

Rehumaissisadon määrän ja laadun optimointi

Essi Kivenmäki

Maisterintutkielma

Helsingin yliopisto

Maataloustieteiden osasto

Kasvinviljelytiede

Kevät 2019

Tiedekunta Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Koulutusohjelma Maataloustieteiden maisteriohjelma	
Tekijä Essi Kivenmäki			
Työn nimi Rehumaissisadon määrän ja laadun optimointi			
Oppiaine/Opintosuunta Kasvinviljelytiede			
Työn laji Maisterintutkielma		Aika Helmikuu 2019	Sivumäärä 45 s.
<p>Tiivistelmä</p> <p>Kiinnostus rehumaissin (<i>Zea mays</i> L.) viljelyä kohtaan on kasvanut viimeisimpinä vuosina huomattavasti. Erityisesti maissin viljelystä ovat kiinnostuneet naudatilat, joilla maissirehu käytetäänkin usein rehuseoksessa yhtenä energiaa tuovana komponenttina. Oikea-aikaisesti korjatun maissirehun energia-arvo on korkea ja tämän vuoksi sadonkorjuun ajoittamisella on suuri vaikutus rehun laatuun.</p> <p>Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten sadonkorjuu tulisi ajoittaa, jotta maissirehu olisi parhaimmillaan paitsi sadon määrän kannalta myös laadullisesti. Tutkimus toteutettiin kenttäkokeena Helsingin yliopiston Viikin opetus- ja tutkimustilalla kasvukaudella 2017. Ensimmäinen sadonkorjuu pyrittiin ajoittamaan siten, että kuiva-ainepitoisuus olisi noin 20% ja sitä seuraavat kolme korjuukertaa aina noin 14 vuorokautta edellisistä sadonkorjuista. Korjuukerrat olivat 120, 134, 156 ja 176 vuorokautta kylvöstä. Sadonkorjuun yhteydessä korjattu tuoremassa punnittiin, tuore- ja kuiva-ainesatojen laskemista varten. Lisäksi yhden metrin pituudelta kerättiin kasvit, joiden lukumäärä laskettiin sekä määritettiin yksittäisen kasvin kokonaismassa ja pituus. Lisäksi tähkien määrä laskettiin ja niiden massa punnittiin. Tähkien ominaisuuksien avulla määritettiin tähkien kehitysvaihe.</p> <p>Korjuuajankohta ei vaikuttanut maissin tuore- ja kuiva-ainesadon määrään. Sen sijaan laatuominaisuuksista primaariseen kuiva-ainepitoisuuteen ja tärkkelyksen pitoisuuteen korjuuajankohta vaikutti. Muihin sadon laatuominaisuuksiin korjuuajankohta ei vaikuttanut. Tärkein havainto tutkimuksessa oli, että sadonkorjuu ajoitetaan tähkien R3 kehitysvaiheen jälkeen. Rehun laadun kannalta on kuitenkin parempi, jos korjuu tehdään vielä myöhemmissä tähkän kehitysvaiheissa, sillä sato on laadultaan parhaimmillaan vasta R5 vaiheessa. Tähkien R3 kehitysvaiheen jälkeen laatuominaisuudet, kuten primaarinen kuiva-aine-, tärkkelys- sekä NDF:n pitoisuudet nousivat tähkien edelleen kehittyessä. Vastaavasti sadon sulavuus, sokerin- ja raakavalkuaisen pitoisuus laskivat korjuun ajoituessa myöhempään ajankohtaan kasvukaudella. Optimaalisimmaksi sadonkorjuun ajankohdaksi näiden tulosten perusteella voi suositella tähkien R5 -kehitysvaihetta, sillä tällöin rehun laatu on parhaimmillaan.</p>			
Avainsanat Rehumaissi, korjuuajankohta, sadon laatu, primaarinen kuiva-aine, tärkkelyspitoisuus, kehitysvaihe, kuiva-ainesato, tuoresato, lämpösusma			
Ohjaaja tai ohjaajat Pirjo Mäkelä ja Seija Jaakkola			

Faculty		Degree Programme	
Faculty of Agriculture and forestry		Master´s Program in Agricultural Science	
Author			
Essi Kivenmäki			
Title			
Optimizing the maize feed quantity and quality			
Subject/Study track			
Crop sciences			
Level	Month and year	Number of pages	
Master´s thesis	February 2019	45 p.	
Abstract			
<p>Interest towards the cultivation of corn (<i>Zea mays</i> L.) to be used as silage at cattle farms has grown significantly in recent years. The optimum harvest time has an effect on the energy value of the corn that is a commonly used as a component of mixed forage.</p> <p>The aim of the study was to investigate the optimum harvest time of the corn to ensure the high quality and the quantity of the yield. The study were executed as a field experiment in the Helsinki University Viikki Research Farm during the growing season of 2017. The dry matter content of the first harvest was aimed to be at 20% and the following harvests afterwards were done 120, 134, 156 and 176 days after sowing. The weighing of the harvested biomass were done on the field so that the dry matter content could be calculated. The plants growing on a lenght of a one meter were calculated and the weight and the lenght of a individual plant as well as the number of the cobs and their mass were measured. By assessing the cobs, their development stage were defined.</p> <p>Harvest time did not have significant effect on the fresh and dry matter yield. The harvest time has a significant effect on the yield quality features such as primary dry matter and the starch content. Other quality features (protein content, in vitro digestibility, NDF and sugar content) the harvest time has no effect on. The main find of the stude was that the optimum harvest time was in the R5 development stage of the cobs because the quality of silages was better in this stage.</p>			
Keywords			
maize, harvest time, yield quality, primary dry matter, starch content, development stage, dry matter yield, fresh yield, growing degree day			
Supervisor or supervisors			
Professor Pirjo Mäkelä, Docent Seija Jaakkola			

SISÄLLYS

1.	JOHDANTO.....	5
2.	KATSAUS KIRJALLISUUTEEN.....	6
2.1.	Maissin vegetatiivinen ja generatiivinen kasvu.....	6
2.1.1.	C4 -fotosynteesin vaikutus maissin kasvuun.....	8
2.2.	Kasvuolosuhteiden vaikutus sadon muodostumiseen.....	9
2.3.	Rehumaissin viljelyedellytykset Suomessa.....	11
2.4.	Sadonkorjuun ajoittaminen.....	11
2.4.1.	Tähkän kehitysvaiheet apuna sadonkorjuun ajoittamisessa.....	11
2.4.2.	Ravintoaineiden pitoisuuksien muuttuminen kasvin kehittyessä.....	12
3.	TUTKIMUKSEN TAVOITTEET.....	14
4.	AINEISTO JA MENETELMÄT.....	15
4.1.	Kokeen perustaminen ja kasvimateriaali.....	15
4.2.	Sadonkorjuu.....	16
4.2.1.	Kasvuston koostumuksen määrittäminen.....	16
4.3.	Kemialliset analyysit rehun raaka-aineesta.....	17
4.3.1.	Primaarinen- ja sekundaarinen kuiva-aine sekä tuhka.....	17
4.3.2.	Tärkkelys- ja sokeripitoisuus.....	18
4.3.3.	Typpipitoisuus-, neutraalidetergenttikuidut sekä sadon sulavuus.....	19
4.4.	Kasvukauden sääolot.....	20
4.5.	Tilastolliset menetelmät.....	21
5.	TULOKSET.....	22
5.1.	Tähkien kehitysrytmi oli hidas.....	22
5.2.	Korjuuajankohdan vaikutus maissisatoon.....	24
5.3.	Kasvuston kehitysvaiheen yhteys sadon laatuun.....	26
6.	TULOSTEN TARKASTELU.....	31
6.1.	Sääolosuhteet hidastivat tähkien kehitystä.....	31
6.2.	Korjuuajankohdan myöhästyttäminen lisäsi kuiva-aineen kertymistä.....	32
6.3.	Sadon laatu jäi alhaiseksi.....	33
7.	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	35
	Kiitokset.....	36
	Lähteet.....	37
	Liitteet.....	45

1. JOHDANTO

Maissin (*Zea mays* L.) ominaisuuksista johtuen kasvuolosuhteilla on suuri vaikutus sen kasvuun ja kehitykseen. Alkuperältään lyhyeen päivään ja korkeisiin lämpötiloihin sopeutunut maissi viihtyykin kuumissa ja kuivahkoissa kasvuolosuhteissa, jonka vuoksi sen fotosynteesi on tehokkainta juuri kuvattunlaisissa kasvuoloissa (Beale ym. 1996). Kun kasvuolosuhteet ovatkin viileät, kosteat ja valoa on saatavilla runsaasti ympäri vuorokauden, vaatii se täysin erilaisiin kasvuolosuhteisiin kuululta kasvilta hyvää sopeutumiskykyä (Beale ym. 1996). Jalostuksella on kuitenkin saatu jalostettua lajikkeita, jotka viihtyvät viileämmissäkin kasvuolosuhteissa (Schneider ym. 2011). Suomessakin lajikekokeita on tehty ja pyritty selvittämään, mitkä lajikkeet viileisiin kasvuolosuhteisiin sopivat parhaiten ja mitkä lajikkeista pystyvät tuottamaan laadukkaimman sadon kasvuolosuhteissamme (Saarinen ym. 2012).

Rehumaissia on viljelty ja tutkittu Suomessa jo melko pitkään ja tulevaisuudessa rehumaissin viljely tulee luultavasti yleistymään muuttuvien ilmasto-olosuhteiden vuoksi (Peltonen-Sainio ym. 2009, Pulli ym. 1976). Maissisato käytetään useimmiten nautojen ruokinnassa nurmirehun rinnalla tukemaan eläinten energiansaantia (Moran ym. 1990). Eläinten ruokinnan kannalta korjuun ajankohdalla on suuri merkitys, sillä hyvälaatuinen maissirehu mahdollistaa naudoilla suuremman maitotuotoksen/päiväkasvun kuin vastaava, heikompileatuinen rehu (Bal ym. 1997).

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää optimaalisin korjuun ajankohta maissisadon määrän ja laadun kannalta suomalaisissa kasvuolosuhteissa. Määrällisinä tekijöinä tarkasteltiin sekä tuore- että kuiva-ainesatoja ja laadullisina tekijöinä sadon primaarisen kuiva-aineen-, sokerien-, tärkkelyksen- ja valkuaisen pitoisuutta eri kehitysvaiheissa eri aikoina toteutetuissa sadonkorjuissa.

2. KATSAUS KIRJALLISUUTEEN

2.1. Maissin vegetatiivinen ja generatiivinen kasvu

Kasvun eli vegetatiivisen kasvun aikana maissikasvustossa kasvullisten osien, kuten lehtien ja juurten määrä lisääntyy. Maissin vegetatiivinen kasvu jatkuu aina siihen saakka, kunnes kasviin kehittyy kukintoja ja kasvi siirtyy generatiiviseen kasvun vaiheeseen. Vegetatiivisessa kasvun vaiheessa kasvuston kehitystasetta havainnollistetaan lehtien lukumäärän ja vegetatiivisen kasvun tunnuskirjaimen *V* mukaisesti (O'Keeffe 2009). Maissin vegetatiiviseen kasvuun kuuluva aika vaihtelee lajikkeittain, mutta esimerkiksi Bartuševics & Gaile (2011) havaitsivat, että vegetatiivinen kasvun vaihe vaati Latviassa vähän yli 400 lämpösumma-astetta. Tämän lämpösumma-astemäärän jälkeen kasvusto siirtyy generatiivisen kasvun vaiheeseen eli sadontuottovaiheeseen. Generatiivisessa vaiheessa lehtihankoihin alkaa muodostua tähkiä kukintojen pölyttymisen jälkeen. Tähkiä muodostuu tavallisesti useita, mutta yleensä vain yksi tähki kehittyy suuremmaksi kuin muut ja sitä kutsutaankin päätähkäksi (Mussadiq ym. 2012). Tähkän kypsymisen vaiheita kuvataan kirjain ja numeroyhdistelmällä, kuten vegetatiivisen kasvun vaiheitakin, mutta *V*:n sijaan käytetään kirjainta *R*, joka viittaa englanninkieliseen sanaan *reproduction* (O'Keeffe 2009).

Muodostuneiden tähkien jyviin kuljetetaan glukoosia, josta muodostetaan tärkkelyssynteessä jyvän endospermissa tärkkelystä (Hai-yan ym. 2007). Tärkkelyssynteeksi kasvissa alkaa, kun tärkkelyssyntaasientsyymi aktivoituu sokeripitoisuuden runsastuessa viherhiukkasessa pölyttymisen jälkeen (Hai-yan ym. 2007). Jyvien tuleentuminen alkaa Gaile (2012) mukaan, kun koko kasvin kuiva-ainepitoisuus tuorepainosta saavuttaa vähintään 250g/1000g eli kuiva-ainepitoisuus raaka-aineessa olisi noin 25-30%. Tähkien tuleentumisasteen perusteella voidaan päätellä melko luotettavasti koko kasvuston ravintoainepitoisuudet (Taulukko 1).

Taulukko 1. Maissin tähkien tuleentumisvaiheet perustuen jyvien ominaisuuksiin sekä kunkin tuleentumisvaiheen kuvaus (koottu lähteestä Mussadiq 2012).

Jyvän ominaisuus	Jyvän kehitysaste					
	R1, silkkituleentunut	R2, rakkulatuleentunut	R3, maitotuleentunut	R4, taikinatuleentunut	R5, jauhotuleentunut	R6, täystuleentunut
Väri	vaalea	valkoinen	kellertävä	kellertävä	tummahko	osittain mustia
Koostumus	kirkasta nestettä	lähes kirkasta nestettä	maitomainen	nestemäinen, osin kuivahtanut	kuiva, jauhomainen	kuiva
Kosteus-%	> 90	85	80	70	55	30-35

2.1.1. C4 -fotosynteesin vaikutus maissin kasvuun

Suurin osa Pohjoisen viljelykasveista kuuluu C3 -lajeihin, mutta esimerkiksi maissin fotosynteesi perustuu hiilen sitomiseen nelihiihiseksi yhdisteiksi (C4 -fotosynteesi) (Gowik & Westhoff 2011). Vastaavasti C3 -kasveilla fotosynteesireitin alussa ilmasta sidottu hiili sidotaan kolmihiihiseksi yhdisteeksi, johon näiden kasvien nimikin perustuu (Gowik & Westhoff 2011). C4 -fotosynteesi toimii tehokkaimmin lyhyessä päivässä, lämpimissä ja vakaisissa kasvuolosuhteissa (Swan ym. 1981, Dwyer ym. 2007). Parhaiten C4 -fotosynteesiin perustuva hiilen sidonta toimii silloin, kun ilman lämpötila on noin + 30 °C, kun taas tämän lämpötilan alle jäävät lämpötilat soveltuvat C3 -kasvien hiilen sidonnalle (Swan ym. 1981, Ehleringer & Björkman 1977). Ilman lämpötilan lisäksi auringon säteilyn määrä vaikuttaa olennaisena tekijänä C4 -kasvien fotosynteesin tehokkuuteen, koska auringon säteily toimii energiana, jonka voimin hiilen sitomisreaktiota viedään eteenpäin (Ehleringer & Björkman 1977). Lämpötilan ja auringon säteilyn määrän lisäksi ilman ominaisuudet, kuten hiilidioksidin ja hapen pitoisuudet vaikuttavat fotosynteesin tehokkuuteen (Ehleringer & Björkman 1977).

C4 -fotosynteesissä entsyyminä toimii PEP -karboksylaasi, joka mahdollistaa ilman hiilidioksidista saatavan hiilen liittämisen fosfoenolipyruvaattiin, jonka lopputuotteena on nelihiihinen oksaloasetaatti. Toisin kuin perinteisillä C3 -kasveilla Rubisco -entsyymi, PEP -karboksylaasi -entsyymi mahdollistaa C4 -kasvien tehokkaamman hiilidioksidin sitomistehon (Reece ym. 2011). PEP -karboksylaasin toiminta tosin edellyttää, että kasvin ilmaraot ovat lähes kiinni, jolloin happea on rajoitetusti saatavilla. Tämän lisäksi ilman korkea lämpötila edesauttaa tehokasta hiilen sitomista C4 -fotosynteesiin soveltuvan hengityselimistön avulla (Berry & Björkman 1980). Toisin sanoen maissin fotosynteesi on tehokkainta silloin, kun lämpötila on korkeimmillaan ja päivän pituus laskee alle 11 tunnin (Allison & Daynard 1979). Suomessa päivänpituus on kesällä yli 11 tuntia (Allison & Daynard 1979). Kun kasvin fotosynteesi tehostuu, tehostuu samalla myös kasvu, sillä fotosynteesituotteita on runsaasti käytössä kasvua varten (Tollenaar 1989). Tämän vuoksi kasvusto kasvaa nopeasti ja kuiva-ainetta kertyy kasvustoon. Suomessa maissin kasvu tehostuu tämän vuoksi vasta heinäkuun lopulla tai elokuun alkupuoliskolla, jolloin kasvuolosuhteet muuttuvat suotuisammiksi alkukesän kasvuoloihin verrattaessa.

2.2.Kasvuolosuhteiden vaikutus sadon muodostumiseen

Kasvuolosuhteet vaikuttavat huomattavasti paitsi maissirehun sadon määrään myös sen laatuun. Mitä paremmat kasvuolosuhteet maissilla on kasvaa ja kehittyä, sitä laadukkaampaa ja suurempaa satoa voidaan odottaa. Kasvuolosuhteet voidaan jakaa biotettiin eli niin sanottuihin luonnollisiin kasvuolosuhteisiin ja abiotettiin, joita ovat ihmisen aikaansaamat kasvuolosuhteet.

Maaperän lämpötilalla on erittäin suuri vaikutus itämisen nopeuteen ja tätä kautta lopulliseen kuiva-ainesatoon (Lauer ym. 2014, Gaile 2012, Kwabiah ym. 2003). Itäminen vaikuttaa kuiva-ainesadon kertymiseen siinä mielessä, että mitä pidemmän aikaa itäminen vie, sitä vähemmän aikaa kuiva-ainetta ehtii kasvukauden aikana kasvustoon kertymään. Walker:n (1969) mukaan lämpötilalla hyvin suuri merkitys maissin siementen itämisen kanssa, sillä jo yhden asteen muutokset yli + 12 °C lämpötiloissa joko nopeuttavat tai hidastavat itämistä. Tämän vuoksi maissin siemenet tulisi kylvää silloin, kun maa on lämmennyt vähintään + 10 °C:en. Itämisen nopeuttamiseksi maissin kylvössä voidaan käyttää biohajoavia katteita, jotka nopeuttavat itämistä ja mahdollistavat pidemmän ajan kuiva-aineen kertymiselle kasvukauden aikana (Kwabiah 2005). Kasvustot, jotka on kylvetty biohajoavan katteen alle, tuottavat merkittävästi suurempia sekä ravintoainepitoisuuksiltaan laadukkaampia satoja kuin ne kasvustot, jotka on kylvetty suoraan avomaalle (Farrell & Gilliland 2010, Kwabiah 2005). Mikäli itäminen on hidasta, myös kuiva-aineen kertymiseen jäävä aika jää lyhyemmäksi, joka omalta osaltaan vaikuttaa kuiva-ainesadon suuruuteen (Muhammad ym. 2015).

Kuivassa maaperässä myös liukoisessa muodossa olevien ravinteiden vähäisyys aiheuttaa maissille vaikeuksia tuottaa kuiva-ainetta. Sen lisäksi, että kuivuus hidastaa kasvuunlähtöä, sillä on vaikutuksensa myös myöhempään kasvuun ja jyväsadon muodostumiseen, koska kuivuus hidastaa fotosynteesiä ja tätä kautta kuiva-aineen kertymistä kasviin kasvukauden aikana (Muhammad ym. 2015, Abayomi ym. 2012). Kuiva-aineen kertyminen kasviin hidastuu viileässä, koska lämpötila vaikuttaa kasvin fotosynteesin tehoon (Tollenaar 1989). Lämpötila vaikuttaa myös tärkkelyksen muodostumiseen täyttyvissä jyvissä (Hanft & Jones 1986). Tärkkelyssadon muodostumisen suurimpana uhkana ovat vaihtelevat lämpötilat, jotka voivat aiheuttaa jyväsadon tuhoutumisen (Hanft & Jones 1986). Erityisen haitallista kasvin tärkkelyssynteesin kannalta on korkea lämpötila (yli + 25°C), joka häiritsee synteesissä toimivan sakkaroosisyntaasi -entsyymin toimintaa (Keeling ym. 1994). Myös kylmyys on haitallista maissin kasvuille silloin, kun pitkäaikainen kylmälähtö tulee hyvin varhaisessa kasvun vaiheessa tai jopa itämisen aikaan (Creencia & Bramlage 1971). Lisäksi maissin kasvu ja kuiva-aineen tuotanto hidastuu jo alle + 15 °C lämpötiloissa ja jos lämpötila kasvukaudella laskee edelleen alle + 5 °C, kasvu pysähtyy (Miedema 1982). Kasvu pysähtyy kylmissä olosuhteissa siksi, ettei kasvin soluseinien sytoplasmakalvoston kalsiumvarastot palaudu tarpeeksi

nopeasti aktiopotentiaalin jälkeen. Tämän seurauksena ATPaasin aktiivisuus laskee ja soluhengitys hidastuu eikä energiaa ole enää biomassan tuotantoon (Leipner & Stamp 2009). Mikäli lämpötila kuitenkin on yli + 5 °C:ta, mutta alle + 15 °C:ta maissikasvusto siirtyy niin kutsuttuun lepotilaan (*chilling*), jossa fotosynteesi hidastuu merkittävästi, koska kasvin kyky sitoa ilman hiilidioksidia heikentyy (Kingston-Smith ym. 1997). Tällöin kuiva-aineen tuotanto kasvissa hidastuu, koska fotosynteesituotteiden määrä on rajallinen.

Rikkakasvien suhteen maissikasvusto on melko kestävä, sillä rikkakasvit ovat todellinen ongelma vain kasvun alkuvaiheissa ja tällöin torjunta onkin ajoitettava siihen, kun sekä maissin taimet että rikkakasvit ovat hyvin varhaisessa kehityksen vaiheessa (Page ym. 2012). Yleisimpiä rikkakasveja maissilla on havaittu olevan esimerkiksi pelto-ohdake (*Cirsium arvense* L.), rikkakananhirssi (*Echinochloa crus-galli* L.), jauhosavikka (*Chenopodium album* L.) sekä tarhasaurikki (*Galinsoga parviflora* Cav.) (Glowacka 2011). Maissin kasvitautit borealisella alueella eivät vielä ole osoittautuneet suureksi ongelmaksi, vaikka jo esimerkiksi Keski-Euroopassa tavataan maissikasvustoissa useita kasvitauteja (Meissle ym. 2009). Kasvitautit ovat pääasiassa sienitauteja, jotka kulkeutuvat kasvustoon itiöinä ja leviävät kasvustossa aiheuttaen vaurioita kasveihin ja hidastaen kasvua. Lisäksi kasvitautipaine lisääntyy mitä niukemmin viljellään erilaisia kasvilajeja viljelykierrossa (Meissle ym. 2009). Monipuolisella kasvinvuorotuksella voidaan vähentää kasvitautilien ja rikkakasvien määrää kasvustossa.

Erityisen tärkeää maissin kasvun kannalta on typpilannoitus. Riittävä typpilannoitus mahdollistaa maissin tehokkaan kasvun ja valkuaisen muodostumisen kasvissa, joka edelleen näkyy rehun korkeampana raakavalkuaispitoisuutena (Paigham & Paigham 2009). Typpilannoituksella voidaan vaikuttaa myös kuiva-aineen tuottoon ja mitä suurempi määrä typpeä on mahdollista kasvustoon lisätä, sitä suuremman sadon kasvusto tuottaa, mikäli muut kasvuolosuhteet ovat kasvuun soveltuvat (Rahman ym. 2008). Lannoitetyypin suurin sallittu määrä Suomessa on liukoisen typen osalta 150 kg/ha (Valtioneuvosto 2014). Tämä voi määrä voi riittää, mutta tuottaakseen paremman sadon, maissi vaatisi typpeä jonkin verran enemmän (yli 150 kg/ha) (Saarinen ym. 2012).

2.3.Rehumaissin viljelyedellytykset Suomessa

Maissin kasvu ja kehitys riippuvat hyvin paljon paitsi kasvukauden aikaisesta lämpötilasta myös veden määrästä. Useille viljelylajeille onkin määritetty kuhunkin kasvun ja kehityksen vaiheeseen tarvittava tehoisa lämpösumma (Bartuševics & Gaile 2011). Lämpösummavaatimus vaihtelee kasvilajin mukaan, mutta maissilla peruslämpötilana lämpösumma-asteiden määrittämisessä pidetään +10 °C:ta (McMaster & Wilhelm 1997). Maissin lämpösummavaatimus vaihtelee lajikkeesta riippuen. Kylvöstä itämiseen vaadittava lämpösumma vaihtelee melko paljon, mutta joissakin tutkimuksissa esitetty arvo olisi noin 50 lämpösumma-astetta (Bartusevics & Gaile 2012). Lisäksi tästä juveniilivaiheeseen ja kukintaan vaadittava lämpösumma on useiden tutkimusten mukaan vaihdellut 230 - 310 lämpösumma-asteen välillä (Birch ym. 1998). Tämän jälkeen kasvuston tuleentuminen vie lähes yhtä pitkän ajan eli noin 600 lämpösumma-astetta. Suomen oloissa kasvukausi jää maissin lämpösummavaatimusta alhaisemmaksi vuodesta riippuen, mutta maissin taimien kasvua voidaan jouduttaa kylvämällä siemenet biohajoavan katteen alle (Lynch ym. 2012). Käte nopeuttaa itämistä ja kasvuunlähtöä luoden kasvihuonemaiset itämisolot siemenelle ja taimelle (Gaile 2012, Lynch ym. 2012, Kwabiah 2005). Katteiden avulla voidaan myös pienentää rehusadon epäonnistumisen riskiä haastavissa kasvuolosuhteissa ja vaikuttaa sadon laatuun tehostamalla kasvien varhaiskasvua ja vähentämällä rikkakasvien aiheuttamaa kilpailua vedestä, ravinteista ja valosta (Lynch ym. 2012, Mussadiq 2012).

2.4.Sadonkorjuun ajoittaminen

2.4.1. Tähkän kehitysvaiheet apuna sadonkorjuun ajoittamisessa

Maissin kehitysvaiheita arvioidaan pääasiassa kasvin tähkien perusteella. Tärkeänä tekijänä kehitysvaiheen arvioinnissa ovatkin tähkän ominaisuudet (Taulukko 2) (Mussadiq 2012). Kehitysvaiheen ja kuiva-ainepitoisuuksien avulla voidaan arvioida myös tähkässä olevan tärkkelyksen pitoisuutta ja ajoittaa sadonkorjuu siten, että saavutetaan sadon tavoitellut ominaisuudet (Mussadig 2012).

Taulukko 2. Tähkän eri kehitysvaiheissa korjatun sadon ravintoainepitoisuuksia (koottu lähteestä Wiersma ym. 1993).

Kehitysstaste	Kuiva-aine, g/kg ka	Raakavalkuainen, g/kg ka	NDF	D-arvo, g/kg ka
Varhainen taikinatuulentuminen	240	103	53	771
Taikinatuulentuminen	270	99	48	790
Maitotuulentuminen	340	92	45	800
Jauhotuulentuminen	370	89	47	796
Täysin tuulentunut	400	84	47	786

NDF, neutraalidetergenttikuidut; D-arvo, sadon sulavuus

2.4.2. Ravintoaineiden pitoisuuksien muuttuminen kasvin kehittyessä

Maissin sadonkorjuu pyritään ajoittamaan siten, että kasvustosta saataisiin mahdollisimman suuri kuiva-ainesato. Kuitenkin myös kasvuston laadullisia ominaisuuksia on huomioitava, sillä suurehko kuiva-ainesadon tavoittelu ei välttämättä tarkoita sitä, että kasvuston muut laadulliset ominaisuudet olisivat rehun loppukäytön kannalta optimaalisimmillaan (Taulukko 3). Kuiva-ainesadolla viitataan rehun kuiva-aineeseen, joka sisältää kaikki rehun ravintoaineet, kivennäisaineet sekä hivenaineet. Merkittävimpiä ravintoaineita rehussa ovat eläinten kannalta hiilihydraatit, kuidut, raakavalkuainen sekä rasvahapot (McDonald ym. 2011). Kuiva-aineen tavoitepitoisuutena rehumaissilla on pidetty 250 – 350 g/kg kuiva-ainetta tuoresadossa. Tällöin myös kuiva-aineen sisältämien ravintoaineiden pitoisuudet ovat sulavimmassa muodossaan (Mussadiq 2012, Kwabiah ym. 2003). Kuiva-aineen pitoisuus tuoremassassa lisääntyy, kun ravintoaineita muodostuu kasvissa kasvun seurauksena ja myöhemmin tähkien kehittyessä (Tollenaar 1989). Kuiva-ainetta kertyy tehokkaimmin kasvissa varhaisessa vegetatiivisen kasvun vaiheessa (Tollenaar 1989).

Sokerin pitoisuus maissikasvustossa on korkeimmillaan kasvuston ollessa nuorta ja vegetatiivisen kasvun vaiheessa. Kun kasvi siirtyy generatiivisen kasvun vaiheeseen kukintavaiheessa, sokereita sidotaan pitkäketjuisiksi hiilihydraateiksi ja varastoidaan jyviin (Hai-yan ym. 2007). Kuitenkin vähitellen kasvukauden edetessä sokerin määrä kasvissa vähenee, kun taas tärkkelyksen pitoisuus tähkissä nousee kehityksen seurauksena (Martin ym. 2008). Eniten tärkkelystä muodostuu

kasvukauden lopulla, kun kasvin fotosynteesissä muodostettuja sokereita sidotaan tärkkelyssynteesissä pitkäketjuisiksi varastomuotoisiksi hiilihydraateiksi tärkkelykseksi ja kuiduiksi (Hai-yan ym. 2007). Näiden pitkäketjuisten hiilihydraattien muodostumisen seurauksena sadon sulavuus alenee. D-arvo kuvaa rehun sulavuutta. Mitä suurempi luku on, sitä sulavampaa kasvimateriaali on ja sitä paremmin eläimet voivat hyödyntää rehun sisältämiä ravintoaineita (Di Marco ym. 2002). Suurimmillaan maissikasvuston sulavuus on silloin, kun kasvusto on vielä hyvin nuorta (Di Marco ym. 2002). Useimmiten kuitenkin sadonkorjuun ajankohdasta päätetään kasvuston kuiva-ainepitoisuuden perusteella, jolloin kasvuston sulavuus ei ole parhaimmillaan enää, sillä kasvuston vanhentuessa laskee sen sulavuuskin.

Maissikasvustossa typpipitoisuus vaihtelee kasvukauden eri aikoina ollen usein korkeimmillaan alkukasvukaudella, kun nuoria, paljon kloroplasteja sisältäviä lehtiä on kasvustossa runsaasti (Hirel ym. 2005). Typpipitoisuuden aleneminen kasvin ikääntyessä johtuu siitä, että nuorissa kasveissa typpi on vielä liukoisessa muodossa, mutta kasvukauden edetessä, kasvinosien ikääntyessä ja sadon muodostuessa epäorgaanisen typen pitoisuus kasvissa vähenee, koska typpeä sidotaan kasvin orgaanisiin yhdisteisiin (Hay ym. 1953, Hirel ym. 2005). Typpimetabolialla kasvissa säätelee nitraattireduktaasientsyymi, jonka pitoisuus on korkeimmillaan nuorissa kasvinosissa (Hirel ym. 2005). Maissisadon valkuaispitoisuus pysyy kuitenkin usein typpimetabolian muutoksista huolimatta melko samalla tasolla tähkien kehittyessä (Lynch ym. 2012).

Taulukko 3. Eri lähteistä koottuja maissisatoja Pohjoisilla viljelyalueilla Suomessa, Ruotsissa sekä Irlannissa.

Lähde	Kuiva-ainesato	NDF	RV	Tärkkelys,	Sulavuus
	tn/ha				
Lynch ym. 2012	10	575	92	208	729
Saarinen ym. 2012 (Ylistaro, 2011, Kreel)	14	585	82	ei mainittu	634
Mussadiq ym. 2012 (Västerås, 2009)	10	559	82	79	680

NDF, neutraalidetergenttikuidut, RV, raakavalkuainen

3. TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Suomen kasvuoloissa maissikasvuston tulee kehittyä mahdollisimman pitkälle, jotta saavutettaisiin paras tulos rehun laadun ja määrän kannalta. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää rehumassikasvuston optimaalisin sadonkorjuuajankohta rehun laadun ja määrän kannalta. Tutkimuskysymykset olivat:

- mikä olisi optimaalisin sadonkorjuun ajankohta tuore- ja kuiva-ainesadon kannalta
- missä kehitysvaiheessa olisi optimaalisin korjuun ajankohta sadon laadun kannalta (sadon laatutekijät: primaarinen kuiva-aine, tärkkelyksen ja sokerin pitoisuus, valkuaispitoisuus, neutraalidetergenttikuidut (lyhenne NDF) sekä sulavuus (D))

4. AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1. Kokeen perustaminen ja kasvimateriaali

Kenttäkoe perustettiin keväällä 2017 Helsingin yliopiston Viikin opetus- ja tutkimustilan lohkolle (60°22'N, 25°03'S, korkeus merenpinnasta 9 m). Lohkon maalajina oli hiesuinen hiuesavi ja sen pH oli 6,4.

Edellisenä syksynä (vuonna 2016) kynnetyt lohko äestettiin 10 - 15 cm syvyyteen, jonka jälkeen koeruudut lannoitettiin suorakylvökoneella (Väderstad Rapid, Ruotsi) poikittain kylvöriveihin nähden. Lannoitteena käytettiin Kevätviljan hiven Y -lannosta 50 kg/ha (N-P-K:20-3-8, Kemira Growhow, Helsinki, Suomi) sekä Patenttikalia 304 kg/ha (K-Mg-S:30-10-42,5 (K+S KALI GmbH, Saksa) (Taulukko 4). Lannoituksen jälkeen (10.5.2017) maissi (Pioneer P7326) kylvettiin kaksirivisellä kylvökoneella (Samco, Adare, Irlanti) ja kylvön yhteydessä kuhunkin riviin levitettiin kate (Samco biohajoava kalvo, Berner, Helsinki, Suomi). Kylvön yhteydessä katteen alle levitettiin maavaikutteista Stomp -rikkakasvintorjunta-ainetta 1,2 l/ha (pendimetaaliini 400 g/l, Berner, Helsinki, Suomi). Kylvörivien pituus oli noin 16 m ja riviväli 0,75 m. Siementen etäisyys kylvössä oli 0,15 m. Kukin rivi edusti yhtä kerrannetta ja kerranteita oli kolme. Yhteensä rivejä oli 16. Ennen sadonkorjuuta riviväleissä kasvaneet rikkakasvit niitettiin siimaleikkurilla (9.8.2017).

Taulukko 4. Kasveille käyttökelpoisessa muodossa olevien keskeisten ravinteiden pitoisuus 0-20 cm syvyydellä koekentällä (Suomen ympäristöpalvelu Oy) sekä kokeessa käytetyt ravinteet.

Ravinne	Maassa, mg/l	Lisätty lannoitteena, kg/ha
Typpi (N)		110
Fosfori (P)	1650	16
Kalsium (Ca)	7430	-
Kalium (K)	8050	120
Rikki (S)	1220	52
Kupari (Cu)	91	-
Magnesium (Mg)	-	18

4.2.Sadonkorjuu

Kasvuston kehitystä seurattiin kasvukauden aikana ja ensimmäisestä sadonkorjuun ajankohdasta päätettiin esinäytteiden kuiva-ainepitoisuuksien perusteella (Liite 1). Esinäytteet kerättiin 31.8. ja 1.9.2017. Näytteeksi leikattiin kustakin rivistä 15 cm korkeudelta 1 m pituudelta kasvit, jotka punnittiin välittömästi. Kasvien lukumäärä laskettiin ja kasveista eroteltiin tähkät, joiden lukumäärä laskettiin. Erotellut kasvinosat pilkottiin ja ne kuivattiin lämpökaapissa (Memmert, Memmert GmbH, Schwabach, Saksa) +100 °C:en lämpötilassa 20-24 tunnin ajan. Tämän jälkeen näytteet punnittiin ja laskettiin primaarisen kuiva-aineen pitoisuus kasvustossa.

Ennen sadonkorjuuta kunkin rivin pituus mitattiin ja rivistä otettiin kasvustonäyte. Näytteeseen leikattiin kaikki kasvit 15 cm korkeudelta 1 metrin matkalta. Kasvit punnittiin ja säilytettiin kylmiössä +8 °C:een lämpötilassa niiden fraktiointiin saakka. Tämän jälkeen koko rivi niitettiin 15-20 cm korkeudelta yksirivisellä kelasilppurilla (JF FH 1300, Kongskilde, Saksa). Kukin rivi korjattiin erikseen ja saatu sato punnittiin välittömästi. Punnitsemisen jälkeen kustakin erästä otettiin noin 3 kg:n rehunäyte, mikä säilytettiin kylmiössä +8 °C:een lämpötilassa käsittelyyn saakka. Ensimmäinen sadonkorjuu tehtiin 6.9.2017 ja seuraavat korjuukerrat tehtiin noin kahden viikon välein: 20.9.2017, 12.10.2017 ja 1.11.2017. Viimeisellä korjuukerralla maassa oli jo lumipeite.

4.2.1. Kasvuston koostumuksen määrittäminen

Kasvuston koostumus määritettiin kasvustonäytteestä. Näytteen kasvien lukumäärä laskettiin, yksittäisten kasvien pituus mitattiin, minkä lisäksi kunkin kasvin massa tähkien kanssa punnittiin. Tämän lisäksi tähkät punnittiin myös erikseen. Lopuksi tähkät pilkottiin puukolla pienempiin paloihin (Ø noin 1 cm) ja muut kasvinosat silputtiin laboratoriosilppurilla (Walter u. Wintersteiger KG, Ried im Innkreis, Itävalta). Silputtu kasvimateriaali kuivattiin lämpökaapissa (Memmert, Memmert GmbH, Schwabach, Saksa) +100 °C:een lämpötilassa 20 - 24 tunnin ajan, jonka jälkeen kasvimassa punnittiin.

4.3. Kemialliset analyysit rehun raaka-aineesta

4.3.1. Primaarinen- ja sekundaarinen kuiva-aine sekä tuhka

Kasvuston primaarisen kuiva-aineen määrittäminen tehtiin 3 kg:n rehunäytteestä. Analyysiä varten näyte sekoitettiin tasaiseksi ja siitä otettiin kolme noin 100 g osanäytettä. Näytteitä kuivattiin +100 °C:ssa lämpökaapissa (Memmert, Memmert GmbH, Schwabach, Saksa) 20–24 tuntia, jonka jälkeen ne punnittiin. Primaarisen kuiva-aineen pitoisuus (g/kg) laskettiin oheisen kaavan mukaisesti

$$\text{Primaarinen KA} = 1000 * \left(\frac{\text{paino kuivauksen jälkeen, g}}{\text{tuorepaino, g}} \right)$$

Kuivatut näytteet jauhettiin sakomyllyllä (1 mm seula, KT-3100, Koneteollisuus Oy, Helsinki, Suomi). Jauhettu näyte säilytettiin muovisissa 0,5 litran rasioissa (Orthex Jäänalle pakasterasia, Espoo, Suomi) huoneenlämmössä (+ 20°C).

Sekundaarisen kuiva-aineen pitoisuuden määrittämistä varten kuivattuihin ja punnittuihin upokkaisiin punnittiin noin 2 g ilmakeivää jauhettua näytettä. Näytteitä kuivattiin tunnin ajan + 100 °C:ssa lämpökaapissa (Memmert, Memmert GmbH, Schwabach, Saksa) 20-24 tunnin ajan. Tämän jälkeen näytteet punnittiin. Sekundaarinen kuiva-ainepitoisuus (g/kg) rehun raaka-aineessa laskettiin samalla kaavalla kuin primaarisen kuiva-aineen pitoisuus.

Punnituksen jälkeen näytteet tuhkattiin. Upokkaat näytteineen laitettiin muhveliuuniin (Heraeus Thermicon T, Heraeus, Hanau, Saksa) + 550 °C:een 16 tunnin ajaksi. Polton jälkeen upokkaiden annettiin jäähtyä hetken ajan, jonka jälkeen ne siirrettiin eksikaattoriin jäähtymään noin kahdeksi tunniksi. Tämän jälkeen näytteet punnittiin. Tuhkapitoisuus (g/ka ka) laskettiin näytteille seuraavan kaavan mukaisesti:

$$\text{Tuhka (g/kg ka)} = 1000 \times \left(\frac{\text{paino tuhkauksen jälkeen, g} - \text{paino kuivauksen jälkeen, g}}{\text{paino kuivauksen jälkeen, g}} \right)$$

4.3.2. Tärkkelys- ja sokeripitoisuus

Rehun raaka-aineesta määritettiin tärkkelys- ja sokeripitoisuus käyttämällä tärkkelyksen ja sokeripitoisuuden määrittämiseen tarkoitettua kittiä (Total Starch Assay Kit (AA/AMG), Megazyme, Irlanti). Tärkkelysmääritys tehtiin kitin ohjeiden mukaisesti. Aluksi punnittiin 30 ml koeputkiin 100 mg ilmakeivattua näytettä, jonka jälkeen lisättiin 5 ml 80% etanolia. Näytteitä haudottiin + 80 – 85 °C:ssa kuumavesihauteessa 5 minuuttia ja lisättiin vielä 5 ml 80% etanolia. Tämän jälkeen sekoitettiin erottajalaitteella 10 minuuttia 300 rpm:ssa (1800 g) (Heraeus biofuge Pico, DJB Labcare, United Kingdom) ja poistettiin nestekerros koeputkesta. Putken pohjalle jäänyt pelletti liuotettiin 10 ml 80% etanolia, sekoitettiin ja laitettiin uudelleen erottajalaitteeseen 10 minuutiksi 3000 rpm:n. Pelletin päälle muodostunut nestekerros poistettiin ja pelletti liuotettiin 3 ml:an thermostabiilia α -amylaasiliuosta. Näytteet sekoitettiin aluksi koeputkiravistajalla (Vortex - Genie 2, Scientific industries INC, Bohemia, N.Y. 11716, USA) ja laitettiin kiehuvaan vesihauteeseen 12:sta minuutiksi, jonka aikana näytteitä sekoitettiin vielä 3 kertaa. Näyteputkiin lisättiin kitin amyloglukosidaasi -entsyymiä (pullo 2) 0,1 ml, sekoitettiin ja laitettiin + 50 °C:en kuumavesihauteeseen 30 minuutiksi, jonka jälkeen näyteputkiin lisättiin 6,9 ml tislattua vettä. Näyteputken sekoitettiin ja laitettiin erottajaan 3000 rpm 10 minuutiksi. Pinnalle kertynyt nestefaasi kaadettiin puhtaisiin koeputkiin ja kyvetteihin, joissa näytteet analysoitiin spektrofotometrillä (Shimadzu UV-1800, Shimadzu corporation, Kyoto, Japan) avulla.

Raaka-aineen sokeripitoisuuden analysointi tehtiin sokeri -kitin ohjeiden mukaisesti. Aluksi näytteisiin (30 mg) lisättiin 30 ml 77% etanolia, sekoitettiin ja laitettiin uuttumaan kuumavesihauteeseen + 80 °C:en tunniksi. Uuton aikana näytteitä sekoitettiin 3 kertaa ja keiton päätyttyä näytteet nosteltiin jää - vesi -hauteeseen 10 minuutiksi. Näytteet sekoitettiin erottajalla 4000 rpm:ssä 5 minuutin ajan + 4 °C:ssa. Pelletin pinnalle muodostunut nestekerros kerättiin talteen ja säilöttiin kylmähuoneeseen (+ 5 °C). Tästä näytteestä pipetoitiin 250 μ l rinnakkaiset näytteet, joihin lisättiin 1,25 ml kylmää Anthron -reagenssia (0,2 g anthronia/100 ml 72% rikkihappoa). Tämän jälkeen näytteitä keitettiin 11 minuuttia, jäähdytettiin, siirrettiin kyvetteihin ja mitattiin näytteiden absorbanssi spektrofotometrillä. Lopuksi laskettiin näytteiden sokeripitoisuus saatujen tulosten perusteella.

4.3.3. Typpipitoisuus-, neutraalidetergenttikuidut sekä sadon sulavuus

Hiili- ja typpianalyysiä varten noin 200 mg jauhattua ilma-kuivaa näytettä analysoitiin Dumas'in polttomenetelmällä (Vario Elementar Max C/N, Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Saksa). Näytteen raakavalkuaispitoisuus (g/kg ka) saatiin laskettua kertomalla saatu typpipitoisuus vakiolla 6,25

Raaka-aineessa olevien NDF pitoisuus määritettiin rehun raaka-aineesta Van Soest ym. (1991) neutraalidetergenttikeitto -menetelmää mukaillen. Aluksi näytettä punnittiin 0,4 g sinttereihin, joiden päälle lisättiin saman verran natriumsulfiittiliuosta. Sintterit laitettiin kuumauuttolaitteeseen, jossa keittoputkien syvennyksiin saakka lisättiin natriumsulfiittia ja keitettiin täydellä teholla 3 minuutin ajan. Natriumsulfiittia lisättiin jälleen keittoputkeen ja keittoa jatkettiin 60 minuutin ajan. Keiton jälkeen näytteet kuivatettiin ja niitä huuhdeltiin lähes kiehuvalle tislattulle vedelle (yhteensä noin 1,5 litraa). Tämän jälkeen näytteitä uutettiin vielä kylmäuuttolaitteessa asetonilla (vahvuus), jonka jälkeen näytteet kuivatettiin +100 °C:ssa lämpökaapissa (Memmert, Memmert GmbH, Schwabach, Saksa) vuorokauden ajan. Lopuksi näytteen sisältävät sintterit punnittiin ja laskettiin NDF:n määrä näytteessä. Kuitujen määrä näytteessä saatiin seuraavalla kaavalla:

$$\text{NDF g/kg ka} = \frac{(1000 \cdot \text{paino NDF-keiton jälkeen, g})}{(\text{paino, g} \cdot \text{KA} / 1000)}$$

Sadon *in vitro* -sulavuus määritettiin rehumassasta käyttämällä Nousiainen ym. (2003) muuntelemaa Friedel'in (1990) pepsini-sellulaasimenetelmää, jonka avulla pystytään määrittämään orgaanisen aineen liukoisuus ja tätä kautta laskemaan orgaanisen aineen sulavuus sekä orgaanisen aineen määrä kuiva-aineessa (D-arvo, g/kg ka) Huhtanen ym. (2006) korjausyhtälöitä hyväksikäyttämällä. Määrittystä varten 0,2 g ilma-kuivaa näytettä punnittiin erlenmeyer-pulloon, johon lisättiin 20 ml pepsini-sellulaasi suolahappoliuosta (1000 ml 0,5M HCL ja 2 g pepsini -entsyymiä). Tämän jälkeen näytteitä haudutettiin + 40 °C 24 tuntia. Haudutuksen jälkeen näytteitä keitettiin 10 minuuttia kannen alla, jonka jälkeen ne siirrettiin kylmäuuttolaitteeseen ja huuhdeltiin viileällä tislattulla vedellä 2-3 kertaa. Huuhtelun jälkeen kuiviin imetyt sintterit siirrettiin dekanterilaseihin ja niiden päälle lisättiin 20 ml sellulaasi-puskuriliuosta (pH 4,6). Tämän jälkeen näytteitä haudutettiin foliolla peitettyä lämpökaapissa (Memmert, Memmert GmbH, Schwabach, Saksa) +40 °C:ssa kaksi vuorokautta. Hauduttamisen jälkeen näytteet siirrettiin kylmäuuttolaitteeseen, jossa niitä huuhdeltiin 4 kertaa tislattulla vedellä sekä kolme kertaa asetonilla. Tämän jälkeen näytteitä sinttereineen kuivatettiin

lämpökaapissa + 105 °C:ssa yön yli, jäädytettiin eksikaattorissa ja punnittiin. Punnitsemisen jälkeen näytteet tuhkattiin muhveliuunissa + 520 °C:ssa kolmen tunnin ajan, jäädytettiin ja punnittiin. Tämän jälkeen laskettiin orgaanisen aineen sulavuus (OAS) oheisen kaavan mukaisesti orgaanisen aineen pitoisuuden (OM) avulla.

$$\text{OAS} = (\text{OM, g} - \text{solunulkoinen OM, g} * 100 - \text{OM, g})$$

Tästä saatiin edelleen laskettua raaka-aineelle sulavuus eli D-arvo (g/kg ka) oheisen kaavan mukaan:

$$\text{Sulavuus} = 1000 - \text{tuhka (g/kg ka)} * \text{OA}$$

4.4. Kasvukauden sääolot

Kasvukausi 2017 oli huomattavasti viileämpi ja sateisempi, kuin aiemmat kasvukaudet keskimäärin (1981-2010). Lisäksi poikkeuksellisen suuri sademäärä ja matalat lämpötilat vähensivät haihduntaa, jolloin vettä oli runsaasti kasvien käytössä.

Alkukasvukaudella (touko- ja kesäkuu) lämpötilat olivat lähes 10 lämpöastetta alhaisempia kuin pitkän aikavälin tarkastelujaksolla. Heinäkuussa keskimääräinen lämpötila oli selkeästi viileämpi verrattaessa pitkän ajanjakson vastaaviin lukemiin. Elo- ja syyskuussa lämpötilaerot pitkän ajanjakson ja kasvukauden 2017 välillä eivät olleet enää niin suuria kuin aiempina kasvukauden kuukausina, jolloin kuukauden keskilämpötilojen erot olivat pitkän ajanjakson ja kesän 2017 välillä vain noin 5 lämpöastetta. Kun kesää 2017 vertaa pitkän ajanjakson sadehavaintoihin, on pitkän ajanjakson sademäärät suurempia muina kuukausina paitsi kesäkuussa, jolloin vuoden 2017 sademäärä oli useita kymmeniä millimetrejä suurempi. Suurin ongelma kasvukaudella 2017 olikin luultavasti alhaiset lämpötilat yhdistettynä suurehkoon sademäärään, joka aiheutti sen, että haihdunta oli vähäistä ja vettä oli saatavilla enemmän kuin kasvit olisivat tarvinneet.

Taulukko 5. Kasvukauden 2017 kuukausittainen sademäärä ja keskilämpötila sekä pitkän ajanjakson (1981-2010) vastaavat keskiarvot Helsingin Kaisaniemessä (Ilmatieteenlaitos 2018).

Kuukausi	lämpötila, °C		sadesumma, mm	
	2017	1981-2010	2017	1981-2010
Toukokuu	10	10	16	37
Kesäkuu	14	15	80	57
Heinäkuu	16	18	31	63
Elokuu	16	16	86	79
Syyskuu	12	11	65	64
Lokakuu	6	7	180	76

Kasvukauden alussa vallinnut viileä sää vaikutti koko kasvukauden tehoisan lämpösumman kertymään huomattavasti, sillä lokakuun alkuun mennessä lämpösummaa oli kertynyt vain 1 324 °Cvrk, kun vastaava keskimääräinen pitkän aikavälin (1981-2010) tehoisan lämpösumman kertymä on ollut lokakuun alkuun mennessä 1 433 °Cvrk. Kyseinen luku jäi kasvukaudella 2017 noin 40 °Cvrk alhaisemmaksi kuin aiemmilla kasvukausilla keskimäärin. Puuttumaan jäävä summa on merkittävä kasvien kasvun kannalta, sillä se kuvaa menetettyä kasvuaikaa. Jotta puuttuva 40 °Cvrk olisi saavutettu kasvukaudella 2017, olisi tarvittu jopa 8 vuorokautta, jolloin keskilämpötila olisi ollut vähintään +15 °C.

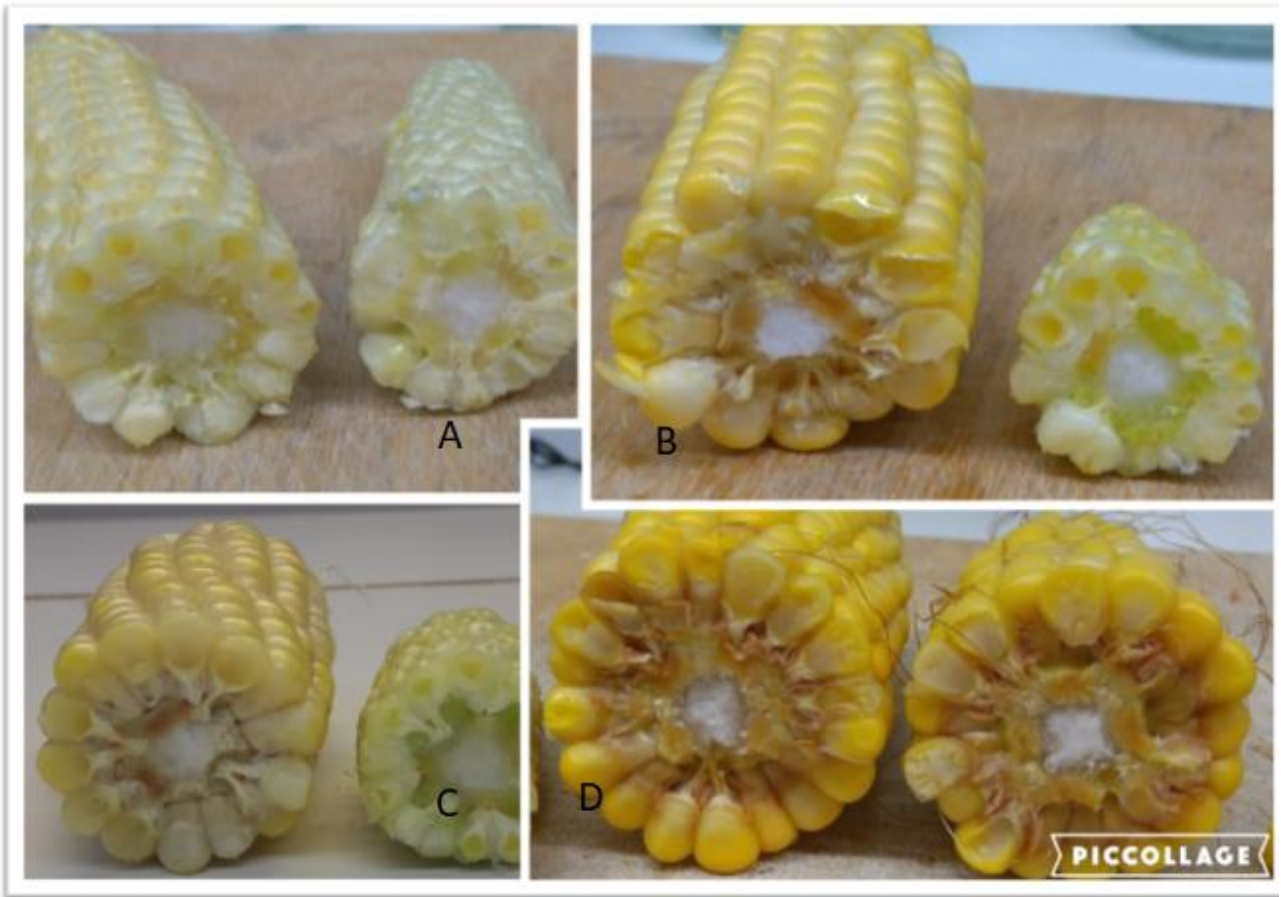
4.5. Tilastolliset menetelmät

Eri korjuuajankohtina tehdyt kasvustohavainnot ja sadon laadulliset ominaisuudet analysoitiin varinassianalyysillä (SPSS, V. 25.0. Armonk, Ny, IBM Corp. 2018). Mikäli keskiarvojen välillä esiintyi merkitseviä eroja, tehtiin *post hoc* -testi (test of least significant difference, LSD). Lisäksi sulavuudesta ja NDF :n pitoisuudesta tehtiin regressioanalyysi korjuuajankohdan suhteen. Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla tutkittiin eri tekijöiden välisiä vuorovaikutuksia.

5. TULOKSET

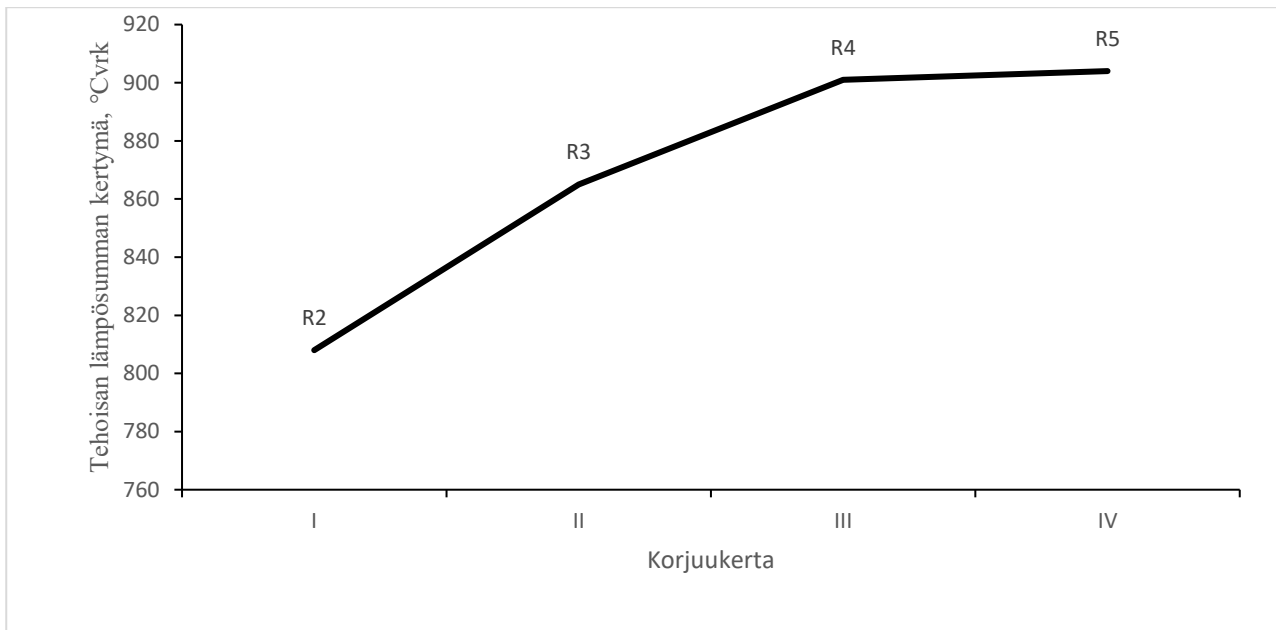
5.1. Tähkien kehitysrytmi oli hidas

Ensimmäisellä korjuukerralla (120 vuorokautta kylvöstä) maissikasvuston tähkät olivat ehtineet rakkulatuleentumisvaiheeseen. Tähkät olivat kooltaan melko pieniä ja väriltään vaaleita. Tähkien tuoremassa vaihteli 85 g ja 248 g välillä. Jyviä litistettäessä niiden sisältö oli nestemäistä ja väriltään hyvin vaaleaa, lähes kirkasta. Maitotuleentumisvaiheessa (134 vuorokautta kylvöstä) olevien tähkien jyvien sisältö oli nestemäistä, mutta väriltään sameampaa kuin rakkulatuleentumisvaiheessa olevissa jyvissä. Tähkien massa vaihteli 65 g ja 282 g välillä. Kolmannella korjuukerralla (156 vuorokautta kylvöstä) tähkät olivat saavuttaneet varhaisen jauhotuleentumisvaiheen, joka todettiin tähkien kellertävän värin ja jossain määrin kiinteäksi muuttuneen jyvien sisustan perusteella. Tähkien massa vaihteli varhaisessa jauhotuleentumisvaiheessa 144 g ja 331 g välillä. Viimeinen, neljäs, korjuu tapahtui 176 vuorokauden kuluttua kylvöstä, jolloin tähkät olivat saavuttaneet jauhotuleentumisvaiheen. Tähkät olivat väriltään keltaisia ja jyvien sisus oli litistettäessä jauhomaisempi ja kiinteämpi kuin aiemmilla korjuukerroilla. Tähkien massa jauhotuleentumisvaiheessa vaihteli 41 g ja 282 g välillä. Yhdessä kasvissa oli yhdestä kolmeen tähkää. Kasveissa, joissa oli useampia tähkiä, yksi oli suurempi päätähkä ja muut olivat pienempiä tähkiä (Kuva 1). Kolmen tähkän kasveissa pienimmän tähkän jyvien muodostuminen ei ollut vielä alkanut.



Kuva 1. Maissin tähkien kehittyminen kasvukaudella 2017. A) rakkulatuleentumisvaihe, I korjuu (120 vrk), B) maitotuleentumisvaihe, II korjuu (134 vrk), C) varhainen jauhotuleentumisvaihe, III korjuu (156 vrk) ja D) jauhotuleentumisvaihe, IV korjuu (176 vrk) (kuvat: Kivenmäki, E. ja Luukkainen, L.)

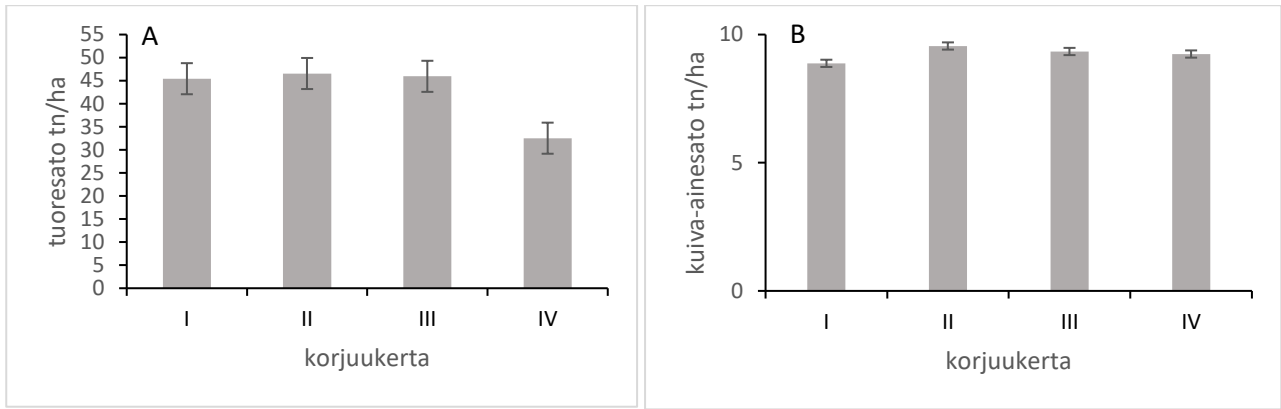
Kasvukauden aikana tehoisaa lämpösomaa kertyi yhteensä vain noin 1 414 lämpösomaa-astetta aivan eteläisimmässä Suomessa. Tämä on 39 °Cvrk vähemmän kuin vertailuajanjakson (1981-2010) kertymä, joka on 1 453 °Cvrk (Ilmatieteenlaitos 2018). Vähäisemmän lämpösomakertymän seurauksena tähkien kehitys oli hidasta, vaikkakin tavoiteltu jauhotuleentumisvaihe (R5) saavutettiin viimeisellä korjuukerralla (176 vuorokautta kylvöstä). Maissin lämpösomavaatimuksen (+10 °C ylittävä lämpötila) mukaan laskettuna kasvustolle kertyi tehoisaa lämpösomaa kasvukauden aikana noin 900 °Cvrk (kuva 2).



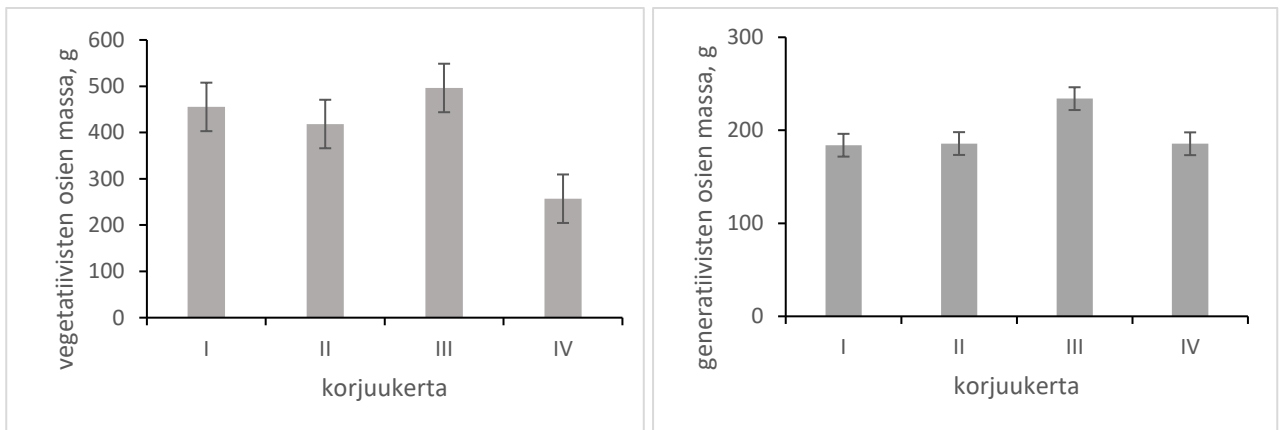
Kuva 2. Maissin tähkien kehittyminen kasvukaudella 2017 ja kuhunkin kehitysvaiheeseen (R) kulunut tehoisa lämpösumma maissin lämpötilavaatimusten (+ 10 °C) mukaisesti laskettuna. Korjuukerrat I=120 vrk, II=134 vrk, III=156 vrk ja IV=176 vrk.

5.2. Korjuuajankohdan vaikutus maissisatoon

Maissikasvuston tuoresato nousi ensimmäisestä sadonkorjuusta kolmanteen korjuuseen saakka, jonka jälkeen kasvustoon ei kertynyt biomassaa ja tuoresadon määrissä ei enää tapahtunut muutoksia (Kuva 3). Tuoresadon määrä vaihteli eri korjuukerroilla 32,5 – 46,5 tn/ha, erot korjuukertojen välillä eivät olleet merkitseviä paitsi viimeisellä korjuukerralla, jolloin tuoresato oli niukin ($p=0,006$) (Kuva 3.). Korrelaatio tuoresadon ja korjuukerran välillä oli negatiivinen, joten korjuuajankohdan viivästyessä tuoresadon määrä väheni (Taulukko 7). Kuiva-ainesadon määrä vaihteli eri korjuukerroilla 8,9 - 9,6 tn/ha. Erot eri korjuukertojen välillä kuiva-ainesadoissa eivät olleet merkitseviä. Kuitenkin esimerkiksi kuiva-ainesadon havaittiin vähenevän korjattaessa sato myöhempinä ajankohtina, vaikka sadon kuiva-aineen pitoisuus lisääntyikin (Kuva 3).



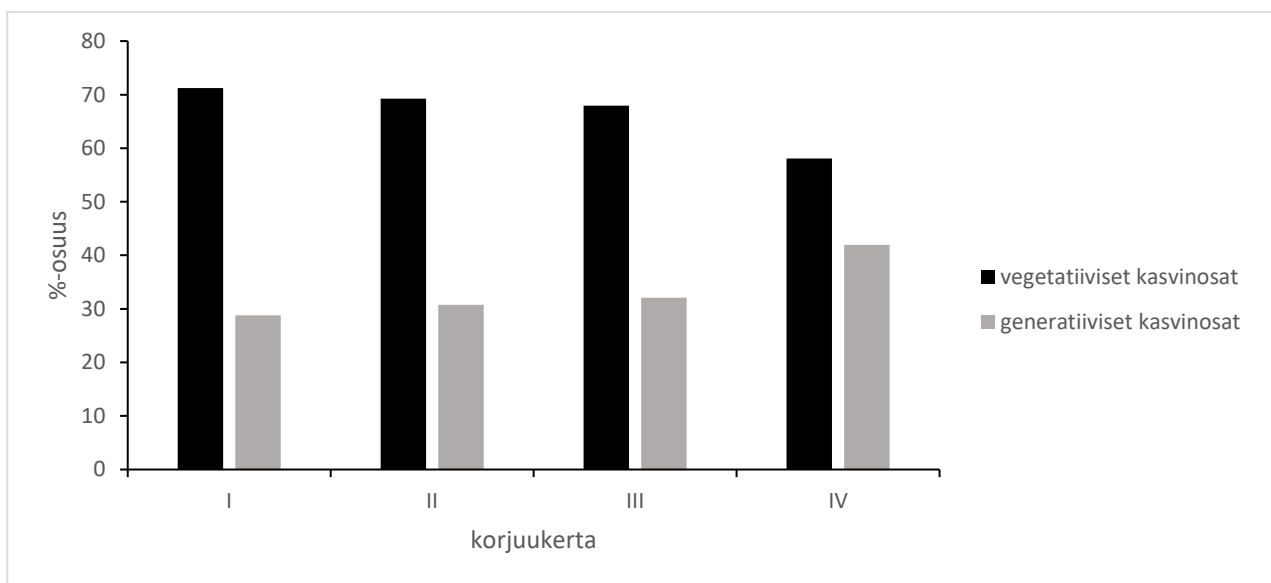
Kuva 3. Maissin tuoresadon (A) ja kuiva-ainesadon (B) määrä kasvukaudella 2017, $n=11$, jana = \pm SE.



Kuva 4. Yksittäisen kasvin vegetatiivisten osien (lehdet ja varret) ja tähkien keskimääräinen biomassa kasvukaudella 2017, $n=11$, jana = \pm SE. I korjuukerta = 120 vrk kylvöstä, II= 134 vrk kylvöstä, III= 156 vrk kylvöstä ja IV= 176 vrk kylvöstä.

Kussakin kehitysvaiheessa sadon kasvullisten osien, lehtien ja varsien, osuus oli suurempi kuin generatiivisten osien, tähkien (Kuva 4). Sadosta noin 71% oli vegetatiivisia osia ja 29% tähkiä, mutta suhde muuttui tähkän kehityksen edetessä niin, että viimeisellä korjuukerralla vegetatiivisten osien osuus koko kasvustosta oli enää 58% ja tähkien osuus oli 41% (Kuva 4). Ero kolmannen ja viimeisen korjuukerran välillä vegetatiivisissa kasvinosissa oli merkitsevä ($p= 0,025$). Tähkien osuudessa ei ollut eroa eri korjuukertojen välillä.

Vegetatiivisten ja generatiivisten kasvinosien välillä oli voimakas positiivinen korrelaatio (Taulukko 7). Vegetatiivisten kasvinosien massan runsastuessa myös tähkien massa runsastui (Kuva 5). Sen sijaan vegetatiivisten kasvinosien ja primäärisen kuiva-ainepitoisuuden välillä vallitsi negatiivinen korrelaatio. Kun kasvustossa oli runsaasti vegetatiivisia kasvinosia, primäärisen kuiva-aineen pitoisuus oli alhainen.



Kuva 5. Vegetatiivisten ja generatiivisten kasvinosien prosenttiosuudet eri korjuukerroilla. Tähkien osuus kokonaisbiomassasta kasvoi kehityksen edetessä.

5.3. Kasvuston kehitysvaiheen yhteys sadon laatuun

Maissirehun raaka-aineen primaarinen kuiva-ainepitoisuus kasvustossa nousi ensimmäisestä korjuusta aina viimeiseen korjuukertaan saakka. Kasvuston primaarisen kuiva-aineen pitoisuudessa oli merkitsevä ero kolmen ensimmäisen korjuukerran ja viimeisen korjuukerran välillä. Merkitsevin ero oli ensimmäisen ja viimeisen korjuukerran välillä ($p=0,000$). Lisäksi korjuuajankohta korreloi positiivisesti kasvuston primaarisen kuiva-ainepitoisuuden kanssa ja kasvuston kuiva-ainepitoisuus lisääntyikin aina neljänteen korjuukertaan saakka, jolloin kasvukausi oli jo päättynyt ja kasvusto oli paleltunut (Taulukko 8).

Maissirehun raaka-aineen NDF arvo vaihteli korjuuajankohdan mukaan. Sulavimmillaan kasvuston biomassa oli toisella korjuukerralla, vaikkakaan erot sulavuuksissa eri korjuukertojen välillä eivät olleet merkitseviä. Sadon valkuaispitoisuus laski kasvuston kehityksen edetessä. Korkeimmillaan valkuaispitoisuus oli toisella korjuukerralla (Taulukko 7). Erot korjuukertojen välillä valkuaispitoisuuksissa olivat merkitseviä ja suurin ero oli toisen ja kolmannen korjuun välillä, jolloin p-arvo oli 0,019.

Sadonkorjuuajankohta vaikutti merkitsevästi tärkkelyspitoisuuteen. Suurin ero tärkkelyspitoisuudessa oli ensimmäisen ja viimeisen korjuun välillä ($p=0,000380$). Tärkkelyspitoisuus korreloi hyvin voimakkaasti kuiva-ainesadon sekä primaarisen kuiva-ainepitoisuuden kanssa. Kuiva-ainepitoisuuden noustessa ja kuiva-ainesadon runsastuessa myös kasvin tärkkelyspitoisuus nousi. Sadon liukoisen sokerin pitoisuus sen sijaan laski korjuuajankohdan viivästyessä ollen alhaisimmillaan viimeisellä korjuukerralla (Taulukko 7) vaikkakin ero sokeripitoisuudessa oli merkitsevää vain toisen ja kolmannen korjuukerran välillä ($p=0,027$). Sokeripitoisuuden ja sadon sulavuuden välillä oli negatiivinen korrelaatio eli sulavuuden heikentyessä myös sadon sokeripitoisuus laski (Taulukko 8).

Taulukko 7. Maissirehun raaka-aineen laadulliset ominaisuudet neljänä eri korjuuajankohtana kasvukaudella 2017.

Korjuukerta, vrk:ta kylvöstä	Laadulliset ominaisuudet, g/kg ka						
	Primäärinen kuiva-aine	Tuhka	Liukoinen sokeri	Tärkkelys	Valkuainen	Sulavuus	NDF
I, 120	195	49	22	18	85	685	542
II, 134	205	43	27	61	89	723	460
III, 156	199	44	18	89	79	715	471
IV, 176	282	42	9	143	76	704	526
SEM (df=11)	12,0	0,9	2,9	16,1	1,8	4,6	11,1

NDF, neutraalidetergenttikuidut; SEM, aineiston keskiarvon keskivirhe

Kuiva-ainesadon runsastuessa myös sadon primäärinen kuiva-ainepitoisuus lisääntyi merkitsevästi, kun taas tärkkelyksen ja valkuaisen pitoisuus alenivat kuiva-ainepitoisuuden noustessa. Sadon laatuominaisuuksista primäärinen kuiva-ainepitoisuus, tärkkelyspitoisuus sekä sulavuus korreloivat positiivisesti korjuuajankohdan kanssa (Taulukko 8). Korjuuajankohdan viivästyessä sadon primäärinen kuiva-ainepitoisuus, tärkkelyspitoisuus, sulavuus sekä NDF -pitoisuus nousivat. Myöhemmillä korjuukerroilla sadon sokeripitoisuus oli alhainen ja kuidun määrä korkeahko. Sokeripitoisuus puolestaan korreloi negatiivisesti korjuuajankohdan kanssa, joten mitä myöhemmin sato korjattiin, sen vähemmän sadossa oli liukoisia sokereita.

Taulukko 8. Korrelaatiot sadon määrä- ja laatutekijöiden sekä korjuuajankohdan välillä.

	Tuore- sato	Kuiva- ainesato	Primäärinen kuiva-aine	Valkuainen	Tärkkelys	Sokeri	NDF	Sulavuus	Korjuu- kerta	Vegetatiiviset kasvinosat	Generatiiviset kasvinosat
Tuoresato	1	0,61	-0,416*	-0,215	-0,192	0,458**	0,275	-0,661**	-0,3	0,453	0,113
Kuiva-ainesato		1	0,459**	-0,351*	0,554**	-0,115	0,199	-0,097	0,303	-0,337	-0,041
Primäärinen kuiva-aine			1	-0,14	0,860**	-0,658**	-0,055	0,652**	0,719**	-0,709*	-0,146
Valkuainen				1	-0,271	0,039	0,364*	0,165	0,088	0,295	-0,105
Tärkkelys					1	-0,608**	0,15	0,321	0,694**	-0,399	0,222
Sokeri						1	0,054	-0,663**	-0,514**	0,242	-0,18
Sulavuus							1	-0,222	,409*	0,006	0,174
NDF								1	0,548**	-0,249	-0,243
Korjuukerta									1	-0,417	0,145
Vegetatiiviset osat										1	0,744**
Generatiiviset osat											1

**korrelaatio on merkitsevä 0,01 merkitsevyystasolla

*korrelaatio on merkitsevä 0,05 merkitsevyystasolla

6. TULOSTEN TARKASTELU

6.1. Sääolosuhteet hidastivat tähkien kehitystä

Tähkien kehittyminen kasvukaudella oli hidasta, vaikkakin lopulta, viimeisellä korjuukerralla tähkät saavuttivat tuleentumisen R5 -vaiheen. Maissin tavoitetuleentumisvaiheessa, R5, tuoresadon kuiva-ainepitoisuus on useimmiten noin 250 - 350 g/kg. Tässä kehitysvaiheessa sato sisältää optimaalisimman ravintoainekoostumuksen rehusadon jatkokäytön kannalta (ruokinta), mutta myös määrän kannalta kyseinen vaihe on tavoiteltava (Mussadiq ym. 2012, Guyader ym. 2018). R5 -vaiheen saavuttamiseksi vuonna 2017 tarvittiin noin 900 maissin kasvulle tehoisaa lämpösumma-astetta (GDD). Lämpösummaa kertyi maissilla vain niille kasvukauden päiville, jolloin ilman lämpötila ylitti +10 °C. Joinakin vuosina lämpösumma jää tätäkin alhaisemmaksi, mutta silti kasvustosta on mahdollista saada hyvä sato riippuen kasvukauden muista ominaisuuksista (Pulli ym. 1979). Etelä-Euroopassa R4 -vaiheeseen on tarvittu hieman yli 1000 lämpösumma-astetta (Ferro ym. 2005). Maissin siementen itäminen ja alkukasvu on nopeaa, kun maan ja ilman lämpötila on yli +10 °C (White 1978).

Itämisen ja taimettumisen vaikutus maissin kuiva-ainepitoisuuden kertymisen kannalta on ensiarvoisen tärkeää, sillä nopea kasvuunlähtö mahdollistaa kuiva-aineen pidempiaikaisen kertymisen kasvukauden aikana verrattaessa sellaisiin tilanteisiin, joissa kasvuunlähtö on ollut hidas ja hitaan itämisen vuoksi vegetatiiviseen ja generatiiviseen kasvuun jää vähemmän aikaa (Kwabiah 2005). Siementen itämistä voidaan tehostaa hyödyntämällä erilaisia katteita maissin kylvössä (Farrell & Gilliland 2010, Kwabiah 2005). Itämisen vaikutuksia kuiva-ainepitoisuuden kertymiseen kasvukauden aikana on tutkittu jonkin verran ja sen on havaittu olevan yksi tärkeimmistä tekijöistä, joka vaikuttaa siihen, miten suuri kuiva-ainepitoisuus kasvustosta lopulta korjataan (Farrell & Gilliland 2010, Kwabiah ym. 2002). Kasvukaudella 2017 itäminen tapahtui melko hitaasti, jolloin itämiseen kuluva pidempi aika vähensi vegetatiiviseen ja generatiiviseen kasvun vaiheeseen jäävää tehokasta kasvuaikaa.

6.2. Korjuuajankohdan myöhästyttäminen lisäsi kuiva-aineen kertymistä

Korjuuajankohta vaikutti maissisadon tärkeimpään laatuominaisuuteen, primaariseen kuiva-ainepitoisuuteen. Korjuuajankohdan ja kuiva-ainepitoisuuden välinen positiivinen korrelaatio aiheutui kasvuston kuiva-ainepitoisuuden lisääntymisestä kasvien generatiivisen kasvun seurauksena. Kuiva-ainepitoisuudet kasvukaudella 2017 vaihtelivat välillä 19 ja 28 g/kg tuorehua, kun aiemmin on korjattu esimerkiksi Suomessa (230 - 280 g/kg) (Pulli ym. 1976) tai Irlannissa (180 - 332 g/kg) (Lynch ym. 2012).

Viimeisimmillä korjuukerroilla korjattu tuoresadon määrä väheni kuiva-ainesadon runsastuessa. Tuoresadon määrä (33 – 47 tn/ha) oli lähes sama kuin aiemminkin Suomessa on saatu (Pulli ym. 1979). Alhainen tuoresadon määrä johtui oletettavasti kasvukauden 2017 säätilasta, joka heikensi maissin biomassan tuotantopotentiaalia verrattaessa aikaisempaan tulokseen maissin tuoresadon määrästä (Pulli ym. 1979). Korjattu kuiva-ainesato jäi kullakin korjuukerralla hieman alle 10 tn/ha:n (8,9 – 9,6 tn/ha). Sen sijaan Pulli ym. (1976) korjasivat maissin kuiva-ainesatoa 9 – 11 tn/ha, kun taas Lynch ym. (2012) saivat maissin kuiva-ainesatoa 8 – 15 tn/ha. Kuiva-aineen hidaskertyminen saattoi johtua vähäisestä lämpösumman kertymästä kasvukauden aikana (Ilmatieteen laitos 2019). Poikkeuksellisen alhainen lämpötila ja kostea sää kasvukaudella 2017 hidastivat maissikasvuston vegetatiivista kasvua sekä tähkien kehittymistä, sillä nämä ovat yhteydessä lämpötilaan (Wijewardana ym. 2015, Beale ym. 1996, Tollenaar 1989, Tollenaar 1989). Näiden yhteys lämpötilaan johtuu siitä, että fotosynteesissä muodostuu sokereita, joita kasvi hyödyntää kasvuunsa ja tähkien muodostamiseen ja täyttämiseen. Kun fotosynteesi toimii hitaasti, sokerien muodostuminen hidastuu ja kasvu hidastuu. Lämpötila vaikuttaa maissin fotosynteesiin, koska hiilidioksidin sitomiskyky viherhiukkasessa on tehokkaimmillaan korkeissa lämpötiloissa (+15 - 30 °C) (Vietor & Musgrave 1979).

C4 -kasvien fotosynteesille optimaalinen lämpötila on + 35°C, mutta tehokkaimmillaan fotosynteesi on +25°C ja +35°C välillä (Dwyer ym. 2007). Näiden lämpötilojen välillä fotosynteesi on muihin lämpötiloihin verrattaessa 50%, mutta jopa 70% tehokkaampaa (Dwyer ym. 2007) Mikäli ilman lämpötila laskee alle +10 °C:en maissi siirtyy niin kutsuttuun lepotilaan (*chilling*), jolloin fotosynteesi hidastuu merkittävästi (Boese ym. 1997, Beale ym. 1996). Lämpötilan alentuessa myös säteilynkäytön tehokkuus maissin fotosynteesissä alenee (Kiniry ym. 1989). Koska auringonsäteily toimii fotosynteesin energianlähteenä, hiilidioksidin sitominen viherhiukkasessa hidastuu (Dwyer ym. 2007). Sen sijaan auringon säteilyn määrän noustessa, hiilidioksidin sitomiskyky fotosynteesin elektroninsiirtoketjussa tehostuu, sillä säteilyenergiaa on runsaasti saatavilla (Kingston-Smith ym.

1997). Hiilidioksidin sidonta fotosynteesissä tapahtuu valoreaktion jälkeisessä Calvinin kierrossa, jossa sitä muokataan Rubisco- ja PEP -karboksylaasientsyymien avulla oksaloasetaatiksi ja edelleen malaatiksi.

Koska lämpötila kasvukaudella 2017 oli melko alhainen, kasvien hiilidioksidin sidontakyky ei luultavasti ollut tehokkaimmillaan. Tämän vuoksi hiilen sidonta kasvustoon oli muihin vuosiin verrattaessa niukempaa, joka näkyi alhaisempina kuiva-ainesatoina ja heikompina laatuominaisuuksina.

6.3. Sadon laatu jäi alhaiseksi

Korjuuajankohdan sekä vegetatiivisten kasvinosien välinen negatiivinen korrelaatio saattoi olla seurausta siitä, että kasvuston siirtyessä generatiiviseen kasvun vaiheeseen pölyttymisen jälkeen, vegetatiivisten kasvinosien muodostuminen kasvustossa päättyy (O'Keeffe 2009). Tähkän kehityksen edetessä tuoresadon määrä väheni. Vegetatiivisten kasvinosien massa lisääntyi kolmanteen korjuukertaan saakka, jonka jälkeen se ei enää lisääntynyt. Tuoresadon niukentuessa myös sadon valkuaispitoisuus aleni. Tuoresadon niukentuminen sekä valkuaispitoisuuden aleneminen saattoi aiheutua tähkien kehittymisestä. Myös sadon sokeripitoisuus laski tähkien kehityksen myötä. Vastaavanlaisia havaintoja valkuaispitoisuuden ja sokeripitoisuuden alenemisesta tähkän kehityksen seurauksena on tehty myös aikaisemmin Ruotsissa (Mussadiq ym. 2012), Irlannissa (Lynch ym. 2012) sekä Yhdysvalloissa (Darby & Lauer 2002, Wiersma ym. 1993).

Sadon typpipitoisuus aleni tähkien kehityksen edetessä ollen runsaimmillaan ensimmäisellä korjuukerralla ja niukimmillaan viimeisellä korjuukerralla. Typpipitoisuuden aleneminen sadossa tähkien kehittymisen seurauksena aiheutuu siitä, että yleensä suurimmillaan typen otto on hieman ennen kukintaa ja vähän sen jälkeen, jonka jälkeen kasvuston typpipitoisuus alkaa vähitellen pienentyä sadossa (Sayre 1948). Aktiivisimman typenoton aikaan vegetatiivisen kasvun vaiheessa kasvit ottavat typpeä tehokkaasti ja varastoivat sitä nitraattina soluihinsa (Hay ym. 1953). Kun maissikasvusto siirtyy generatiivisen kasvun vaiheeseen ja tähkät alkavat kehittyä, soluissa varastoituna ollutta nitraattia aletaan muokata erilaisiksi aminohapoiksi, jotka käytetään proteiinien muodostamiseksi ja kuljetetaan kehittyviin jyviin (Hay ym. 1953, Hirel ym. 2005).

Sokeripitoisuuden aleneminen sadossa johtuu tähkien kehittymisestä ja siitä, että kasvissa olevaa sokeria käytetään pitkäketjuisten varastohiilihydraattien, muun muassa tärkkelyksen ja kuitujen muodostamiseksi (Emes ym. 2003). Sokerimetabolian alussa glukoosi- ja fruktoosimolekyylit

yhdistetään, jolloin muodostuu sakkaroosia. Kun sakkaroosin pitoisuus viherhiukkasessa nousee, sakkaroosisyntaasi -entsyymi aktivoituu ja saa aikaan sakkaroosisynteesin käynnistymisen viherhiukkasessa (Emes ym. 2003). Sakkaroosisyntaasin aktiivisuus on suurimmillaan noin kolme viikkoa pölyttymisen jälkeen (Hai-yan ym. 2007). Sakkaroosi kuljetetaan nilassa ja siirretään täyttyviin jyviin, joiden endospermissä tapahtuu tärkkelyssynteesi (Emes ym. 2003). Tärkkelyssynteesin entsyymien (sakkaroosisyntaasi- ja invertaasi) aktiivisuutta säätelevät jyvien täyttymisen aste sekä sokerin määrä (Hai-yan ym. 2007). Kun sato korjattiin myöhemmissä tähkän kehitysvaiheissa, suurin osa sokerista oli jo sidottu pitkäketjuisiin hiilihydraatteihin, jonka vuoksi pienin sokeripitoisuus ja vastaavasti suurin tärkkelyspitoisuus saavutettiin viimeisellä korjuukerralla, jolloin tähkät olivat jo hyvin pitkälle kehittyneitä.

NDF:n pitoisuus vaihteli eri korjuukertojen välillä, eikä korjuuajankohdan havaittu vaikuttavan kasvuston NDF:n pitoisuuteen. Sadon sulavuus sitä vastoin heikkeni korjuuajankohdan ollessa myöhemmin kasvukaudella ja sulavuudella havaittiin voimakas negatiivinen korrelaatio sadon NDF - pitoisuuden kanssa. Vastaavalaisia havaintoja NDF:n pitoisuuden muutoksista ovat tehneet myös Guyader ym. (2018) ja Hansey ym. (2010), joiden mukaan NDF:n pitoisuus ja kehitysvaihe sekä NDF ja lämpösumman kertymä eivät vaikuta toisiinsa. Joissakin tutkimuksissa NDF:n pitoisuus ei alentunutkaan tähkien kehittymisen seurauksena, vaan kuidun pitoisuus pysyi kullakin korjuukerralla lähes samana (Darby & Lauer 2002, Bal ym. 1996). Tämä voi johtua siitä, että kasvuston tähkät eivät ole kehittyneet sadonkorjuun hetkellä pitkälle, jolloin pitkäketjuisia, heikosti sulavia hiilihydraatteja ei ole ehtinyt muodostua satoon runsaasti. Sadon sulavuus heikkenee tähkien kehittyessä pidemmälle (Darby & Lauer 2002, Wiersma ym. 1993). Sulavuuden heikentyminen tähkän kehityksen edetessä johtuu pitkäketjuisten hiilihydraattien muodostumisesta kasvissa. Erityisesti sulamattomien kuitujen pitoisuuden lisääntyessä sadon kokonaissulavuus heikkenee ja sulavuuden aleneminen heikentää sadon laatua (Kruse ym. 2008, Di Marco ym. 2002).

Rehumaissia on tutkittu Suomessa jonkin verran, mutta lisää tutkimustietoa olisi tarpeellista saada. Tämän tutkimuksen kannalta vastaavanlaiselle jatkotutkimukselle olisi ollut tarvetta, sillä kasvustossa vierailleet ihmiset ja eläimet olivat tuhonneet osittain koekasvustoja. Tämä seikka saattoi vääristää satotasoja (kuiva-aineen ja tuoresadon määrät). Lisäksi useamman vuoden kestäväällä tutkimuksella oltaisiin voitu selvittää sitä, miten suuria sadon laadun ja määrän vaihteluita perättäisinä vuosina rehumaissilla voi olla.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Korjuuajankohta ei vaikuttanut maissin tuore- tai kuiva-ainesadon määriin. Runsaimmillaan tuoresato oli jopa 46,5 tn/ha:lta ja korkein kuiva-ainesato hiukan alle 10 tn/ha (9,6 tn/ha). Erot sadon määrissä eri korjuukertojen välillä eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Tästä voidaan päätellä, että korjuuajankohta ei vaikuta maissin tuore- ja kuiva-ainesadon määriin eli sadon määrän kannalta ei löydetty optimaalisinta korjuuajankohtaa, vaan korjuu voitaisiin toteuttaa tämän perusteella missä tahansa tähkän kehitysvaiheessa.

Tähkien kehittyminen oli kasvukaudella hidasta, mutta tähkät saavuttivat R5 –kehitysvaiheen, joka havaittiin rehumaissin optimaalisimmaksi korjuun ajankohdaksi sadon laadun kannalta. R5 -vaiheessa olevissa tähkissä tärkkelystä oli runsaasti, mutta kuitenkin sadon sulavuus oli edelleen hyvä. Aiemmillä korjuukerroilla, tähkien kehitysvaiheissa R2, R3 ja R4, kasvuston NDF- ja sokeripitoisuus sekä sulavuus olivat korkeimmillaan, mutta tavoiteltavien ravintoaineiden, tärkkelyksen ja kuiva-aineen pitoisuudet olivat vielä varsin alhaisia. Tärkkelyksen ja primaarisen kuiva-aineen niukemmat pitoisuudet kolmella ensimmäisellä korjuukerralla johtuivat siitä, että tähkien kehitys ei ollut edennyt pitkälle ja tärkkelyssynteesiä ei ollut tapahtunut vielä pitkään. NDF:n muodostuminen kasvissa lisääntyi tähkien kehittyessä, joten aiemmissa tähkän kehitysvaiheissa korjattu sato sisälsi vähemmän kuituja kuin myöhemmissä kehitysvaiheissa korjattu sato.

Tutkimuksen tavoitteet saavutettiin ja optimaalisin korjuun ajankohta sadon laadun kannalta löydettiin. Korjuuajankohdasta päätettäessä on syytä pitää mielessä, mihin tarkoitukseen sato käytetään. Tämä tutkimus selvitti rehumaissin optimaalisinta korjuun ajankohtaa sadon rehukäytön kannalta. Optimaalisimmaksi korjuun ajankohdaksi sadon (määrän ja) laadun kannalta voidaan suositella maissikasvustoa, jonka tähkät ovat R5 -kehitysvaiheessa.

Kiitokset

Haluan kiittää Pirjo Mäkelää työni ohjauksesta. Haluan kiittää myös Seija Jaakkolaa tutkimusaineistoon liittyvässä avustamisessa sekä Leena Luukkaista ja Marjo Kilpistä, jotka auttoivat minua laboratorioanalyysien teossa. Erityiskiitosta ansaitsevat myös läheiseni, jotka kannustivat minua tämän projektin aikana.

Lähteet

- Abayomi, Y. A., Awokola, C. D. & Lawal, O. Z. 2012. Comparative evaluation of water deficit tolerance capacity of extra-early and early maize genotypes under controlled conditions. *Journal of Agricultural Science* 4: 54-71.
- Allison, J. C. S. & Daynard, T. B. 1979. Effect of change in time of flowering, induced by altering photoperiod or temperature, on attributes related to yield in maize. *Crop Science* 1: 1-4.
- Bal, M. A., Coors, J. G. & Shaver, R. D. 1997. Impact of the maturity of corn for use as silage in the diets of dairy cows on intake, digestion, and milk production. *Journal of Dairy Science* 80: 2497-2503.
- Bartuševičs, J. & Gaile, Z. 2011. Influence of warmth conditions characterizing parameters on yield and chemical composition of maize in Latvia. *Agricultural Sciences* 1: 18-23.
- Beale, C. V., Bint, D. A. & Long, S. P. 1996. Leaf photosynthesis in the C₄ -grass *Miscanthus x giganteus*, growing in the cool temperate climate of southern England. *Journal of Experimental Botany* 295: 267-273.
- Birch, C. J., Hammer, G. L. & Rickert, K. G. 1998. Temperature and photoperiod sensitivity of development in five cultivars of maize (*Zea mays* L.) from emergence to tassel initiation. *Field Crop Research* 55: 93-107.
- Boese, S. R., Wolfe, D. W. & Melkonian, J. J. 1997. Elevated CO₂ mitigates chilling-induced water stress and photosynthetic reduction during chilling. *Plant, Cell and Environment* 20: 625-632.
- Creencia, R. P. & Bramlage, W. J. 1971. Reversibility of chilling injury to corn seedlings. *Plant Physiology* 47: 389-392.
- Darby, H. M. & Lauer, J. G. 2002. Harvest date and hybrid influence on corn forage yield, quality and preservation. *Agronomy Journal* 94: 559-566.
- Denyer, K., Hylton, CM. & Smith, AM. 1994. The effect of high temperature on starch synthesis and activity of starch synthase. *Australian Journal of Plant Physiology* 6: 783-789.

- Di Marco, O.N., Aello, M.S., Nomdedeu, M. & Van Houtte, S. 2002. Effect of maize crop maturity on silage chemical composition and digestibility (*in vivo, in situ and in vitro*). *Animal Feed Science and Technology* 99: 37-43.
- Dwyer, S. A., Ghannoum, O. Nicotra, A. & Von Caemmerer, S. 2007. High temperature acclimation of C4 photosynthesis is linked to changes in photosynthetic biochemistry. *Plant, Cell and Environment*. 30: 53-66.
- Dwyer, L. M. & Stewart, D. W. 1986. Effect of leaf age and position on net photosynthetic rates in maize (*Zea mays* L.). *Agricultural and Forest Meteorology* 37: 29-46.
- Ehleringer, J. & Björkman, O. 1977. Quantum yields for CO₂ uptake in C3 and C4 plants. Dependence on temperature, CO₂, and O₂ concentration. *Plant Physiology* 59: 86-90.
- Emes, M. J., Bowsher, C. G., Hedley, C., Burrell, M. M., Scrase-Field, E. S. F. & Tetlow, I. J. 2003. Starch synthesis and carbon partitioning in developing endosperm. *Journal of Experimental Botany* 54: 569-575.
- Farrell, A. D. & Gilliland, T. J. 2011. Yield and quality of forage maize grown under marginal climatic conditions in Northern Ireland. *Grass and Forage Science* 66: 214-223.
- Ferro, R. A., Brichette, I., Evgenidis, G., Karamaligkas, Ch. & Moreno-González. 2005. Variability in European maize (*Zea mays* L.) landraces under high and low nitrogen inputs. *Genetic Resources and Crop Evolution* 54: 295-308.
- Friedel, K. 1990. Die Schätzung des energetischen Futterwertes von Grobfutter mit Hilfe einer Cellulasemethode. [The estimation of the energetic feeding value of roughages by means of a cellulase method]. *Wissenschaftliche Zeitung Universität Rostock, N-Reihe* 39: 78–86.
- Gaile, Z. 2012. Maize (*Zea mays* L.) response to sowing timing under agro-climatic conditions of Latvia. *Žemdirbystē Agriculture* 99: 31-40.
- Glowacka, A. 2011. Dominant weeds in maize (*Zea mays* L.) cultivation and their competitiveness under conditions of various methods of weed control. *Acta Agrobotanica* 64: 119-126.

- Gowik, U. & Westhoff, P. 2011. The path from C3 to C4 photosynthesis. *Plant Physiology* 155: 56-63.
- Guyader, J., Baron, V. S. & Beauchemin, K. A. 2018. Corn forage yield and quality for silage in short growing season areas of the Canadian prairies. *Agronomy* 8: 164.
- Hai-yan, Z., Shu-ting, D., Rong-qi, G. & Qing-quan, S. 2007. Starch accumulation and enzyme activities associated with starch synthesis in maize kernels. *Agricultural Sciences in China* 6: 808-815.
- Hanft, J. & Jones, R. 1986. Kernel abortion in maize. *Plant Physiology* 81: 511-515.
- Hansey, C. N., Lorenz, A. J. & de Leon, N. 2010. Cell wall composition and ruminant digestibility of various maize tissues across development. *BioEnergy Research* 3: 28-37.
- Hay, R. E., Earley, E. B. & De Turk, E. E. 1953. Concentration and translocation of nitrogen compounds in the corn plant (*Zea mays*) during grain development. *Plant Physiology* 28: 606-621.
- Hirel, B., Martin, A., Tercé-Laforgue, T., Gonzalez-Moro, M-B. & Estavillo, M. 2005. Physiology of maize I: a comprehensive and integrated view of nitrogen metabolism in a C4 plant. *Physiology Plantarum* 124: 167-177.
- Huhtanen, P., Nousiainen, J. & Rinne, M. 2006. Recent developments in forage evaluation with special reference to practical applications. *Agricultural and Food Science* 15: 293–323.
- Ilmatieteenlaitos. 2018. Kuukausitilastot. Suomen keskimääräinen lämpötila ja sademäärä kuukausittain. <https://ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>. Viitattu 5.2.2018, 15.1.2019, 23.1.2019.
- Keeling, P. L., Banisadr, R., Barone, L., Wasserman, B. P. & Singletary. 1994. Effect of temperature on enzymes in the pathway of starch biosynthesis in developing wheat and maize grain. *Australian Journal of Plant Physiology* 21: 807-827.
- Kingston-Smith, A. H., Harbinson, J., Williams, J. & Foyer, C. H. 1997. Effect of chilling on carbon assimilation, enzyme activation, and photosynthetic electron transport in the absence of photoinhibition in maize leaves. *Plant Physiology* 114: 1039-1046.

- Kiniry, J. R., Jones, C. A., O'Toole, J. C., Blanchet, R., Cabelguenne, M. & Spaniel, D. A. 1989. Radiation-use efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for five grain-crop species. *Field Crops Research* 20: 51-64.
- Kruse, S., Herrmann, A., Kornher, A. & Taube, F. 2008. Evaluation of genotype and environmental variation in fibre content of silage maize using a model-assisted approach. *European Journal of Agronomy* 28: 210-223.
- Kwabiah, A.B. 2005. Nutritive value of silage maize (*Zea mays L.*) seeded under plastic mulch in a short-season ecosystem. *Journal of New Seeds* 7: 83-109.
- Kwabiah, A.B., MacPherson, M. & McKenzie, D.B. 2003. Corn heat unit variability and potential of corn (*Zea mays L.*) production in a cool climate ecosystem. *Canadian Journal of Plant Science* 83: 689-698.
- Lauer, J. G., Roth, G. W. & Zarnstorff, M. 2014. Predicting corn grain yield using silage starch content and crop adjuster methods. *Agronomy Journal* 106: 2209-2214.
- Leipner J., Stamp P. 2009. Chilling Stress in Maize Seedlings. Teoksessa Bennetzen J.L., Hake S.C. (toim.) *Handbook of Maize: Its Biology*. Springer, New York, NY, s. 291-310.
- Lynch, J. P., O'Kiely, P. O. & Doyle, E. M. 2012. Yield, quality and ensilage characteristics of whole-crop maize and of the cob and stover components: harvest date and hybrid effects. *Grass and Forage Science* 67: 472-478.
- Martin, N. P., Mertens, D. R., Hall, M. B. & Lauer, J. G. 2008. Fiber digestibility and starch content of corn silage. *Idaho Alfalfa and Forage Conference (February 26-27, 2008, Idaho, USA)* 19-24.
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A., & Wilkinson, R.G. 2011. *Animal nutrition*. Pearson. s. 551.

- McMaster, G. S. & Wilhelm, W. W. 1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology* 87: 291-300.
- Meissle, M., Mouron, P., Musa, T., Bigler, F., Pons, X., Vasileiadis, V. P., Otto, S., Antichi, D., Kiss, J., Pálinkás, Z., Dorner, Z., van der Weide, R., Groten, J., Czembor, E., Adamczyk, J., Thibord, J.-B., Melander, B., Cordsen Nielsen, G., Poulsen, R. T., Zimmerman, O., Veschwele, A. & Oldeburg, E. 2009. Pest, pesticide use and alternative options in European maize production: status and future prospects. *Journal of Applied Entomology* 134: 357-375.
- Miedema, P. 1982. The effects of low temperature on *Zea mays* L. *Advances in Agronomy* 35: 92-128.
- Moran, J. B., Kaiser, A. & Stockdale, C. R. 1990. The role of maize silage in milk and meat production from grazing cattle in Australia. *Outlook on Agriculture* 19: 171-177.
- Muhammad, I., Kolla, M., Volker, R. & Günter, N. 2015. Impact of nutrient seed priming on germination, seedling development, nutritional status and grain yield of maize. *Journal of Plant Nutrition* 38: 1803-1821.
- Mussadiq, Z. 2012. Performance of forage maize at high latitudes, plant development, agronomy and nutritive value. *Väitöskirja. Swedish University of Agricultural Sciences* 54.
- Mussadiq, Z., Hetta, M., Swensson, C. & Gustavsson, A-M. 2011. Plant development, agronomic performance and nutritive value of forage maize depending on hybrid and marginal site conditions at high latitudes. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B –Soil and Plant Science* 62: 420-430.
- Nousiainen, J., Rinne, M., Hellämäki, M. & Huhtanen, P. 2003. Prediction of the digestibility of the primary growth of grass silages harvested at different stages of maturity from chemical composition and pepsin-cellulase solubility. *Animal Feed Science and Technology* 103: 97–111.

- O'Keeffe, K. 2009. Germination and emerge, vegetative growth, reproductive development, kernel development. Teoksessa *Maize growth & development*. Toim. Jan Edwards. 2009. *Procrop*. s. 17-22, 28-38, 42-45, 50-53.
- Page, E. R., Cerrudo, D., Westra, P., Loux, M., Smith, K., Foresman, C., Wright, H. & Swanton, C. J. 2012. Why early season weed control is important in maize. *Weed Science* 60: 423-430.
- Paigham, A. & Paigham, S. 2010. Timing and rate of nitrogen application influence grain quality and yield in maize planted at high and low densities. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 21-29.
- Peltonen-Sainio, P. Jauhiainen, L., Hakala, K. & Ojanen, H. 2009. Climate change and prolongation of growing season: changes in regional potential for field crop production in Finland. *Agricultural and Food Science* 18: 171-190.
- Pulli, S., Tigerstedt, P. M. A., Kara, O. & Brüninghaus, G. 1979. Adaptation of silage maize varieties under extreme northern growing conditions in Finland. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland - Maataloustieteen Aikakauskirja* 51: 197-209.
- Pulli, S., Poutiainen, E. & Syrjälä, L. 1976. Prospects of growing maize in Finland. *Animal Feed Science and Technology* 1: 187-193.
- Rahman, S. M. E., Islam, M. A., Rahman, M. M. & Oh, D-H. 2008. Effect of cattle slurry on growth, biomass yield and chemical composition of maize fodder. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 21: 1592-1598.
- Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, P.V., Jackson, R.B. 2011. *Campbell Biology*, s. 244-249.
- Saarinen, E., Virkajärvi, P., Hyrkäs, M., Suomela, R., Niskanen, M., Salo, K. & Huuskonen, A. 2012. Maissin soveltuvuus rehukasviksi Keski-Suomessa. Teoksessa *MTT raportti 77*. Toim. Arto Huuskonen. Nautatilojen rehukasvivalikoima laajemmaksi. www.mtt.fi. MTT Jokioinen. s. 40-51.
- Sayre, J. D. 1948. Mineral accumulation in corn. *Plant Physiology* 23: 267-281.

- Schneider, D. N., Freitag, N. M., Liedgens, M., Feil, B., Stamp, P. 2011. Early growth of field-grown swiss flint maize landraces. *Maydica* 56: 33-41.
- Swan, D., Brown, D. M. & Coligado, M. C. 1981. Leaf emergence rates of corn (*Zea mays* L.) as affected by temperature and photoperiod. *Agricultural Meteorology* 24: 57-73.
- Tollenaar ym. 1989. Response of dry matter accumulation in maize to temperature: I. Dry matter partitioning. *Crop Science* 29: 1239-1246.
- Tollenaar, M. 1989. Response of dry matter accumulation in maize to temperature: II. Leaf photosynthesis. *Crop Science* 29: 1275-1279.
- Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta. Asetus no 11 (18.12.2014/1250). Annettu 16.4.2015. Finlex® sähköinen säädöstietopankki: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20141250>. Viitattu 28.2.2019.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583 – 3597.
- Vietor, D. M. & Musgrave, R. B. 1979. Photosynthetic selection of *Zea mays* L.. II The relationship between CO₂ exchange and dry matter accumulation of canopies of two hybrids. *Crop Science* 19: 70-75.
- Walker, J. M. 1969. One-degree increments in soil temperatures affect maize seedling behavior. *Soil Science Society of America Journal* 33: 729-736.
- White, R. P. 1978. Cultural practices affecting maturity and yield of corn (*Zea mays*) for whole-plant silage in short-season areas. *Canadian Journal of Plant Science* 58: 629-642.
- Wijewardana, C., Hock, M., Henry, B. & Reddy, K. 2015. Screening corn hybrids for cold tolerance using morphological traits for early-season seeding. *Crop Science* 55: 851 - 867.

Wiersma, D. W., Carter, P. R., Albrecht, K. A. & Coors, J. G. 1993. Kernel milkline stage and corn forage yield, quality and dry matter content. *Journal of Prod. Agric.* 6, 1: 94 - 99.

Liitteet

Liite 1. Tutkimuksen esinäytteiden primaarisia kuiva-ainepitoisuuksia. Esinäytteiden avulla päätettiin ensimmäisen sadonkorjuun ajoituksesta.

NÄYTE	JAKSO	AIKA	PRIM. KA
			%
Maissin tähkä, Pioneer kalvolla	esinäyte	31.8.2017	12,45
Maissi koko kasvi, Pioneer kalvolla, ilman tähkää		31.8.2017	19,23
Maissin tähkä, Pioneer ilman kalvoa		31.8.2017	10,51
Maissi koko kasvi, Pioneer ilman kalvoa, ilman tähkää		31.8.2017	18,87
Maissin tähkä, Ambient		31.8.2017	11,21
Maissi koko kasvi, Ambient, ilman tähkää		31.8.2017	19,17