohjelman avulla laadittiin testilomakkeet, numerokoodattiin näytteet, ja satunnaistettiin sekä näytteiden että näytesarjojen esitysjärjestys. Lisäksi ohjelmaa käytettiin tulosten keräämiseen ja analysointiin. Jokaiselle arvioijalle annettiin tablettitietokone, jolla he täyttivät sähköisen arviointilomakkeen (arviointilomake liitteessä 2).



Kuva 5. Aistinvaraisen arvioinnin testiasetelman valmistelua arviointikoppeihin. Jokaiselle arvioijalle valmisteltiin arviointikoppeihin tablettitietokone ja tarjotin, jolle kolmitestin näytesarjat oli aseteltu vaakariveille. Lisäksi tarjottimilta löytyi lusikka ja suun huuhteluun tarkoitettu mukillinen huoneenlämpöistä vettä.

Kolmitesti järjestettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun Leiritien kampuksella sijaitsevassa elintarviketekniikan laboratoriossa, aistinvaraiseen arviointiin tarkoitettussa tilassa (kuva 5). Kolmitestiin osallistuva raati (n=11) koostui pääosin Metropolian sekä Urban & Local -hankkeen henkilökunnasta, mutta mukana oli myös bio- ja elintarviketekniikan opiskelijoita. Kolmitestissä tuotetuntemus ja harjaantuneisuus menetelmään voivat olla eduksi, sillä ne lisäävät herkkyyttä havaita eroja näytteiden välillä [65, s. 79]. Kaikilla raadin jäsenillä oli tuntemusta ja kokemusta tomaateista ja niiden aistinvaraisista ominaisuuksista. Raadin jäsenten kokemus aistinvaraisesta arvioinnista vaihteli kokeneista henkilöistä kokemattomiin henkilöihin, sillä käytettävissä ei ollut koulutettua ammattiraatia. Kokemattomuus huomioitiin raadin perusteellisessa informoinnissa ja ohjeistuksessa. Raatia ohjeistettiin käytetystä menetelmästä, tutkimuksen tarkoituksesta ja arviointitilanteesta huomioitavista seikoista kirjallisesti ja suullisesti ennen arviointia, minkä lisäksi heille annettiin mahdollisuus esittää kysymyksiä etukäteen

arviointiin liittyen. Osallistuminen oli vapaaehtoista, ja sen sai halutessaan perua tai keskeyttää missä vaiheessa tahansa. Lisäksi raadilta pyydettiin kirjallinen eettinen suostumus aistinvaraiseen tutkimukseen osallistumisesta ja heille oli nähtävissä työhön liittyvä tietosuojaseloste.

5.6 Tulosten käsittely

Kaikkien elintarvikelaboratoriomittausten kirjaamiseen, käsittelyyn ja tilastolliseen analysointiin käytettiin Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmaa. Vertailtavien osastojen rinnakkaisnäytteiden keskiarvot ja keskihajonnat laskettiin tulosten vertailua varten. Kolmitestin tulosten käsittelyssä työkaluna toimi RedJade-ohjelma, joka kerää ja analysoi tilastollisin menetelmin tiedot sähköisiltä lomakkeilta automaattisesti. Sekä laboratoriomittauksissa että kolmitestissä esiintyneiden erojen tilastollisen merkitsevyyden selvittämisen menetelmänä toimi yksisuuntainen varianssianalyysi ANOVA (liite 3).

6 Tulokset ja niiden tulkinta

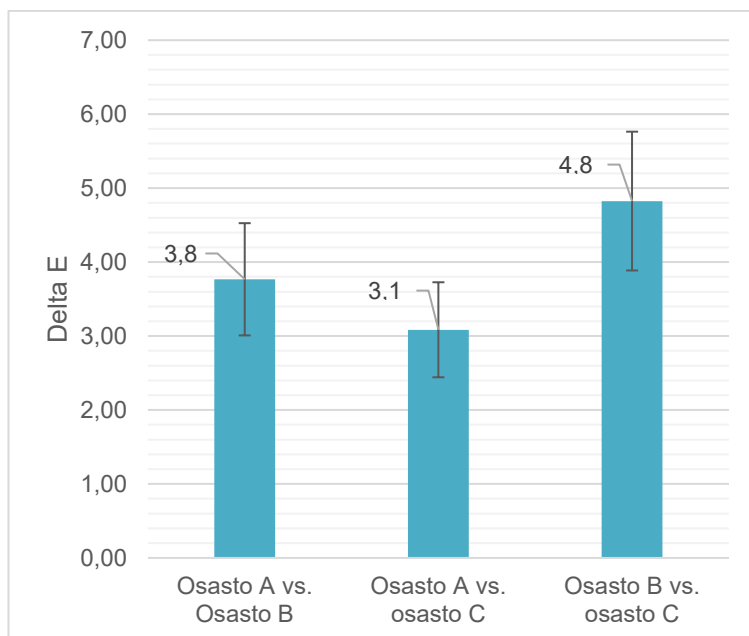
6.1 Yleistä

Tässä työssä saatuja tuloksia tarkastellessa on huomioitava, että tutkittavien tomaatintaimien genetiikka ei ole välttämättä ollut täysin identtinen, sillä kasvit idätettiin siemenistä. Lisäksi projektissa viljeltyjen tomaatintaimien määrä (12 kpl) ja osastokohtaisten rinnakkaisnäytteiden määrä (4 kpl) oli suhteellisen pieni. Näistä syistä suoria johtopäätöksiä ei tehdä, vaan tuloksia tarkastellaan suuntaa antavina, peilaten havaintoja aiheesta tehtyyn tutkimustietoon.

6.2 Eri valaistusolosuhteissa kasvatettujen tomaattien värierot ja pintavirheet

Eri osastoilla kasvatettujen tomaattien värieroja mitattiin kolorimetrillä ja tuloksena saatiin värierojen suuruudesta kertovat Delta E -arvot sekä CIELAB-väriavaruuden kolmelle akselille sijoittuvat $L^*a^*b^*$ -arvot. Keskimääräiset kolmen

eri osaston tomaattinäytteiden väliset värierot eli Delta E -arvot sijoittuivat kaikissa vertailuissa 3 ja 5:n välille (kuva 6), Suurin keskimääräinen väriero mitattiin kontrollivalaistuksena toimineen osaston B ja osaston C näytteiden väliltä ($\Delta E=4,8$). Myös osastojen A ja B välillä mitattiin selkeästi havaittavissa oleva väriero ($\Delta E=3,8$). Pienin väriero taas mitattiin osastojen A ja C näytteiden välillä ($\Delta E=3,1$). Kaikissa tuloksissa ilmeni jonkin verran hajontaa. [64, s. 15].



Kuva 6. Eri kasvatusosastoilla (A, B ja C) kasvatettujen näytetomaattien (n=4) väliset keskimääräiset värierot, eli Delta E -arvot ja tulosten keskihajonnat. Osasto A: Näkyvä valo +UVA +KP, osasto B: näkyvä valo +UVA, osasto C: näkyvä valo –UVA.

Tomaateista mitattujen värierojen lisäksi ylös kirjattiin myös värin sijainnista CIELAB-väriavaruuteen kertovat $L^*a^*b^*$ -arvot, joiden keskiarvot ovat kirjattuna taulukkoon 5. Arvojen väliset erot olivat hyvin pieniä kaikilla kolmella väriavaruuden akselilla, eivätkä tilastollisesti merkitseviä luottamustasolla 95 % (L: $p=0,48$; a^* : $p=0,88$; b^* : $p=0,95$).

Taulukko 5. Kolmen kasvatusosaston (A, B ja C) tomaattinäytteistä (n=4) mitatut $L^*a^*b^*$ -arvot ($ka \pm s$). Matala L^* -arvo kertoo tummuudesta, positiivinen a^* -arvo punaisuudesta ja positiivinen b^* -arvo keltaisuudesta. Erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä luottamustasolla 95 % (L : $p=0,48$; a^* : $p=0,88$; b^* : $p=0,95$).

	Osasto A (Näkyvä valo +UVA +KP)	Referenssiosasto B (Näkyvä valo +UVA)	Osasto C (Näkyvä valo –UVA)
L^*	43,50±0,59	44,15±1,71	43,01±1,31
a^*	30,95±1,18	30,90±2,44	31,41±0,71
b^*	24,96±0,73	24,98±3,21	25,41±1,75

Tuloksia tarkastelemalla voidaan kuitenkin havaita, että osaston C näytetomaatit poikkesivat muiden osastojen näytetomaateista olemalla hieman punaisempia (a^*), ja keltaisempia (b^*) ja tummempia (L^*). Osastojen A ja B näytteet olivat sen sijaan punaisuuden ja keltaisuuden osalta hyvin lähellä toisiaan, osaston B näytteiden ollessa vaaleampia. Lisäksi osaston B keskihajonta oli suurta kaikissa mitatuissa arvoissa, mikä viittaa siihen, ettei tomaattien väri ollut homogeenista. Näiden osastojen yhdistävä tekijä oli UVA-säteily, joka on saattanut vaikuttaa tomaattien punaisen ja keltaisen värin voimakkuuteen negatiivisesti.

Tulos on linjassa tutkimusten kanssa, joissa UVA-valon on havaittu heikentävän tomaattien värin intensiteettiä, lisäävän keltaisuutta ja vähentävän punaisuutta. Nämä ominaisuudet on koettu tomaatin laatua heikentäviksi ominaisuuksiksi kulluttajien keskuudessa. Myös suurin väriero havaittiin kahden sellaisen osaston välillä, joiden ainoa erottava tekijä oli UVA-säteily. Mahdollinen syy värin muutoksille on voinut olla UVA-valoreseptoreiden kyky osallistua pigmentteinä toimivien karotenoidien synteesiin. [6, s. 778–783; 56, s. 21–22.]

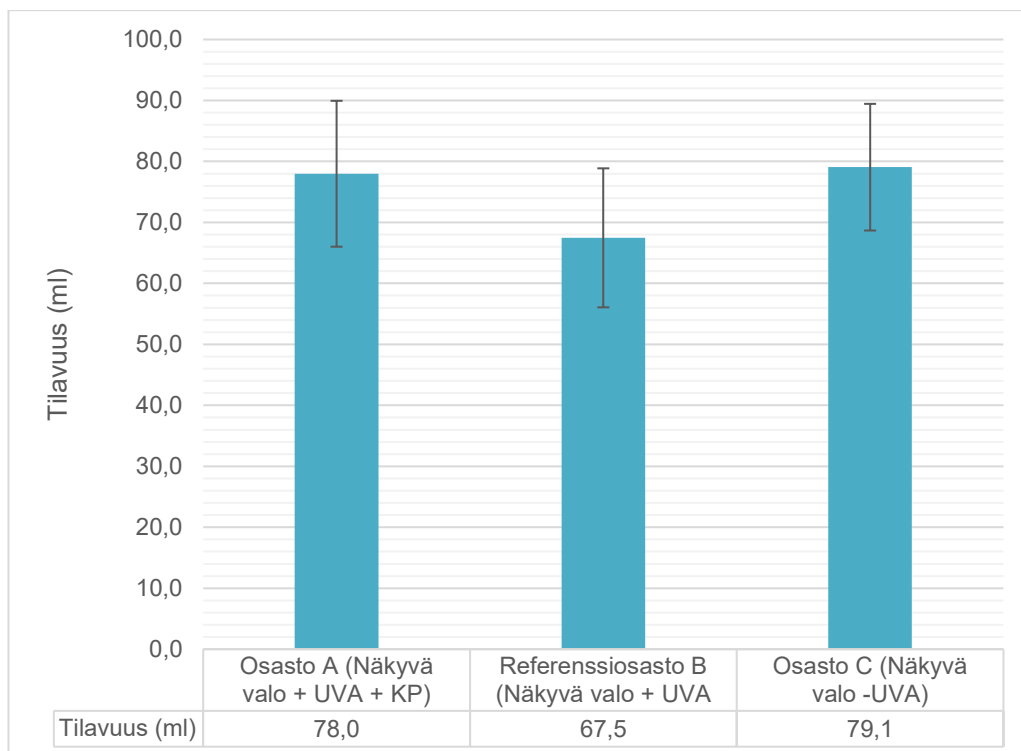
Myös värin tasaisuuden on havaittu tutkimuksissa heikentyvän, mikä on osaltaan voinut vaikuttaa saatuihin tuloksiin, sillä väriltään epähomogeeniselta pinnalta satunnaisesti otetut värimittaukset voivat vaihdella suurestikin. Tämä näkyy suurempana keskihajontana etenkin referenssivalaistuksen (näkyvä valo + UVA) näytteistä mitatuissa vaaleuden, punaisuuden ja keltaisuuden arvoissa.

[6, s. 779–783.] Tuloksista nähdään myös, että kaukopunavalon lisäys UVA-säteilyn rinnalle ei vaikuttanut tomaattien punaiseen tai keltaiseen väriin, mutta teki tomaateista hieman referenssiosastoa tummempia.

Kaikkien osastojen tomaattinäytteissä esiintyi myös jossain määrin pintavirheitä, mutta niiden määrä ja laatu ei eronnut merkittävästi eri osastojen välillä. Onkin todennäköistä, että pintavirheitä ovat aiheuttaneet pääasiassa muut kasvatusolosuhdetekijät kuin valon spektrikoostumus.

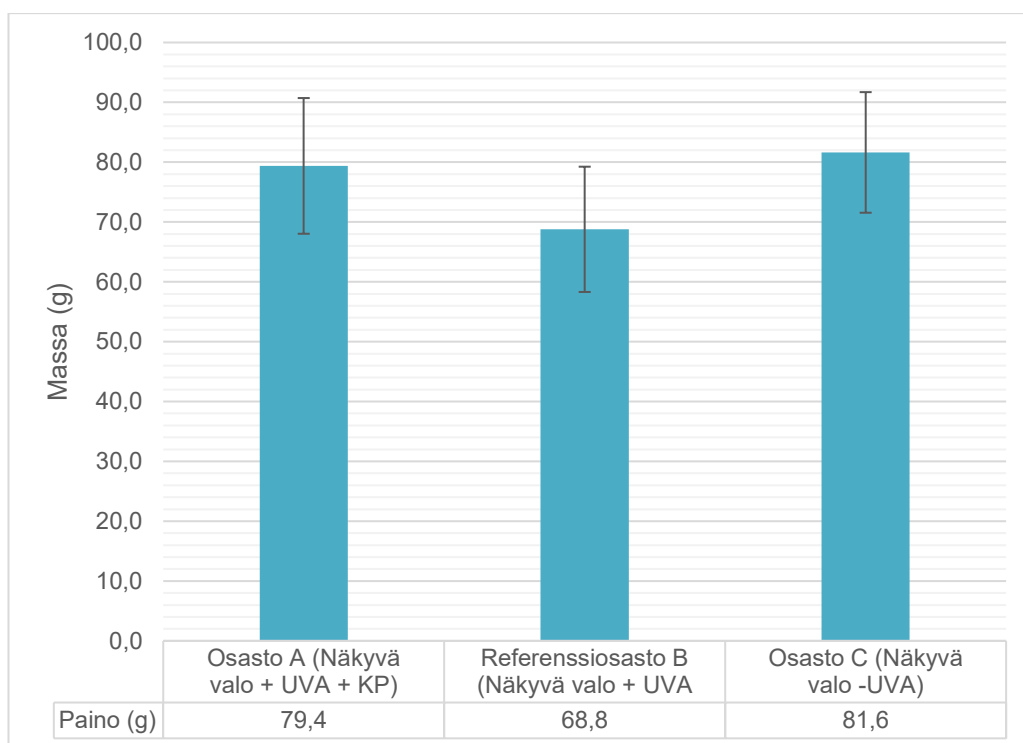
6.3 Erot rakenteellisissa ominaisuuksissa

Volyymimittauksesta saatiin tuloksena näytteiden keskimääräiset tilavuudet, painot ja tiheydet. Osastojen välillä havaittiin eroja erityisesti näytetomaattien koossa, mutta myös tiheydet erosivat hieman. Havaitut erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä luottamustasolla 95 % (tilavuus: $p=0,73$; massa: $p=0,67$; tiheys: $p=0,78$;). Tuloksista on kuitenkin nähtävissä, että osastolla B kasvatetut tomaatit olivat tilavuuksiltaan ja massoiltaan keskimäärin pienimpiä (kuva 7 ja 8). Suurimpia olivat osaston C tomaattinäytteet, mutta ero osaston A näytteisiin oli hyvin pieni.



Kuva 7. Tomaattinäytteistä (n=4), jotka oli kasvatettu eri valo-olosuhteissa (A, B (ref.) tai C) tehtyjen volyymimittausten tuloksista lasketut tilavuuksien keskiarvot ja keskihajonnat. Havaitut erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä luottamustasolla 95 % ($p=0,73$).

Mitatuista massoista saadut tulokset ovat samansuuntaiset tilavuuksien kanssa. Massaltaan pienimmät näytetomaatit oli kasvatettu referenssiosastolla B. Osastojen A ja C näytteet olivat massaltaan samaa suuruusluokkaa (kuva 7). Havaitut erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä luottamustasolla 95 % ($p=0,67$).

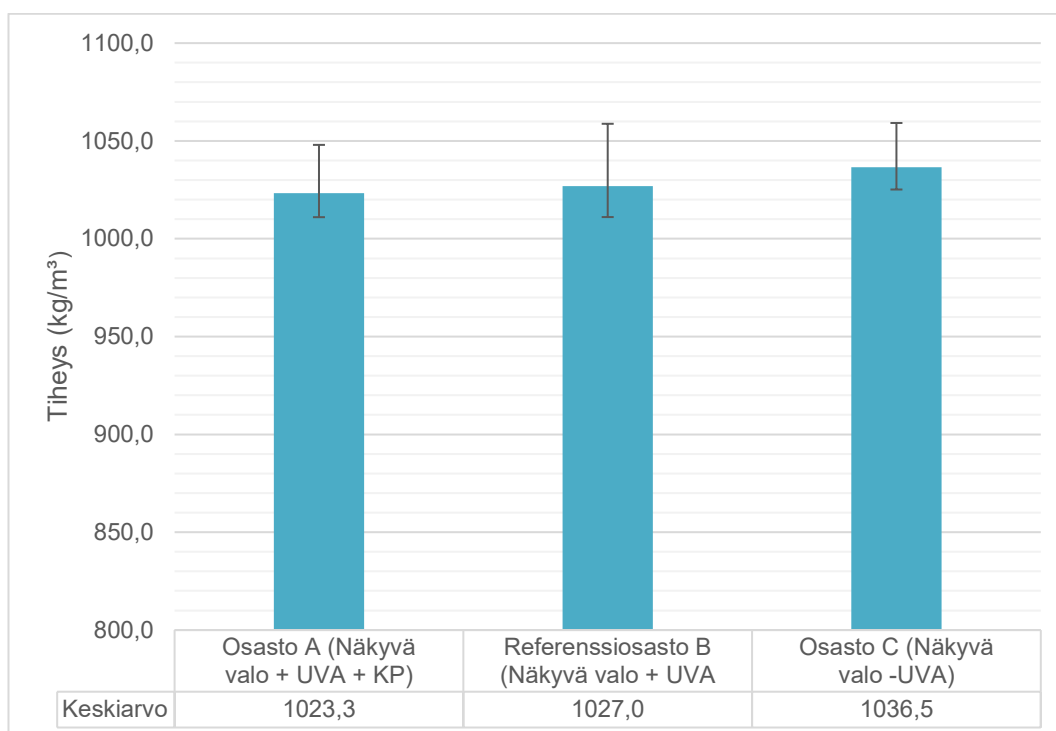


Kuva 8. Tomaattinäytteistä (n=4), jotka oli kasvatettu eri valaistusolosuhteissa (A, referenssi B tai C), mitattujen massojen keskiarvot ja keskihajonnat. Havaitut erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä luottamustasolla 95 % (p=0,67).

Eri valaistuksissa kasvatettujen tomaattien välillä havaittiin pieniä kokoeroja. Vaikka otanta kokojen vertailuun oli melko pieni, tulokset olivat linjassa myös Venermon tomaateista tekemien mittausten kanssa. Referenssivalaistuksen (Näkyvä valo +UVA) käyttö kasvatusvalaistuksessa tuotti pienimmät tomaatit, muiden valaistuksien tomaattien ollessa keskenään samaa kokoluokkaa. [63, s. 30.] Tulokset ovat saman suuntaisia, kuin aiheesta tehdyissä tutkimuksissa, joissa on havaittu UV-säteilylisäyksen kasvatusvalaistukseen tuottavan pienempiä tomaatteja [6, s. 779]. Kaukopunaisella valolla sen sijaan on tutkimuksissa havaittu olevan tomaatin kokoa lisäävä vaikutus [57, s. 1914], eli mikäli UVA-valoisää käytetään kasvatusvalaistuksessa, kaukopunaisen valon lisääminen voi edesauttaa tomaattien kasvua lajikkeelle tyypilliseen kokoonsa.

Eri osastoilla kasvatettujen tomaattinäytteiden tiheyksissä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa luottamustasolla 95 % (p=0,78). Tuloksia tarkastellessa

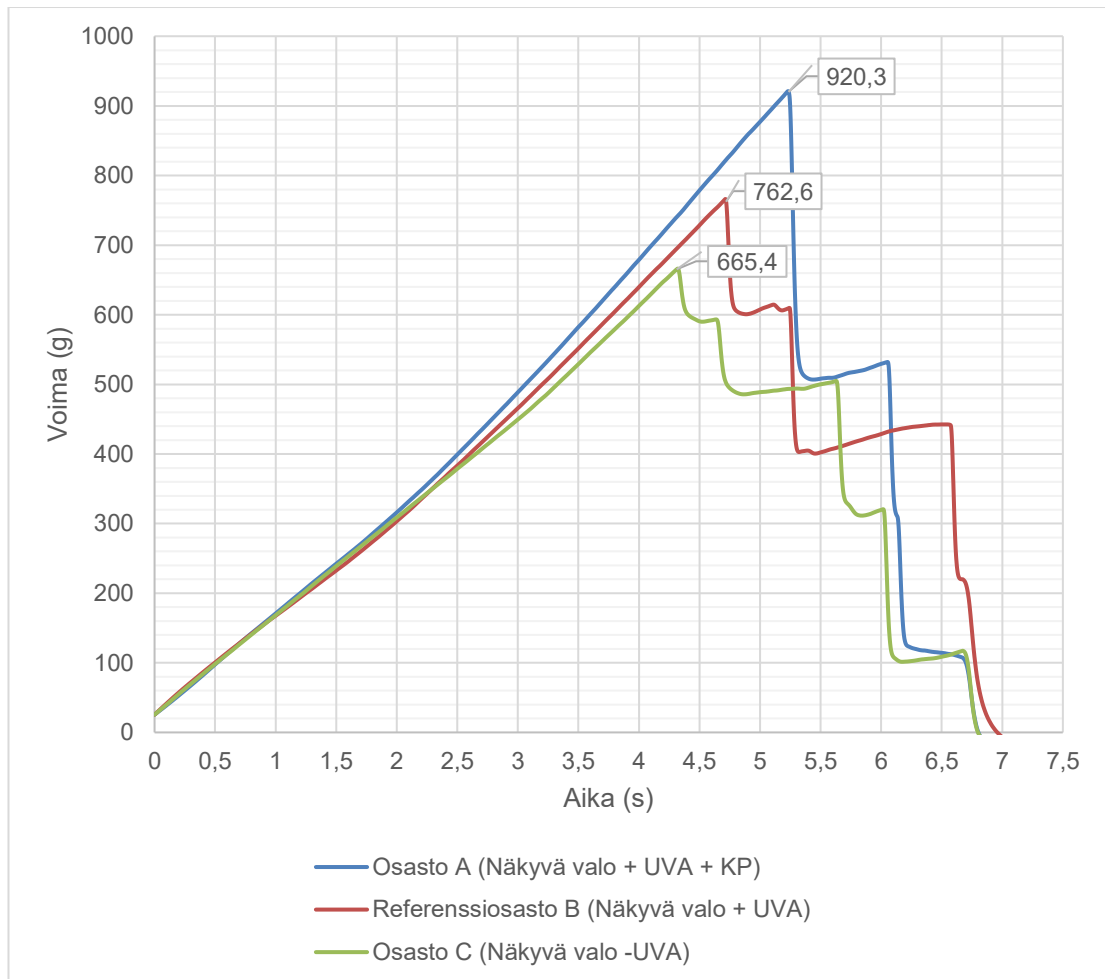
vain hyvin pieniä eroja oli havaittavissa (kuva 9) – osastolla C kasvatetut näytetomaatit olivat tiheimpiä ja osastolla A vähiten tiheitä.



Kuva 9. Pylväsdiagrammissa on esitetty eri valaistuksissa kasvatettujen näytteiden tiheydet (n=4). Havaitut erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä luottamustasolla 95 % (p=0,78).

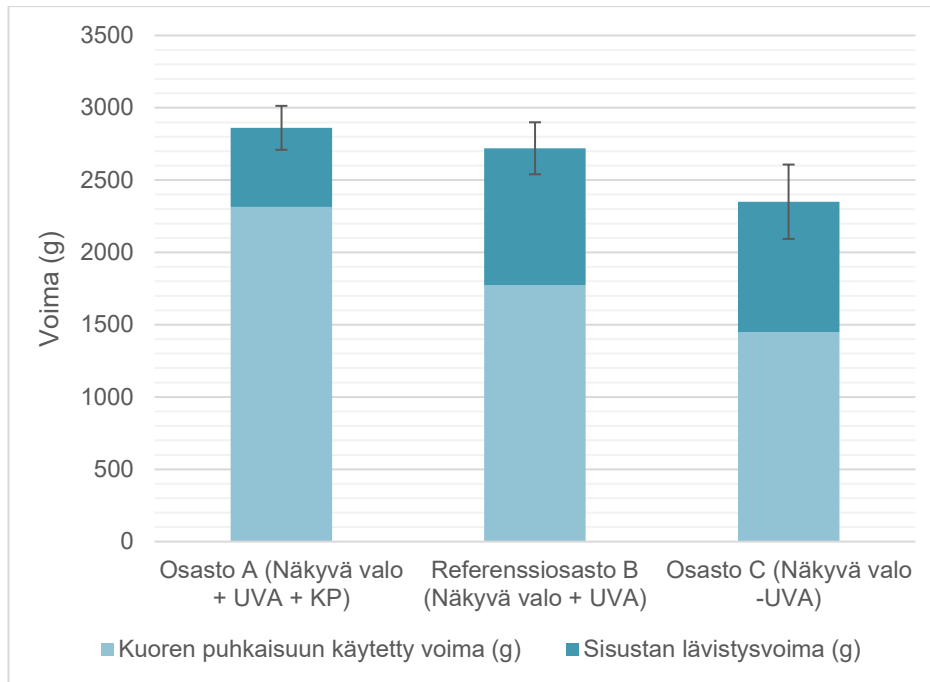
Tiheyden merkitystä tomaatin laadullisissa ominaisuuksissa ei ole tutkittu, mutta nektariineista ja mangoista tehdyissä tutkimuksissa tiheimmät hedelmät ovat olleet makeampia, aromikkaampia ja niiden sokeri- ja C-vitamiinipitoisuus sekä fenolisten yhdisteiden pitoisuus on ollut korkeampaa kuin vähemmän tiheillä verrokeilla. Vaikka muista hedelmistä tehdyistä tutkimustuloksista ei voida tehdä suoria johtopäätöksiä, on mahdollista, että myös tomaatin osalta korkea tiheys on etenkin aistittavan laadun kannalta positiivinen ominaisuus. [66, s. 1; 67, s. 9–10.] Eri osastojen valaistusten vaikutukset tomaatin tiheyteen olivat kuitenkin hyvin vähäisiä ja havaitut erot asettuvat todennäköisesti mittausepävarmuuden piiriin.

Rakennemittauksissa eri valaistusolosuhteiden näytteiden välillä havaittiin selvempiä eroja. Kuvasta 10 nähdään, että osaston A näytteet vaativat eniten voimaa ja osaston C vähiten puhkaisutestissä. Mittapää puhkaisi näytteiden A kuoren keskimäärin noin yhden sekunnin myöhemmin kuin näytteiden C kuoren.



Kuva 10. Rakennemittauksen tuloksista lasketut kolmen eri osaston (A, B ja C) tomaattinäytteiden (n=4) keskimääräiset voimat eri ajan hetkillä. Kuvaajien korkeimmat huiput eli maksimivoimat kuvaavat sitä mittauksen vaihetta, jossa analyysegeometria läpäisee tomaatin kuoren.

Rakennemittausten tuloksista laskettiin puhkaisutestissä käytetyt keskimääräiset kokonaisvoimat osastojen A, B ja C näytteille. Kokonaisvoimissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroa luottamustasolla 95 % ($p=0,23$). Kuvan 11 pylväsdiagrammista kuitenkin nähdään, että puhkaisutestissä havaittiin pieniä eroja osastojen näytteiden välillä.



Kuva 11. Rakenneanalyysin tulosten keskiarvot ja keskihajonnat eri osastoilla (A, B (referenssi) ja C kasvatetuissa tomaattinäytteissä (n=4). Pylväiden keskihajontaviivat viittaavat näytteisiin käytetyn kokonaisvoiman keskihajontaan. Kokonaisvoimissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroa luottamustasolla 95 % ($p=0,23$).

Kokonaisuudessaan voimaa tarvittiin eniten osastolla A ja vähiten osastolla C kasvatettujen tomaattinäytteiden puhkaisutestissä. Osastolla A suurin osa käytetystä voimasta kului kuoren puhkaisuun, mutta sisustan lävistykseen voimaa tarvittiin muita osastoja vähemmän. Osaston B ja C tomaattinäytteiden sisustan lävistykseen vaadittiin suunnilleen yhtä paljon voimaa. Osaston C tomaattien kuoret olivat kuitenkin heikommät kuin verrokeissa.

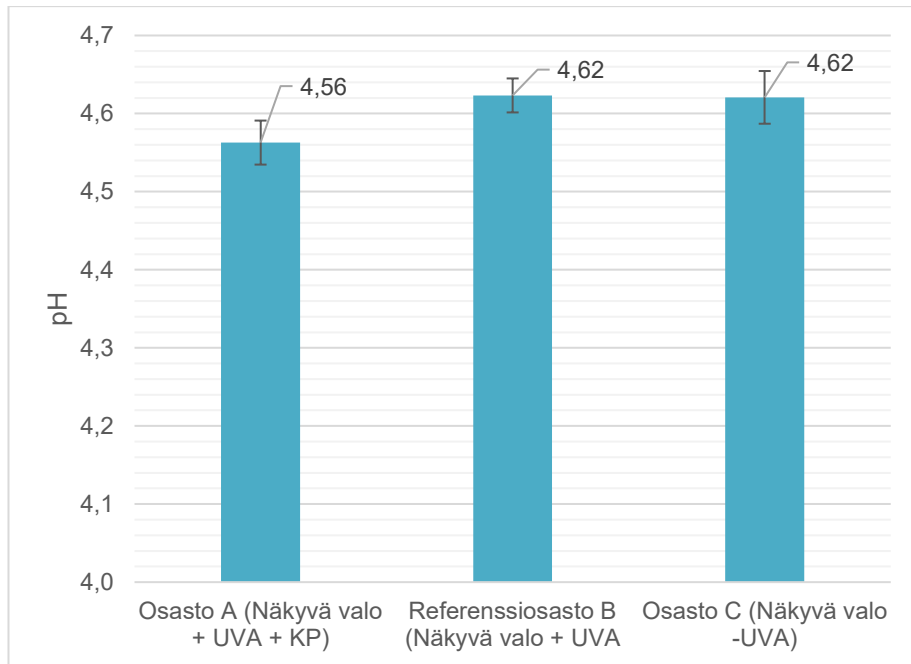
Tuloksista nähdään, että rakennemittauksissa havaittiin eroja eri valaistuksissa kasvatettujen tomaattien välillä, jotka eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. UVA- ja kaukopunavalolisäys näkyvään valoon tuotti kuoreltaan kestävimät tomaatit. Myös referenssiosaston kasvatusvalaistuksen sisältämä UVAlisäys edisti tomaatin kuoren kestävyttä. Heikoin kuori oli pelkässä näkyvässä valossa kasvatetuilla tomaateilla. Tulokset ovat linjassa aiheesta tehtyjen tutkimusten kanssa, joissa on havaittu UVA-säteilyn lisäävän tomaatin kiinteyttä, joka on etenkin säilyvyyden kannalta tärkeä laatutekijä. [6, s. 780.]

Kaukopunasäteilylisäys vaikutti myös edistävän kiinteä kuoren muodostumista, minkä lisäksi sillä oli vaikutusta myös tomaatin sisustan tekstuuriin. Tässä valaistuksessa kasvatetut tomaatit olivat sisustaltaan muita tomaatteja pehmeämpiä, vaikka niiden kuoret olivat kestävimät. Pehmeä tomaatin sisusta voi olla haluttu tai ei-haluttu ominaisuus, riippuen mieltymyksistä ja käyttötarkoituksesta. Muilla osastoilla kasvatettujen tomaattien sisusta oli kiinteämpää, kuorten ollessa verrokkejaan heikompia.

Tulosten perusteella vaikutti siltä, että näkyvän valon rinnalle lisätty UVA- ja kaukopunasäteily tuotti kiinteämpiä, mahdollisesti säilyvyysajaltaan pidempiikäisiä tomaatteja. Vaikka tällä osastolla kasvatetut tomaatit olivat sisustaltaan pehmeämpiä, ne olivat kokonaisuudessaan verrokkejaan kestävämpiä.

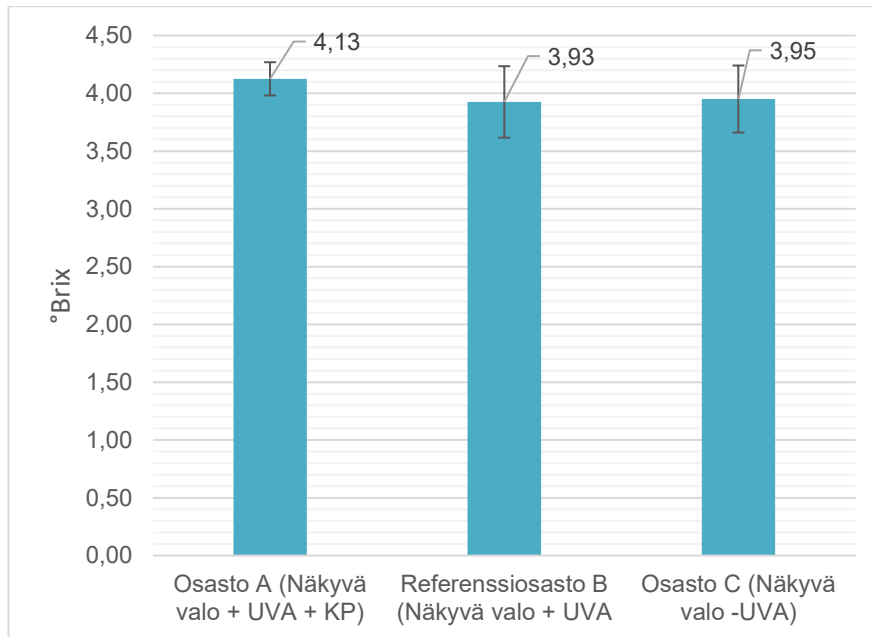
6.4 Tomaattien happamuudet ja sokeripitoisuudet

Eri valaistusolosuhteissa kasvatettujen tomaattien happamuuksissa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa luottamustasolla 95 % ($p=0,28$). Lisäksi pH-arvojen keskihajonta oli kaikkien osastojen tomaattinäytteissä hyvin pientä. Tulokset olivat samaa suuruusluokkaa kaikkien valaistusolosuhteiden näytteet osuessa pH-alueelle 4,56–4,62 (kuva 12). Alhaisin pH-arvo mitattiin valaistuksen A näytteistä (pH 4,56). Valaistusten A ja B näytteistä mitattiin keskenään samat pH-arvot (pH 4,62).



Kuva 12. Osastoilla A, B ja C kasvatetuista tomaattinäytteistä mitatut pH-arvot ja mittaustulosten keskihajonnat (n=4, T=23 °C).

Sokerin määrästä kertovissa keskimääräisissä Brix-arvoissa oli havaittavissa pieniä hyvin pieniä eroja eri valaistusolosuhteiden näytteiden välillä (kuva 13), jotka eivät olleet tilastollisesti merkitseviä luottamustasolla 95 % (p=0,84). Korkein keskimääräinen Brix-arvo mitattiin osaston A näytteistä (4,13), osastojen C näytteiden (3,95) ja osaston B (3,93) näytteiden Brix-arvojen ollessa keskenään käytännössä yhtä suuret.



Kuva 13. Osastoilla A, B ja C kasvatetuista tomaattinäytteistä mitatut Brix-arvot ja mittaustulosten keskihajonnat (n=4, T=23 °C).

Kaukopunasäteilylisässä kasvatettujen tomaattinäytteiden havaittiin olevan aavistuksen happamampia ja sokeripitoisempia, poiketen hieman pH- ja Brix-arvoiltaan kahden muun osaston näytteistä. Tulos on linjassa tutkimusten kanssa, joissa kaukopunasäteilyyn on havaittu lisäävän tomaatin sisältämien happojen ja sokereiden määrää. [58, s. 1914, 6, s. 779.] Mitatut erot eri osastojen tomaattinäytteiden sokeripitoisuuksissa ja happamuuksissa olivat kuitenkin äärimmäisen pieniä.

6.5 Tomaattien aistinvaraiset erot

Eri valaistusolosuhteissa kasvatettuja tomaatteja tutkittiin aistinvaraisesti kolmitestin avulla, jonka tavoitteena oli selvittää, löytyikö tomaattinäytteiden välillä aistinvaraisia eroja. Kolmitestin tulokset ovat koottuna taulukossa 6. Kolmitestinä toteutetun erotustestin tuloksena havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero tomaattinäytteiden B ja C välillä luottamustasolla 99 % (p=0,0088). Näytesarjassa 73 % raadin jäsenistä tunnisti poikkeavan näytteen. Osastojen A ja B sekä A ja

C välillä tilastollisesti merkitsevää eroa ei kuitenkaan havaittu ($p=0,4407$ ja $0,5274$).

Taulukko 6. Kolmitestinä toteutetun aistinvaraisen erotustestin tulokset kolmella näytesarjalla, joista ensimmäisessä raadin tehtävänä oli erottaa toisistaan osaston A ja B näytteet, toisessa osaston A ja C näytteet ja kolmannessa osaston B ja C näytteet. Osasto A: Näkyvä valo +UVA +KP, osasto B: näkyvä valo +UVA, osasto C: näkyvä valo –UVA.

	Osasto A + B	Osasto A + C	Osasto B + C
Oikeita vastauksia (lkm.)	4	4	8
Vastauksia yhteensä (lkm.)	10	11	11
Oikeita vastauksia (%)	40	36	73
Luottamustaso (% , yksisuunt.)	56	47	99
<i>p</i> -arvo	0,4407	0,5274	0,0088

Aistinvaraisen erotustestin tuloksista nähdään, että UVA-säteilyn poistaminen referenssivalaistuksesta aiheutti havaittavissa olevan eron tomaattien aistittaviin ominaisuuksiin. Elintarvikelaboratoriossa tehtävissä mittauksissa suurin eroavaisuus näiden näytteiden välillä havaittiin värissä, joten on mahdollista, että tämä ero on ollut myös raadin havaittavissa. Tomaatin väriin vaikuttaa pääosin sen sekundäärisiin aineenvaihduntatuotteisiin kuuluvat lykopeeni ja β -karoteeni, joiden pitoisuuksien on tutkimuksissa havaittu pienentyvän UVA-säteilyn vaikutuksesta. Lisäksi UVA-säteilyllä on havaittu tomaattien värin intensiteettiä heikentävä vaikutus. [6, s. 780–783; 56; s. 21.]

On myös mahdollista, että UVA-säteily on myös lisännyt aiempien tutkimusten tavoin esimerkiksi tomaattien fenolisten yhdisteiden tai VOC-yhdisteiden pitoisuuksia ja vaikuttanut tällä tavoin aistittaviin ominaisuuksiin verrattuna pelkässä näkyvässä valossa kasvatettuihin tomaatteihin. [6, s. 780–783.] Tuloksista kuitenkin nähdään, että vain alle puolet raadista havaitsi eroavan näytteen niissä

näytesarjoissa, joissa kaukopunasäteilylisäyksen vaikutuksia tomaattien aistittavaan laatuun kartoitettiin, vaikka myös tällä osastolla oli käytössä UVA-säteilylisäys. Se, miksi tämän osaston näytteitä ei erotettu muista näytteistä, jää epäselväksi, sillä tutkimuksia näkyvän valon, UVA-säteilylisän ja korkean kaukopunasäteilyn määrän yhdistelmästä kasvatustilastuksessa ei ole saatavilla tutkimustietoa.

Kolmitestin arviointiraati ei havainnut laboratoriotuloksissa nähtäviä pieniä eroja tomaattien happamuuksissa ja sokeripitoisuuksissa. Koska mitatut erot olivat äärimmäisen vähäisiä, niiden havaitseminen on voinut olla mahdotonta. Myös rakennemittauksissa havaitut erot olivat pieniä eivätkä tilastollisesti merkitseviä. Näytteiden esitystapa on voinut vaikuttaa tuloksiin, sillä rakenteellisten ominaisuuksien aistiminen voi vaikeutua, kun tomaattinäyte on paloitteltuna. Paloittelun tarkoituksena oli saada jokaisen raadin jäsenelle homogeeninen otos kunkin osaston tomaateista, mutta tomaatin kiinteyttä tai kuoren rakennetta on todennäköisesti ollut tällöin vaikeampi arvioida.

Perinteisestä kolmitestistä ei selviä, minkä aistittavan ominaisuuden suhteen tilastollisesti merkitsevä ero havaittiin, sillä testin pääasiallinen tarkoitus on kartoittaa, onko eroja ylipäätään havaittavissa. Tulevaisuudessa erojen kartoittamisessa voitaisiinkin hyödyntää tähän tarkoitukseen erityisesti suunniteltuja aistinvaraisia tutkimusmenetelmiä.

7 Yhteenveto

Tämän työn tavoitteena oli tutkia kolmen eri spektrikoostumukseltaan eroavan kasvatustilastuksen vaikutuksia tomaatin laatuominaisuuksiin ja selvittää, ilmenevätkö eri kasvatustilastuksissa kasvatettujen tomaattien välillä aistinvaraista eroa. Työn tavoite saavutettiin ja sen tuloksena osastojen tomaattinäytteiden välillä havaittiin pieniä laadullisia eroja. Vaikka erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, ne olivat saman suuntaisia havaintojen kanssa, joita on esiintynyt myös aiheesta tehdyissä tutkimuksissa.

Havaintojen perusteella kaukopunasäteilyn määrän lisääminen UVA-säteilyä ja näkyvää valoa sisältävään kasvatustilastukseen paransi hieman tomaattien laatua, sillä ne olivat kooltaan suurempia ja niiden kuoret olivat muiden osastojen näytteitä kestävämpiä. Saman osaston tomaattinäytteistä mitattiin myös aavistuksen korkeampi sokeripitoisuus ja happamuus, joskin erot muiden osastojen näytteisiin olivat äärimmäisen pieniä. UVA-säteilyn tutkimuksissa havaittu rakennetta kiinteyttävä, mutta väriä heikentävä ja kokoa pienentävä vaikutus oli mahdollisesti nähtävissä myös tämän työn tuloksista. [6, s. 780–783.] Referenssinä toimineessa UVA-säteilylisäyksessä kasvatetut tomaatit olivat rakenteeltaan kiinteimpiä, mutta kooltaan muiden osastojen näytteitä pienempiä ja väriltään heikompia. Kasvatustilastus ilman UVA-säteilyä tuotti referenssiosastoa suurempia ja väriltään optimaalisimpia tomaatteja, joiden rakenteellinen laatu osoittautui kuitenkin verrokkejaan heikommaksi.

Kolmitestissä merkittävä ero havaittiin tomaattinäytteiden välillä, joiden kasvatustilastusten ainoa erottava tekijä oli UVA-säteilylisäys. Tutkimuksissa UVA-säteilyn on havaittu lisäävän tomaatin sisältämien VOC-yhdisteiden ja fenolisten yhdisteiden pitoisuuksia [6, s. 780–782], joita ei tässä työssä mitattu. Näiden yhdisteiden lisääntyminen on voinut vaikuttaa merkittävästi etenkin tomaatin hajuun sekä flavoriin. Kun UVA-säteilylisän rinnalle lisättiin kaukopunasäteilyn määrää, tilastollisesti merkitsevää astinvaraista eroa ei kuitenkaan havaittu.

Vähäinen tutkimustieto kaukopuna- ja UVA-säteilyn yhdistelmästä tekee siitä mielenkiintoisen tutkimuskohteen. Kumpikin valon aallonpituuksista on vaikuttanut tutkimuksissa tomaatin laatuominaisuuksiin. Osa näistä vaikutuksista on ollut laadun kannalta positiivisia ja osa negatiivisia. Vaikutusten voimakkuuteen ja ilmaantumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat olleet säteilyn intensiteetti ja kesto, tomaattilajike sekä mahdollisesti yhteisvaikutus muiden kasvuolosuhteiden kanssa. [6, s. 783; 58, s. 3; 62, s. 1.] Saint Pierre -lajikkeen tomaateille optimaalisen kaukopuna- ja UVA-säteilytehon ja keston selvittäminen tarjoaisikin uuden väylän jatkotutkimuksille. Toinen potentiaalinen jatkotutkimuskohde voisi olla näkyvän valon ohelle tehtävän UVA-säteilylisäyksen vaikutus erityisesti tomaatin VOC-yhdisteiden, karotenoidien ja fenolisten yhdisteiden määriin, joissa

tapahuneet muutokset ovat voineet olla syynä raadin havaitsemalle tilastollisesti merkitsevälle aistinvaraiselle erolle kolmitestissä. [6, s. 780–782.] Aistittavien ominaisuuksien kartoittamiseen hyödyllinen työkalu on yleinen kuvaileva menetelmä, jonka avulla tomaateille olisi mahdollista luoda aistinvarainen profiili käyttäen koulutettua ammattiraatia. Myös kuluttajatutkimuksen avulla olisi mahdollista saada hyödyllistä tietoa näissä kahdessa valaistuksessa kasvatettujen tomaattien aistinvaraisesta miellyttävyydestä ja maun intensiteetistä. Valon aallonpituuksien vaikutuksista tomaatin laatuun voitaisiin myös tehdä lisäselvityksiä määrittämällä aistittavaan laatuun vaikuttavien yhdisteiden määriä ja suhteita, kuten kuiva-aine-, lykopeeni-, ja β -karoteenipitoisuutta, umami-yhdisteiden ja tittavien happojen määrää sekä sokeri- ja happokoostumusta.

Valon spektrin vaikutukset tomaatin laatuominaisuuksiin vaativat yhä tutkimuksia ymmärryksen lisäämiseksi. Tämän hetkisen tutkimustiedon valossa on kuitenkin selvää, että säätämällä valaistusolosuhteita voidaan parantaa tomaatin kokonaisvaltaista laatua. [33.] Vaikka tässä työssä havaitut erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, ne olivat saman suuntaisia aiheesta tehtyjen tutkimusten kanssa. Kaiken kaikkiaan korkeampi määrä kaukopunasäteilyä tuotti yhdessä UVA-säteilyn ja näkyvän valon kanssa laadultaan parhaat tomaatit. Kuitenkin myös pelkän näkyvän valon käyttö kasvatusvalaistuksessa sekä näkyvän valon yhdistäminen UVA-säteilyn kanssa tuotti mittausten perusteella hyvälaatuisia tomaatteja.

Lähteet

- 1 Hye-Ji, Kim; Teng, Yang; Seunghyun, Choi; Yi-Ju, Wang; Meng-Yang, Lin & Liceaga, Andrea M. 2020. Supplemental intrac canopy far-red radiation to red LED light improves fruit quality attributes of greenhouse tomatoes. *Scientia Horticulturae*. Vol. 246, s. 777–784.
- 2 Amr, Ayed & Raie, Wesal Yousef. 2022. Tomato Components and Quality Parameters. A Review. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 18. s. 199–220.
- 3 Riihimäki, Mona-Anitta. 2006. Tomaattia ympäri vuoden välivalojen ja väli-istutusten avulla. *Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote* nro 21.
- 4 Kanski, L; Naumann, M & Pawelzik, E. 2020. Flavor-Related Quality Attributes of Ripe Tomatoes Are Not Significantly Affected Under Two Common Household Conditions. *Front Plant Sci*. Vol 11.
- 5 Awais, Ali; Cavallaro, Viviana; Santoro, Piero; Mori, Jacopo; Ferrante, Antonio & Cocetta, Giacomo. 2024. Quality and physiological evaluation of tomato subjected to different supplemental lighting systems. *Scientia Horticulturae*. Vol. 323.
- 6 Mariz-Ponte, Nuno; Martins, Sandra; Gonçalves, Alexandre; Correia, Carlos M.; Ribeiro, Carlos; Dias, Maria Celeste & Santos, Conceição. The potential use of the UV-A and UV-B to improve tomato quality and preference for consumers. 2019. *Scientia Horticulturae*. Vol. 246, s. 777–784.
- 7 Tomaatti on vuoden 2022 vihannes. 2021. Verkkoaineisto. Kauppapuutarhaliitto ry. <<https://puhtaastikotimainen.fi/tomaatti-on-vuoden-2022-vihannes/>>. Luettu 1.3.2023.
- 8 Batu, Ali. 2004. Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *Journal of Food Engineering*. Vol. 61, s. 471–475.
- 9 Elintarviketieteet:flavori. 2024. Verkkoaineisto. Tieteen termipankki. <<https://tieteentermipankki.fi/wiki/Elintarviketieteet:flavori>>. Luettu 1.3.2024.
- 10 Paolaa, Dario; Bianchia, Giulia; Lo Scalzoa, Roberto; Morellib, Carlo F.; Rabuffettic, Marco & Speranza, Giovanna. 2018. The Chemistry behind Tomato Quality. Vol. 13, s. 1225–1232.
- 11 Kimura, Seisuke & Sinha, Neelima. 2008. How to Grow Tomatoes. Vol 3, s. 1–8.

- 12 Kaupan pitämisen vaatimukset. Verkkoaineisto. Kotimaiset Kasvikset ry. <<https://kasvikset.fi/viljelijöille/laatuvaatimukset-ja-pakkausmerkinnat/pakkolliset-eu-normit-ja-laatuvaatimukset/>>. Luettu 1.3.2024.
- 13 Alsina, Ina; Erdberga, Ieva; Duma, Mara; Alksnis, Reinis & Dubova, Laila. 2022. Changes in Greenhouse Grown Tomatoes Metabolite Content Depending on Supplemental Light Quality. *Nutrition and Food Science Technology*. Vol. 9, s. 1–13.
- 14 Lunn, Daniel; Phan, Thanh D.; Tucker, Gregory A. & Lycett, Grantley W. 2013. Cell wall composition of tomato fruit changes during development and inhibition of vesicle trafficking is associated with reduced pectin levels and reduced softening. *Plant Physiology and Biochemistry*. Vol. 66, s. 91–97.
- 15 Ali, M. Y.; Sina, A. A.; Khandker, S. S.; Neesa, L.; Tanvir, E. M., Kabir, A.; Khalil, M. I. & Gan, S. H. 2020. Nutritional Composition and Bioactive Compounds in Tomatoes and Their Impact on Human Health and Disease: A Review. *Foods*.
- 16 Martínez-Valverde, Isabel; Periago, María J.; Provan, Gordon & Chesson Andrew. 2002. Phenolic compounds, lycopene, and antioxidant activity in commercial varieties of tomato. *Journal of the Science and Agriculture*. Vol. 82, s. 323–330.
- 17 Malundo, T. M. M.; Shewfelt, R. L. & Scott, J. W. 1995. Flavor quality of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by sugar and acid levels. Vol. 6, s. 103–110.
- 18 Jaywant, Swapna A.; Singh, Harshpreet & Arif, Mahmood Khalid. 2022. Sensors and Instruments for Brix Measurement: A Review. *Sensors (Basel)*.
- 19 Kleinhenz, Matthew D. & Bumgarner, Natalie R. 2013. Using °Brix as an Indicator of Vegetable Quality: Linking Measured Values to Crop
- 20 Britannica, The Editors of Encyclopaedia. 2024. pH. Verkkoaineisto. *Encyclopedia Britannica*. <<https://www.britannica.com/science/pH>>. Luettu 7.3.2024.
- 21 Kilic-Akyilmaz & Gülsünoğlu Konaşkan, Zehra. 2015. Vegetable Additives and Preservatives. CRC Press. Vol. 2, s. 301–318.
- 22 Aysen, Akay & Zeki, Kara. 2006. P-value and Some Other Quality Characters of Tomato Cultivars Grown in Greenhouse. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. Vol. 9, s. 1991–1994.

- 23 Managing tomato taste. 2024. Verkkoaineisto. Yara International (M) Sdn Bhd. <<https://www.yara.my/crop-nutrition/tomato/how-to-manage-tomato-taste/>>. Luettu 7.3.2024.
- 24 Felföldi, Z.; Ranga, F.; Socaci, S.A.; Farcas, A., Plazas, M.; Sestras, A.F.; Vodnar, D. C.; Prohens, J. & Sestras, R. E. 2021. Physico-Chemical, Nutritional, and Sensory Evaluation of Two New Commercial Tomato Hybrids and Their Parental Lines. Vol. 10, s. 1–27.
- 25 Vesterinen, Elina. 2019. Orgaanisten happojen vaikutus majoneesin ja majoneesipohjaisten salaattien aistinvaraisiin ominaisuuksiin ja säilyvyyteen. Maisterin tutkielma. Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos.
- 26 Sokerilla on monta tehtävää. Verkkoaineisto. Dansukker. <<https://www.dansukker.fi/fi/tietoa-sokerista/sokerilla-on-monta-tehtavaa>>. Luettu 7.3.2024.
- 27 Colonna, W.J.; Samaraweera, Upasiri; Clarke, Margaret; Cleary, Michael; Godshall, Mary & White, John. 2006. Sugar. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Vol. 19, s. 1-67.
- 28 Onko umami uusi perusmaku? 2010. Verkkoaineisto. Yle. <<https://yle.fi/a/3-6161404>>. Luettu 7.3.2024.
- 29 Chaudhary, P.; Sharma, A.; Singh, B. & Nagpal, A. K. 2018. Bioactivities of phytochemicals present in tomato. J Food Sci Technol. Vol. 55, s. 2833–2849.
- 30 Soares, Susana; Kohl, Susann; Thalmann; Sophie, Mateus, Nuno; Meyerhof, Wolfgang & De Freitas, Victor. 2013. Different Phenolic Compounds Activate Distinct Human Bitter Taste Receptors. J. Agric. Food Chem. Vol. 61, s. 1525–1533.
- 31 Issaoui, Manel; Martins Delgado; Amélia; Caruso, Giorgia; Micali, Maria; Barbera, Marcella; Atrous, Hager; Ouslati, Amira & Chammem, Nadia. 2020. Phenols, Flavors, and the Mediterranean Diet. Vol. 103, s. 915–924.
- 32 Wang, S.; Qiang, Q.; Xiang, L.; Fernie, A.R. & Yang, J. 2022. Targeted approaches to improve tomato fruit taste. Hortic Res. Vol. 10, s. 1–11.
- 33 Xiaoxue, Fan; Na, Lu; Wenshuo, Xu; Yunfei, Zhuang; Jing, Jin; Xiaojuan, Mao & Ni Ren. 2023. Response of Flavor Substances in Tomato Fruit to Light Spectrum and Daily Light Integral. Plants 2023. Vol. 12, s. 1–16.
- 34 Tieman, Denise; Bliss, Peter; McIntyre, Lauren M.; Blandon-Ubeda, Adilia; Bies, Dawn; Odabasi, Asli Z.; Rodríguez, Gustavo R.; van der Knaap,

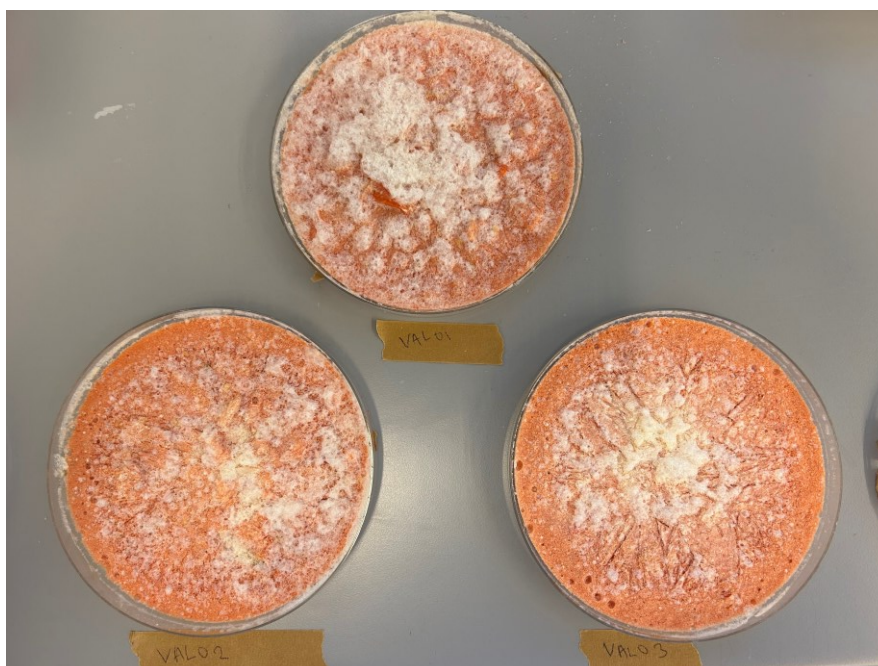
- Esther; Taylor, Mark G.; Goulet, Charles; Mageroy, Melissa H.; Snyder, Derek J.; Colquhoun, Thomas; Moskowitz, Howard; Clark, David G.; Sims, Charles; Bartoshuk, Linda & Klee, Harry J. 2012. The Chemical Interactions Underlying Tomato Flavor Preferences. *Current Biology*. Vol. 22, s. 1035–1039.
- 35 Martina, M.; Tikunov, Y.; Portis, E. & Bovy, A.G. 2021. The Genetic Basis of Tomato Aroma. *Genes (Basel)*. Vol. 12, s. 1–26.
- 36 Baldwin, E.A.; Scott, J.W.; Einstein, M.A., Malundo, T.M.M.; Carr, B.T., Shewfelt, R.L. & Tandon, K.S. 1998. Relationship between Sensory and Instrumental Analysis for Tomato Flavor. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. Vol. 123, s. 906–915.
- 37 Pihvitomaatti. Verkkoaineisto. Satokausikalenteri. <<https://sato-kausi.fi/raaka-aineet/pihvitomaatti/>>. Luettu 12.3.2024.
- 38 Saint Pierre tomato: height, taste & growing the beefsteak tomato. Verkkoaineisto. <<https://plantura.garden/uk/vegetables/tomato-varieties/saint-pierre-tomato>>. Plantura Magazine. Luettu 12.3.2024.
- 39 Bassham, James Alan & Lambers, Hans. 2024. "photosynthesis". Verkkoaineisto. *Encyclopedia Britannica*. <<https://www.britannica.com/science/photosynthesis>>. Luettu 12.3.2024.
- 40 Suruchi, Singh; Shashi, Bhushan, Agrawal & Madhoolika, Agrawal. 2015. Role of Light in Plant Development. *International Journal of Plant and Environment*. Vol. 10, s. 43–56.
- 41 Kaukoranta, Timo; Jokinen, Kari, Näkkilä, Juha & Särkkä, Liisa. 2016. LED-valotusta kasvihuoneeseen. Tutkimustuloksia ja kokemuksia 2016. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 13/2017. Helsinki: Juvenes Print.
- 42 Liu, Jun & van Iersel, Marc, W. 2021. Photosynthetic Physiology of Blue, Green, and Red Light: Light Intensity Effects and Underlying Mechanisms. *Front. Plant Sci*. Vol. 12, s. 1–14.
- 43 Holopainen, Jarmo K.; Blande, James D. & Kivimäenpää, Minna. 2018. Miten kasvit kommunikoivat? *Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim*. Vol. 134, s. 1345–1352.
- 44 The Most Comprehensive Information about The Effect of All Kinds of Colour Light on Plants-Atop LED Grow Light. 2019. Verkkoaineisto. AGC Lighting. <<https://www.agcled.com/blog/the-effect-of-all-kinds-of-light-on-plants-atop-led-grow-light.html>>. Luettu 12.3.2024.

- 45 Ashdown, Ian. 2015. Photometry and Photosynthesis: From Photometry to PPF (Revised). Wordpress Blog.
- 46 Morgan, Lynette. 2013. Daily Light Integral (DLI) and greenhouse tomato production. *The Tomato Magazine*. s. 10–15.
- 47 Paik, Inyup & Hug, Enamul. 2019. Plant photoreceptors: Multi-functional sensory proteins and their signaling networks. Vol. 92, s. 114–121.
- 48 Shuangqiang, Fang; Tianchun, Lang; Mingsheng, Cai & Tao, Han. 2022. Light keys open locks of plant photoresponses: A review of phosphors for plant cultivation LEDs. *Journal of Alloys and Compounds*. Vol. 902, s. 1–15.
- 49 What are PAR, PPF and PPF, and why should you care? Verkkoaineisto. Light Science Technologies. <<https://lightsciencetech.com/what-are-par-ppf-and-ppfd-and-why-should-you-care/>>. Luettu 12.3.2024.
- 50 Bera, Kuntal; Ball, Kakan; Ghosh, Subir & Sadhukhan, Sanjoy. 2022. UV radiation: plant responses and an in-depth mechanism of sustainability under climatic extremities.
- 51 Järvinen, Mika; Karjalainen, Kaisa & Vuollet, Arto. 2018. *Kasvihuoneviljely. 2. tarkastettu painos*. Helsinki: Next Print Oy.
- 52 Light Requirements for Plants: Find Your Plant's PPF and DLI. 2023. Verkkoaineisto. Ophotone Grow Light Meter. <<https://growlightmeter.com/light-requirements-for-plants/>>. Luettu 12.3.2024.
- 53 Erik, Runkle. 2015. Light Wavebands & Their Effects on Plants. Gpn, s 42.
- 54 Erik, Runkle. 2011. The R to FR Ratio. Verkkoaineisto. Gpn. <<https://gpnmag.com/article/r-fr-ratio/>>. Luettu 12.3.2024.
- 55 Cao, K.; Yu, J.; Xu, D.; Ai, K.; Bao, E & Zou, Z. 2018. Exposure to lower red to far-red light ratios improve tomato tolerance to salt stress. *BMC Plant Biol*. Vol. 18, s. 1–12.
- 56 Kobayashi, Takayuki & Tabuchi, Toshihito. 2022. Tomato Cultivation in a Plant Factory with Artificial Light: Effect of UV-A Irradiation During the Growing Period on Yield and Quality of Ripening Fruit. *The Horticulture Journal*. Vol. 91, s. 16–23.
- 57 Ji, Yongran; Nuñez Ocaña, Diego; Choe, Daeyeun; Larsen, Dorte H., Marcelis, Leo F. M. & Heuvelink, Ep. 2020. Far-red radiation stimulates dry

- mass partitioning to fruits by increasing fruit sink strength in tomato. *New Phytologist*. Vol. 228, s. 1914–1925.
- 58 Dorokhov, A.S.; Smirnov, A.A.; Semenova, N.A.; Akimova, S.V.; Kachan, S.A.; Chilingaryan, N.O.; Glinushkin, A.P. & Podkovyrov, I Yu. The effect of far-red light on the productivity and photosynthetic activity of tomato. *Earth and Environmental Science*. Vol. 663, s. 1–8.
- 59 Hao, X.; Little, C.; Zheng, J.M. & Cao, R. 2016. Far-red LEDs improve fruit production in greenhouse tomato grown under high-pressure sodium lighting. *Acta Hort.* Vol. 1134, s. 95–102.
- 60 González-Casado, Sandra; López-Gámez, Gloria; Martín-Belloso, Olga; Elez-Martínez, Pedro & Soliva-Fortuny, Robert. 2022. Pulsed light of near infrared and visible light wavelengths induces the accumulation of carotenoids in tomato fruits during post-treatment time. Vol. 87, s. 3913–3924.
- 61 Dzakovich, M. P., Gómez, C., Ferruzzi, M. G., & Mitchell, C. A. 2017. Chemical and Sensory Properties of Greenhouse Tomatoes Remain Unchanged in Response to Red, Blue, and Far-Red Supplemental Light from Light-emitting Diodes. *HortScience*. Vol. 52, s. 1734–1741.
- 62 Palmitessa, O.D.; Leoni, B.; Montesano, F.F.; Serio, F.; Signore, A.; Santamaria, P. 2020. Supplementary Far-Red Light Did Not Affect Tomato Plant Growth or Yield under Mediterranean Greenhouse Conditions. *Agronomy*. Vol. 10, s. 1–15.
- 63 Venermo, Teppo. 2024. LED-valon spektritutkimus tomaateilla. Insinööri-tö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 64 Wojciech, Mokrzycki & Maciej, Tatol. 2011. Color difference Delta E - A survey. *Machine Graphics and Vision*. Vol. 20, s. 383–411.
- 65 Parkkinen, Kirsi; Tolonen, Katri & Tuorila, Hely. 2008. Aistit ammattikäyttöön. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit.
- 66 Sivmey, Hor; Léchaudel, Mathieu; Hasika, Mith & Bugaud, Christophe. 2020. Fruit density: A reliable indicator of sensory quality for mango. *Scientia Horticulturae*. Vol. 272, s. 1–9.
- 67 Christophe, Aubert; Guillaume, Chalot; Sébastien, Lurol; Alexis, Ronjon & Valentine, Cottet. Relationship between fruit density and quality parameters, levels of sugars, organic acids, bioactive compounds, and volatiles of two nectarine cultivars, at harvest and after ripening. *Food Chemistry*. Vol. 297, s. 1–11.

Pakkaskuivatut tomaattinäytteet

Kuvissa kolmessa eri valaistusolosuhteessa kasvatetut tomaattinäytteet ennen pakastusta (ensimmäinen kuva, ensimmäinen rivi), jauhettuna (ensimmäinen kuva, toinen rivi) ja pakkaskuivattuna petrialjoilla (alempi kuva). Valo 1 = osasto A, valo 2 = osasto B & valo 3 = osasto C.



Kolmitestin arviointilomake

Edessäsi on kolme maistiaista, joilla kullakin on oma koodinsa. Kaksi maistiaisista on samoja, yksi erilainen. Aloita vasemmalta, arvioi maistiaiset ja valitse muista kahdesta poikkeavan maistiaisen koodi. Voit maistaa uudestaan niin usein kuin haluat. Sinun täytyy tehdä valinta.

304

105

957

[← Edellinen](#)[Seuraava →](#)

Edessäsi on kolme maistiaista, joilla kullakin on oma koodinsa. Kaksi maistiaisista on samoja, yksi erilainen. Aloita vasemmalta, arvioi maistiaiset ja valitse muista kahdesta poikkeavan maistiaisen koodi. Voit maistaa uudestaan niin usein kuin haluat. Sinun täytyy tehdä valinta.

416

682

156

[← Edellinen](#)[Seuraava →](#)

Edessäsi on kolme maistiaista, joilla kullakin on oma koodinsa. Kaksi maistiaisista on samoja, yksi erilainen. Aloita vasemmalta, arvioi maistiaiset ja valitse muista kahdesta poikkeavan maistiaisen koodi. Voit maistaa uudestaan niin usein kuin haluat. Sinun täytyy tehdä valinta.

381

287

716

[← Edellinen](#)[Seuraava →](#)

Mittaustulosten tilastolliset analyysit

TIHEYDET

Anova: yksisuuntainen

YHTEEN-
VETO

Ryhmät	Luku- määrä	Summa	Keskiarvo	Vari- anssi
Sarake 1	4	4093,398	1023,35	606,595
Sarake 2	4	4107,921	1026,98	1010,819
Sarake 3	4	4146,019	1036,505	514,2839

ANOVA

Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien vä- lissä	369,2787	2	184,6394	0,259848	0,776761	4,25649473
Ryhmissä	6395,093	9	710,5659			
Yhteensä	6764,372	11				

TILAVUUDET

Anova: yksisuuntainen

YHTEENVETO

Ryhmät	Lukumäärä	Summa	Keskiarvo	Varianssi
Sarake 1	4	311,908	77,977	572,551
Sarake 2	4	269,874	67,4685	519,7249
Sarake 3	4	316,231	79,05775	431,5775

ANOVA

Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien välissä	327,8764	2	163,9382	0,322744	0,732204	4,25649473
Ryhmissä	4571,56	9	507,9511			
Yhteensä	4899,437	11				

MASSAT

Anova: yksisuuntainen

YHTEEN-
VETO

Ryhmät	Luku- määrä	Summa	Keskiarvo	Vari- anssi
Sarake 1	4	317,5	79,375	514,1892
Sarake 2	4	275,1	68,775	438,2625
Sarake 3	4	326,5	81,625	406,2225

ANOVA

Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien vä- lissä	376,7267	2	188,3633	0,415913	0,671796	4,25649473
Ryhmissä	4076,023	9	452,8914			
Yhteensä	4452,749	11				

pH-ARVOT
Anova: yksisuuntainen

YHTEEN-
VETO

Ryhmät	Luku- määrä	Summa	Keskiarvo	Vari- anssi
Sarake 1	4	18,2514	4,56285	0,003177
Sarake 2	4	18,493	4,62325	0,001893
Sarake 3	4	18,483	4,62075	0,004552

ANOVA

Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriitti- nen
Luokkien vä- lissä	0,009342	2	0,004671	1,456348	0,283169	4,256495
Ryhmissä	0,028867	9	0,003207			
Yhteensä	0,03821	11				

BRIX-AR-
VOT

Anova: yksisuuntainen

YHTEEN-
VETO

Ryhmät	Luku- määrä	Summa	Keskiarvo	Vari- anssi
Sarake 1	4	16,5	4,125	0,0825
Sarake 2	4	15,7	3,925	0,3825
Sarake 3	4	15,8	3,95	0,336667

ANOVA

Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriitti- nen
Luokkien vä- lissä	0,095	2	0,0475	0,177755	0,840017	8,021517
Ryhmissä	2,405	9	0,267222			
Yhteensä	2,5	11				

RAKENNE-
ANALYYSIT

Anova: yksisuuntainen

YHTEEN-
VETO

Ryhmät	Luku- määrä	Summa	Keskiarvo	Vari- anssi
Sarake 1	4	11445,65	2861,412	92402,26
Sarake 2	4	10879,55	2719,888	129269
Sarake 3	4	9401,154	2350,289	264609,6

ANOVA

Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriitti- nen
Luokkien vä- lissä	557172,6	2	278586,3	1,718675	0,233247	8,021517
Ryhmissä	1458843	9	162093,6			
Yhteensä	2016015	11				

L*

Anova: yksisuuntainen

YHTEEN-
VETO

Ryhmät	Lukumäärä	Summa	Kes- kiarvo	Varianssi
Sarake 1	4	173,99	43,4975	0,345358
Sarake 2	4	176,61	44,1525	2,907892
Sarake 3	4	172,05	43,0125	1,711225

ANOVA

Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien vä- lissä	2,618466667	2	1,3092333	0,791161	0,48248	4,25649473
Ryhmissä	14,893425	9	1,654825			
Yhteensä	17,51189167	11				

a*

Anova: yksisuuntainen

YHTEEN-
VETO

Ryhmät	Lukumäärä	Summa	Keskiarvo	Varianssi
Sarake 1	4	123,79	30,9475	1,396625
Sarake 2	4	123,58	30,895	5,974567
Sarake 3	4	125,63	31,4075	0,510692

ANOVA

Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien välissä	0,636016667	2	0,3180083	0,12104	0,88742	4,25649473
Ryhmissä	23,64565	9	2,6272944			
Yhteensä	24,28166667	11				

b*

Anova: yksisuuntainen

YHTEEN-
VETO

Ryhmät	Lukumäärä	Summa	Keskiarvo	Varianssi
Sarake 1	4	99,84	24,96	0,527467
Sarake 2	4	99,93	24,9825	10,31289
Sarake 3	4	101,65	25,4125	3,059425

ANOVA

Vaihtelun lähde	NS	va	KN	F	P-arvo	F-kriittinen
Luokkien välissä	0,520216667	2	0,2601083	0,056139	0,94574	4,25649473
Ryhmissä	41,69935	9	4,6332611			
Yhteensä	42,21956667	11				