

Kehitysvaiheen ja säilöntäaineiden vaikutus maissisäilörehun laatuun

Marcia Franco¹, Tomasz Stefański¹, Taina Jalava¹, Kaisa Kuoppala¹, Tuomo Kokkonen² ja Marketta Rinne¹

¹Luonnonvarakeskus, Eläinravitseminen, 31600 Jokioinen,

²Helsingin yliopisto, Maataloustieteiden laitos, 00017 Helsingin yliopisto

e-mail: marketta.rinne@luke.fi

Maailmanlaajuisesti maissi on tärkein säilörehukasvi, joka hyvissä olosuhteissa tuottaa suuren ja energiapitoisen sadon, jolla on hyvä maidontuotantovaikutus. Maissi on myös nurmikasveja helpompi säilöttävä tyypillisesti korkeahkon kuiva-ainepitoisuuden ja matalan puskurikapasiteetin vuoksi. Maissin viljely on siirtynyt pikkuhiljaa pohjoisemmaksi aikaisten lajikkeiden jalostamisen ja ilmastonmuutoksen myötä ja Suomessakin sitä jo viljellään. Tässä kokeessa tutkittiin maissin kehitysvaiheen ja säilöntäainekäsittelyiden vaikutusta säilörehun laatuun. Maissi kasvatettiin Helsingissä Viikin opetus- ja tutkimustilalla ja lajikkeena oli Pioneer P7326 (FAO-luku 180). Koe toistettiin vuosina 2019 ja 2020 vuosittaisen vaihtelun selvittämiseksi. Maissit kylvettiin 17.5.2019 ja 26.5.2020. Maissi korjattiin kahdella eri kehitysvaiheella kolmen viikon välein niin että aikaisempi korjuuaika antaa viitteitä tilanteesta, jossa kasvukauden pituus rajoittaa maissin kehitystä. Korjuukerrat ajoituivat syyskuun lopulle ja lokakuun puoliväliin. Kasvuajat päivinä olivat ensimmäisenä vuonna 123 ja 144, ja toisena vuonna 119 ja 141. Säilöntäaineina käytettiin neljää eri kemiallista valmistetta ja lisäksi mukana oli kontrolli ilman säilöntäainetta. Jälkimmäisenä vuonna mukaan säilöntäainevertailuun otettiin myös heterofermentatiivinen maitohappobakteeriympä (LAB). Säilöntä tehtiin 12 litran muovisiin koesiiloihin 4 kerranteena käsittelyä kohti. Näytteet analysoitiin Luken laboratorion standardimenetelmin. Maissisäilörehuissa vuosien välillä oli selvä ero. Maissin kehitystasesta kertova kuiva-ainepitoisuus oli vuonna 2019 korkeampi (281 ja 360 g kg⁻¹) kuin vuonna 2020 (230 ja 264 g kg⁻¹). Tämä näkyi myös käymislaadussa siten että pH oli keskimäärin korkeampi vuonna 2019 kuin 2020 (3.79 vs. 3.70) ja etikkahappopitoisuus puolestaan pienempi (14.8 vs. 20.7 g kg⁻¹ kuiva-ainetta). Myös kehitysvaihe vaikutti käymislaatuun siten että pH (3.71 vs. 3.78) ja ammoniumtypen osuus kokonaistypestä (42 vs. 52 g kg⁻¹ N) olivat pienempiä aikaisemmalla kehitystasella korjatuissa säilörehuissa ja käymishappojen muodostuminen suurempaa (80 vs. 67 g kg⁻¹ ka). Kemialliset säilöntäaineet laskivat pH:ta (3.80 vs. 3.73), vähensivät valkuaisen hajoamista (ammoniumtypen osuus 65 vs. 43 g kg⁻¹ N) ja rajoittivat käymishappojen muodostumista (83 vs. 71 g kg⁻¹ ka). Säilöntähappojen käyttö myös pidentäsi rehujen aerobista stabiilisuutta (75 vs. 202 tuntia). Ainoa tilastollisesti merkitsevä vaikutus LAB:in käytöstä kontrolliin verrattuna oli myöhäisemmällä kasvusteella korjatun säilörehun etanolipitoisuuden pieneneminen. Ilman säilöntäainetta tehtyjen maissisäilörehujen laatu oli kaikissa neljässä raaka-aineessa hyvä, mutta kemialliset säilöntäaineet rajoittivat käymistä ja hidastivat säilörehujen jälkilämpenemistä.

Avainsanat: aerobinen stabiilisuus, korjuuaika, käymislaatu, *Zea mays*

Johdanto

Maailmanlaajuisesti maissi (*Zea mays* L.) on tärkein säilörehukasvi (Wilkinson ja Rinne 2018), joka hyvissä olosuhteissa tuottaa suuren ja energiapitoisen sadon. Maissin viljely on siirtynyt pikkuhiljaa pohjoisemmaksi aikaisten lajikkeiden jalostamisen ja ilmastonmuutoksen myötä ja Suomessakin sitä jo viljellään. Maissilla on useita etuja kuten suuri hehtaarisato kertakorjuulla, yksivuotisena kasvina maissiala sopii hyvin lannan kevätleivitykseen ja se soveltuu hyvin seosrehuruokintaan täydentämään nurmisäilörehua ja parantamaan typen hyväksikäyttöä (Sairanen ja Kajava 2020, Kokkonen ym. 2022). Riippuen mm. nurmisäilörehun laadusta, jota ruokinnassa maissisäilörehulla on korvattu, lehmien maidontuotanto on pysynyt ennallaan (Sairanen ja Kajava 2020) tai parantunut (Kokkonen ym. 2022), kun maissisäilörehua on lisätty lehmien ruokintaan.

Maissi on pääsääntöisesti nurmikasveja helpompi säilöttävä korkean kuiva-aineen (ka) pitoisuuden ja matalan puskurikapasiteetin vuoksi (McDonald ym. 1991). Maissi ei kuitenkaan luontaisesti sovi Suomen sääolosuhteisiin eli kasvukausi on lyhyt ja sen alussa ja lopussa voi olla hyvin matalia lämpötiloja, joille maissi on herkkä. Vaihtelevien sääolojen takia maissisäilörehun raaka-aineen vuosien välinen vaihtelu onkin Suomen olosuhteissa suurta ja myös kasvupaikka Suomessa vaikuttaa eli mitä pohjoisempaan mennään, sitä todennäköisemmin maissin kehitys jää kesken (Liimatainen ym. 2022). Maissia pidetään lyhyen päivän kasvina tai päivänpituuden suhteen neutraalina. Suomessa kehitys usein näyttää kiihtyvän loppukesällä päivien alkaessa lyhetä. Haastavat pohjoiset kasvuolosuhteemme voivat aiheuttaa sen, että maissisäilörehun raaka-aineen koostumus ei vastaa odotuksia, jolloin myös säilöntään voi tulla haasteita.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli kerätä lisätietoa Suomessa tuotetun maissiraaka-aineen vaikutuksista säilörehun säilöntään. Maissisäilörehun päätuotantoalueilla säilönnässä ei käytetä orgaanisia happoja sisältäviä säilöntäaineita, mutta koska maissin kehitys Suomessa voi olosuhteiden takia jäädä kesken ja säilöttävyys sen takia olla odotuksia huonompi, kartoitimme erilaisten kemiallisten säilöntäaineiden vaikutusta maissisäilörehun säilöntätuloksiin. Lisäksi Suomessa on vahva kemiallisten säilöntäaineiden käyttöperinne ja korkeat tavoitteet rehun laadulle. Toisena vuonna yhdeksi säilöntäainevaihtoehdoksi otettiin myös heterofermentatiivinen maitohappobakteeriympä, joka on globaalisti laajasti käytetty maissin säilöntäaine.

Aineisto ja menetelmät

Maissi kasvatettiin Helsingin yliopiston Viikin opetus- ja tutkimustilalla (60°13' N, 24°02' E, 8 metriä merenpinnan yläpuolella) ja lajikkeena oli Pioneer P7326 (FAO-luku 180). Koe toistettiin vuosina 2019 ja 2020 vuosittaisen vaihtelun selvittämiseksi. Maissit kylvettiin 9.5.2019 ja 26.5.2020 muovikalvon alle ja lannoituksena käytettiin 150 kg N ha⁻¹ mineraalilannoitteenä. Maissi korjattiin kahdella eri kehitysvaiheella kolmen viikon välein niin että aikaisempi korjuu aika antaa viitteitä tilanteesta, jossa kasvukauden pituus rajoittaa maissin kehitystä. Korjuukerrat ajoittuivat syyskuun lopulle ja lokakuun puoliväliin. Kasvuajat päivinä olivat ensimmäisenä vuonna 123 ja 144, ja toisena vuonna 119 ja 141.

Säilöntäkoetta varten maissi korjattiin koeruuduilta silppurilla (JF FH 1300, Kongskilde Agriculture, Albertslund, Tanska) noin 15 cm sänkeen. Ruutusato määritettiin punnitsemalla sato 15 m² alalta (ks. Liimatainen ym. 2022). Silputtu maissi säilöttiin välittömästi 12 litran muovisiin koesiiloihin 4 kerranteena käsittelyä kohti. Säilöntäaine sekoitettiin erikseen jokaista kerrannetta kohti käsin huolellisesti sekoittaen. Siilot täytettiin käsin ja painotettiin huolellisesti pudottaen 8 kg painava lyijypainoa 10 kertaa aina muutaman rehukourallisen jälkeen. Säilöntäaineina käytettiin neljää eri kemiallista valmistetta ja lisäksi mukana oli kontrolli ilman säilöntäainetta. Jälkimmäisenä vuonna mukaan säilöntäainevaihteluun otettiin myös heterofermentatiivinen maitohappobakteeriympä. Säilöntäainekäsittelyt on esitetty Taulukossa 1. Täyttämisen jälkeen siilot suljettiin ja kuljetettiin Luke Jokioisille, jossa ne säilytettiin huoneenlämmössä valolta suojattuna. Siilot avattiin 3 kk kuluttua säilönnästä. Näytteet analysoidtiin Luken laboratorion standardimenetelmin (Rinne ym. 2020). Fermentaatiokerroin määritettiin näytteiden ka- ja sokeripitoisuuksien sekä puskurikapasiteetin perusteella (Pahlow ym. 2001).

Tulokset analysoidtiin tilastollisesti käyttäen SAS Mixed -proseduuria, jossa kiinteinä tekijöinä olivat korjuu aika ja säilöntäainekäsittely ja satunnaistekijänä kerranne. Vuodet analysoidtiin erillisinä kokeina mm. sen takia, että jälkimmäisenä vuonna kokeeseen lisättiin yksi säilöntäaine. Käsittelyiden väliset parivertailut tehtiin käyttäen Tukeyn testiä. Myös vuosien vaikutus testattiin kontrollin ja kemiallisten säilöntäaineiden osalta ja tuloksia on esitetty tekstissä.

Taulukko 1. Maissisäilörehujen säilönnässä käytetyt säilöntäainekäsittelyt

Käsittely	Valmiste (valmistaja)	Käyttömäärä	Vaikuttavat aineet
Kontrolli	Hanavesi	10 l t ⁻¹	--
K1	AIV Ässä Na (Eastman, Oulu)	4 l t ⁻¹ (+ 6 l t ⁻¹ vettä)	Muurahaishappo, propionihappo, kaliumsorbaatti, natriumformiaatti
K2	AIV 2000 Plus Na (Eastman, Oulu)	4 l t ⁻¹ (+ 6 l t ⁻¹ vettä)	Muurahaishappo, natriumformiaatti, propionihappo, natriumbentsoaatti
K3	GrasAAT (Addcon, Bitterfeld-Wolfen, Saksa)	4 l t ⁻¹ (+ 6 l t ⁻¹ vettä)	Muurahaishappo, natrium-formiaatti, propionihappo, sorbiinihappo
K4	Kofasil Stabil (Addcon, Bitterfeld-Wolfen, Saksa)	2 l t ⁻¹ (+ 8 l t ⁻¹ vettä)	Natriumbentsoaatti, kaliumsorbaatti
LAB*	Feedtech Silage F600, DeLaval, Tumba, Sweden	1 g t ⁻¹ sekoitettuna 10 l t ⁻¹ vettä	<i>Lactobacillus buchneri</i> (DSM 13573, 1k20733; min. 1×10 ¹¹ psy g ⁻¹), <i>Lactobacillus plantarum</i> (DSM 3676, 1k20731; min. 0.5×10 ¹¹ psy g ⁻¹) ja <i>Lactobacillus plantarum</i> (DSM 3677, 1k20732; min. 0.5×10 ¹¹ psy g ⁻¹)

*LAB-käsittely oli mukana vain vuonna 2020

Tulokset ja niiden tarkastelu

Maissisäilörehujen raaka-aineiden koostumuksessa oli vuosien välillä selvä ero (Taulukko 2). Maissin kehitysasteesta kertova ka-pitoisuus oli vuonna 2019 korkeampi kuin vuonna 2020 (320 vs. 247 g kg⁻¹). Kansainvälisesti maissin tavoite-ka-pitoisuutena pidetään 300 – 350 g kg⁻¹ (Khan ym. 2015), joten erityisesti v. 2020 maissit olivat tavoitetta selvästi kosteampia.

Koeruuduilta mitatut hehtaarisadot olivat erittäin korkeita ja antavat epärealistisen kuvan maissin sadontuotto-kyvystä maatilamittakaavassa. Realistisempia satomääriä on mitattu ruokintakokeita varten korjatuissa maissikasvustoissa. Maaningalla vuonna 2018 maissisäilörehun hehtaarisato oli 11 200 kg ka (Sairanen ja Kajava 2020) ja vastaavasti Viikissä vuonna 2020 tehty maissi reilun 4 hehtaarin alalta tuotti keskimäärin 10 600 kg ka ha⁻¹. Ruutumittausten keskinäinen vertailtavuus on kuitenkin mielekäs ja yhdenmukainen laatutulosten osalta siten, että v. 2019 jo aikaisemmalla korjuukerralla maissi oli saavuttanut maksimisatonsa, kun taas vuonna 2020 niin ka-sadon kuin koostumuksen kehitys jatkui ensimmäisen korjuun jälkeen.

Kuiva-ainepitoisuuden lisäksi toinen tärkeä maissin kehitysastetta kuvaava koostumustieto on tärkkelyspitoisuus, joka tämän kokeen aineistossa oli kohtuullisen korkea kaikissa näytteissä, mutta silti pienempi kuin kansainvälisesti yleisesti saavutetaan. Khanin ym. (2015) kokoamassa aineistossa 176 maissisäilörehun tärkkelyspitoisuuden keskiarvo oli 333 g kg⁻¹ ka ja vastaavasti kuiva-ainepitoisuuden keskiarvo 338 g kg⁻¹. Vuonna 2019 tärkkelyspitoisuus oli saavuttanut maksimin jo ensimmäisen korjuun aikaan, mutta v. 2020 tärkkelyspitoisuus lisääntyi selvästi kolmen viimeisen kasvuviikon aikana ja jäi hieman matalammaksi kuin v. 2019 taso, mikä on linjassa kasvuston matalamman ka-pitoisuuden kanssa.

Suomessa on toisinaan mitattu varsin matalia tärkkelyspitoisuuksia rehumaissikasvustoissa, mikä liittyy kasvukauden epäsuotuisiin sääoloihin maissin tarpeisiin nähden. Varhaisessa maissisäilörehututkimuksessa Suomen oloissa (Setälä ym. 1979) maissin ka-pitoisuus oli 209 g kg⁻¹, mutta tärkkelyspitoisuutta tässä tutkimuksessa ei raportoitu. Rinne ym. (2014) määrittivät 9 eri maissilajikkeen koostumuksen ja niissä kasvustojen ka-pitoisuus oli vain 162 g kg⁻¹ ja tärkkelyspitoisuus 92 g kg⁻¹ ka. Tukeva-hankkeen ruutukokeissa Maaningalla maissisäilörehujen ka-pitoisuudet vuosina 2019 ja 2020 olivat 199 ja 226 g kg⁻¹ ja vastaavat tärkkelyspitoisuudet 24 ja 98 g kg⁻¹ ka eli selvästi matalampia kuin Viikin tulokset (Liimatainen ym. 2022), jotka edustavat myös tässä kokeessa käytettyjä maissisäilörehun raaka-aineita.

Säilörehun käymislaadun kannalta mikään raaka-aineista ei osoittautunut erityisen haastavaksi. Kuiva-ainepitoisuus oli matalimmillaan 230 g kg⁻¹, mutta tässä jälkimmäisen vuoden aikaisemmassa korjuussa sokeripitoisuus oli poikkeuksellisen korkea, joten fermentaatiokerroin oli siinä kaikista raaka-aineista korkein. Kaikkien raaka-aineiden fermentaatiokerroin oli yli 45 eli ne luokittuivat helposti säilöittäviksi.

Säilörehujen säilöntätulokset vuodelta 2019 on esitetty Taulukossa 3 ja vuodelta 2020 Taulukossa 4. Raaka-aineiden ero ka-pitoisuudessa näkyi maissisäilörehujen käymislaadussa siten, että pH oli keskimäärin korkeampi vuonna 2019 kuin 2020 (3.79 vs. 3.70) ja etikkahappopitoisuus puolestaan pienempi (14.8 vs. 20.7 g kg⁻¹ ka).

Korjuuaika vaikutti tilastollisesti merkittävästi lähes kaikkiin säilörehuista mitattuihin ominaisuuksiin molempina vuosina. Rehujen pH (3.71 vs. 3.78) ja ammoniumtyypen osuus kokonaistypestä (42 vs. 52 g kg⁻¹ N) olivat pienempiä aikaisemmalla kehitysasteella korjatuissa säilörehuissa ja käymishappojen muodostuminen suurempaa (80 vs. 67 g kg⁻¹ ka). Aikaisen ja myöhäisen korjuukerran välinen ero rehujen laadussa oli vuonna 2020 suurempi kuin vuonna 2019. Vuonna 2019 maissikasvuston ka-pitoisuus lisääntyi korjuuta myöhästettäessä, mutta tärkkelyspitoisuus ei, kun taas vuonna 2020 tärkkelyspitoisuus lisääntyi selvemmin kuin ka-pitoisuus. Sekä maissikasvuston ka-pitoisuus että tärkkelyspitoisuus kertovat kasvuston kehitysvaiheesta korjuuhetkellä. Ka-pitoisuuteen vaikuttavat lisäksi sääolosuhteet.

Kemialliset säilöntäaineet laskivat pH:ta (3.80 vs. 3.73), vähensivät valkuaisen hajoamista (ammoniumtyypen osuus 65 vs. 43 g kg⁻¹ N) ja rajoittivat käymishappojen muodostumista kontrolliin verrattuna (83 vs. 71 g kg⁻¹ ka). Kemiallisilla säilöntäaineilla K4 poislukien pystyttiin vähentämään säilörehujen etikkahappopitoisuutta kontrolliin verrattuna aikaisessa korjuussa v. 2019 ja myöhäisessä korjuussa 2020. Säilöntähappojen käyttö myös pidensi rehujen aerobista stabiilisuutta (75 vs. 202 tuntia). Kemiallisten säilöntäaineiden teho käymisen, valkuaisen hajoamisen ja jälkilämpenemisen rajoittajana on havaittu useissa tutkimuksissa (Seppälä ym. 2016, Franco ym. 2022).

Taulukko 2. Maissisäilörehujen raaka-aineiden koostumus

	2019		2020	
	Aikainen	Myöhäinen	Aikainen	Myöhäinen
Korjuupäivä	17.9.	8.10.	22.9.	14.10.
Kuiva-ainesato, kg ha ⁻¹	18560	17857	16988	18752
Kuiva-aine (ka), g kg ⁻¹	281	360	230	264
Puskurikapasiteetti, g maitohappoa 100 g ⁻¹	1.56	1.70	1.82	1.36
Fermentaatiokerroin	54.8	56.0	91.8	59.7
Kuiva-aineessa, g kg ⁻¹				
Tuhka	41	46	54	57
Raakavalkuainen	75	79	66	61
Tärkkelys	283	268	179	246
Sokerit	52	43	157	57
Kuitu (NDF)	395	434	451	478
Liukoinen typpi, g kg ⁻¹ N	37	51	61	41
Sellulaasiliukoisuus	0.731	0.718	0.694	0.685
D-arvo, g kg ⁻¹ ka	701	685	657	646
Mikrobien määrä, pmy g ⁻¹				
Bakteerien kokonaismäärä	3.5 × 10 ⁷	3.1 × 10 ⁸	6.2 × 10 ⁷	6.9 × 10 ⁷
Hiivat	2.5 × 10 ⁶	2.4 × 10 ⁷	1.7 × 10 ⁶	5.1 × 10 ⁶
Homeet	5.0 × 10 ⁶	2.3 × 10 ⁶	6.3 × 10 ⁵	6.1 × 10 ⁵

Kemiallisten säilöntäaineiden koostumuksissa ja tehoaineiden määrissä rehutonnia kohti oli selkeitä eroja, jotka heijastuivat myös rehujen laatuun. Runsaasti muurahaishappoa sisältäneet säilöntäaineet K1 ja K2 rajoittivat selkeämmin käymistä kuin K3 ja K4, mutta niillä säilötyt rehut sisälsivät enemmän etanolia kuin kontrolli ja K3- ja K4-rehut. Ainoa tilastollisesti merkitsevä vaikutus LAB:in käytöstä kontrolliin verrattuna oli myöhäisemmällä kasvuasteella korjatun säilörehun etanolipitoisuuden pieneneminen. Vaikka käytössä oli heterofermentatiivinen LAB-kanta, jonka pitäisi tuottaa etikkahappoa, pitoisuuden nousua ei tässä kokeessa havaittu. LAB oli käytössä vain jälkimmäisenä tutkimusvuonna 2020.

Säilörehujen aerobinen stabiilisuus on maailmanlaajuisesti merkittävä maissisäilörehun laatuongelma, mutta ongelman käytännön laajuudesta Suomessa ei ole tarkkaa tietoa. Tässä tutkimuksessa aerobinen stabiilisuus määritettiin laboratorio-olosuhteissa siten, että koesiilojen avaamisen jälkeen säilörehua laitettiin löyhästi 1 litran ve-toiseen styroxlaatikkoon ja rehun lämpötilan nousua seurattiin lämpötila-anturilla. Kun rehun lämpötila nousi 2 C-astetta ympäröivää huoneilmaa korkeammaksi, aerobisen stabiilisuuden katsottiin päättyneen. Aerobinen stabiilisuus on siis sitä parempi, mitä pidempi aika on.

Kuvaan 1 on koottu kaikkien koekäsittelyiden aerobiset stabiilisuudet. Vuonna 2019 muurahaishappopohjaiset säilöntäaineet K1 ja K2 paransivat aerobista stabiilisuutta muihin säilöntäaineisiin verrattuna, mutta vuonna 2020 erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

Kaikkien tässä tutkimuksessa käytettyjen raaka-aineen ja säilöntäaineen yhdistelmien voi sanoa tuottaneen säilönnälliseltä laadultaan hyvää rehua ja myös aikaisemmissa kotimaisissa säilöntäkokeissa (Setälä ym. 1979, Partti 2019, Salakka 2019) maissisäilörehu on säilynyt hyvin. Maissin säilöntä käytännön maataloilla on myös onnistunut pääsääntöisesti hyvin ja mm. kesän 2021 Artturi-analyyseiden perusteella maissisäilörehut ovat olleet laadultaan hyviä (näytteiden lukumäärä 74, ka-pitoisuus 262 g kg⁻¹, pH 3.78, ammoniakityypen osuus kokonaistypestä 34 g kg⁻¹ ja tärkkelys 141 g kg⁻¹ ka; Valio Oy, Artturi-tiimi).

Taulukko 3. Korjuuajan ja säilöntäainekäsittelyiden vaikutus maissisäilörehun säilöntätuloksiin vuonna 2019 (säilöntäainekäsittelyt on selitetty Taulukossa 1)

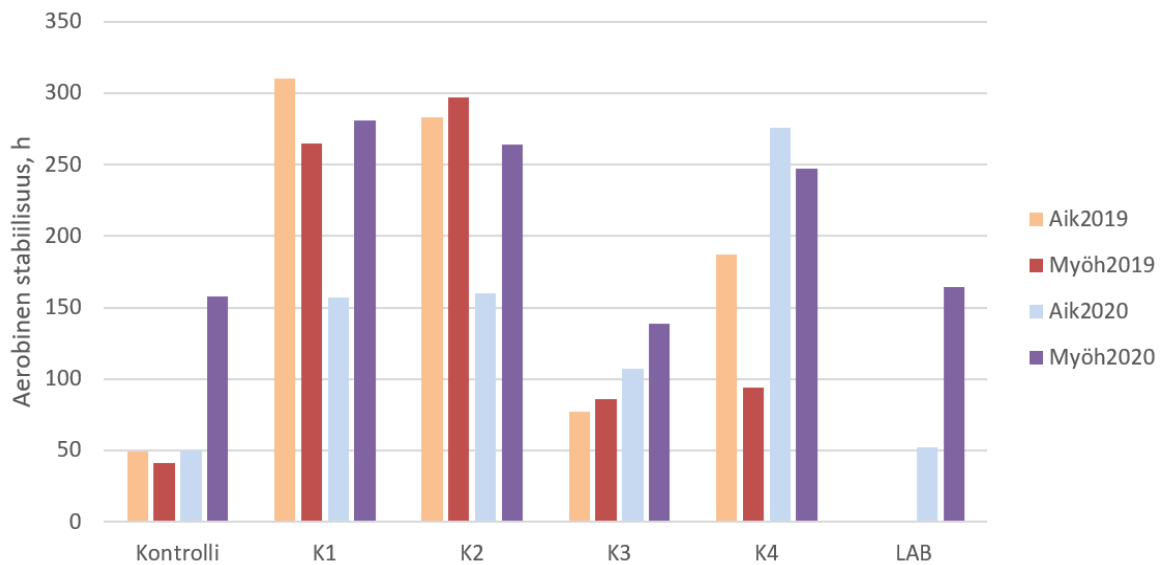
	Aikainen korjuu					Myöhäinen korjuu					SEM	P-arvo korjuu
	Kontrolli	K1	K2	K3	K4	Kontrolli	K1	K2	K3	K4		
Kuiva-aine, g kg ⁻¹	255 ^b	255 ^b	249 ^b	263 ^b	258 ^b	317 ^a	311 ^a	313 ^a	307 ^a	313 ^a	3.4	<0.01
Tiheys, kg tuoretta (m ³) ⁻¹	904 ^{abc}	932 ^a	926 ^{ab}	920 ^{ab}	949 ^a	753 ^d	821 ^{bcd}	818 ^{bcd}	807 ^{cd}	784 ^d	22.8	<0.01
pH	3.78 ^{cd}	3.69 ^e	3.75 ^d	3.80 ^{bc}	3.79 ^{bcd}	3.91 ^a	3.77 ^{cd}	3.78 ^{cd}	3.84 ^b	3.84 ^b	0.010	<0.01
Ammonium-N, g kg ⁻¹ N	67 ^a	20 ^f	22 ^f	48 ^d	54 ^{cd}	66 ^a	36 ^e	37 ^e	57 ^{bc}	63 ^{ab}	1.6	<0.01
Kuiva-aineessa, g kg ⁻¹												
Tuhka	44 ^{abc}	47 ^{ab}	48 ^a	45 ^{abc}	46 ^{abc}	42 ^{bc}	43 ^{abc}	44 ^{abc}	42 ^{bc}	41 ^c	1.1	<0.01
Raakavalkuainen	80 ^{abc}	80 ^{ab}	81 ^a	77 ^{abcd}	80 ^{abc}	74 ^{bcd}	74 ^{cd}	76 ^{abcd}	73 ^d	72 ^d	1.3	<0.01
Sokerit	25 ^c	22 ^c	16 ^d	35 ^{ab}	25 ^c	34 ^{ab}	15 ^d	13 ^d	37 ^a	31 ^b	1.0	0.09
Etanoli	5.7 ^{de}	18.5 ^{ab}	22.6 ^a	5.1 ^e	3.9 ^e	6.2 ^{cde}	12.2 ^{bcd}	12.7 ^{bc}	3.5 ^e	4.5 ^e	1.39	<0.01
Muurahaishappo		10.0	9.8				7.9	8.6			0.18	--
Maitohappo	70.7 ^a	43.9 ^d	45.5 ^d	65.6 ^{ab}	67.4 ^a	54.4 ^c	39.5 ^d	42.2 ^d	59.2 ^{bc}	58.5 ^c	1.37	<0.01
Etikkahappo	20.2 ^a	16.6 ^b	15.0 ^b	17.2 ^b	21.0 ^a	10.8 ^c	12.7 ^c	11.9 ^c	11.2 ^c	11.3 ^c	0.47	<0.01
Propionihappo	0.21 ^f	1.53 ^c	0.86 ^{de}	6.49 ^a	0.31 ^f	0.11 ^f	1.03 ^d	0.50 ^{ef}	4.56 ^b	0.12 ^f	0.101	<0.01
Propionihappo, korj.*	0.21 ^b	0 ^b	0 ^b	1.49 ^a	0.31 ^b	0.11 ^b	0 ^b	0 ^b	0.26 ^b	0.12 ^b	0.092	<0.01
Voihappo	0.01 ^{ab}	0.01 ^{ab}	0 ^b	0 ^b	0.02 ^{ab}	0.03 ^{ab}	0.03 ^{ab}	0.01 ^{ab}	0.05 ^a	0.02 ^{ab}	0.009	<0.01
Haihtuvat rasvahapot yhteensä*	20.4 ^{ab}	15.2 ^c	14.4 ^c	18.7 ^b	21.4 ^a	10.9 ^d	11.4 ^d	11.2 ^d	11.5 ^d	11.5 ^d	0.52	<0.01
Käymishapot yhteensä*	91.1 ^a	59.1 ^{cd}	59.8 ^{cd}	84.3 ^a	88.8 ^a	65.3 ^{bc}	50.9 ^e	53.4 ^{de}	70.7 ^b	69.9 ^b	1.65	<0.01
Käymistuotteet yhteensä*	96.8 ^a	77.6 ^{cd}	82.5 ^{bc}	89.4 ^{ab}	92.7 ^a	71.5 ^{def}	63.1 ^f	66.0 ^{ef}	74.1 ^{cde}	74.4 ^{cde}	2.08	<0.01
Maito- ja etikkahapon suhde	3.5 ^{bc}	2.6 ^d	3.0 ^{cd}	3.8 ^b	3.2 ^{bcd}	5.0 ^a	3.1 ^{cd}	3.6 ^{bc}	5.3 ^a	5.2 ^a	0.14	<0.01
Aerobinen stabiilisuus (2 °C), h	49 ^c	310 ^a	283 ^a	77 ^{bc}	187 ^{ab}	41 ^c	265 ^a	297 ^a	86 ^{bc}	94 ^{bc}	27.4	0.17
Käymistappiot, g kg ⁻¹	9.2 ^b	11.6 ^{ab}	13.3 ^{ab}	29.8 ^a	9.3 ^b	9.8 ^b	10.2 ^b	10.8 ^{ab}	7.7 ^b	8.4 ^b	4.02	0.04
Homeisuus	1.19	1.50	0.94	1.00	0.94	1.06	0.88	0.94	1.25	0.94	0.244	0.52
Kokonaisbakteerit, pmy g ⁻¹	8.4×10 ^{5b}	1.8×10 ^{5b}	1.3×10 ^{6b}	1.6×10 ^{6ab}	1.0×10 ^{6b}	9.3×10 ^{6a}	8.7×10 ^{4b}	2.5×10 ^{5b}	4.3×10 ^{6ab}	2.0×10 ^{6ab}	1.6×10 ⁶	0.04
Hiivat, pmy g ⁻¹	3.6×10 ^{3ab}	3.9×10 ^{2ab}	1.6×10 ^{2b}	6.6×10 ^{2ab}	1.5×10 ^{4a}	6.8×10 ^{3ab}	1.0×10 ^{2b}	5.9×10 ^{3ab}	1.6×10 ^{3ab}	5.6×10 ^{2ab}	3.0×10 ³	0.63
Homeet, pmy g ⁻¹	2.7×10 ³	5.0×10 ²	1.9×10 ³	6.6×10 ²	3.1×10 ³	2.6×10 ³	3.3×10 ³	2.5×10 ²	1.8×10 ⁴	1.7×10 ⁴	7.6×10 ³	0.20

*Korjattu vähentäen analysoidusta pitoisuudesta 80% säilöntäaineen mukana lisätystä propionihapon määrästä. Käsittelykeskiarvot, joilla ei ole yhteistä kirjainyläindeksiä, eroavat toisistaan Tukeyn testin perustella (P<0.05).

Taulukko 4. Korjuajan ja säilöntäainekäsittelyiden vaikutus maissisäilörehun säilöntätuloksiin vuonna 2020 (säilöntäainekäsittelyt on selitetty Taulukossa 1)

	Aikainen korjuu						Myöhäinen korjuu						SEM	P-arvo korjuu
	Kontrolli	K1	K2	K3	K4	LAB	Kontrolli	K1	K2	K3	K4	LAB		
Kuiva-aine, g kg ⁻¹	226 ^b	232 ^b	226 ^b	222 ^b	226 ^b	221 ^b	260 ^a	265 ^a	264 ^a	265 ^a	264 ^a	262 ^a	2.6	<0.01
Tiheys, kg tuoretta (m ³) ⁻¹	805 ^a	801 ^a	819 ^a	812 ^a	812 ^a	806 ^a	697 ^b	690 ^b	697 ^b	677 ^b	696 ^b	678 ^b	19.1	<0.01
pH	3.75 ^{abc}	3.66 ^{bcd}	3.59 ^d	3.67 ^{bcd}	3.67 ^{bcd}	3.64 ^{bcd}	3.78 ^{ab}	3.62 ^{cd}	3.69 ^{bcd}	3.77 ^{abc}	3.77 ^{abc}	3.87 ^a	0.031	<0.01
Ammonium-N, g kg ⁻¹ N	61 ^{bcd}	20 ^f	19 ^f	53 ^d	58 ^{cd}	63 ^{bc}	68 ^{ab}	31 ^e	36 ^e	66 ^{ab}	62 ^{bc}	72 ^a	1.7	<0.01
Kuiva-aineessa, g kg ⁻¹														
Tuhka	54 ^c	54 ^{bc}	58 ^{abc}	58 ^{abc}	56 ^{abc}	57 ^{abc}	58 ^{abc}	56 ^{abc}	59 ^a	60 ^a	59 ^a	59 ^{ab}	1.0	<0.01
Raakavalkuainen	72 ^{abcd}	75 ^{abc}	74 ^{abc}	75 ^{ab}	74 ^{abcd}	76 ^a	72 ^{abcd}	71 ^{bcd}	70 ^d	71 ^{cd}	71 ^{cd}	71 ^{cd}	0.9	<0.01
Sokerit	34 ^{bc}	57 ^a	27 ^{bcd}	43 ^{ab}	41 ^{ab}	20 ^{cd}	10 ^d	16 ^{cd}	15 ^{cd}	34 ^{bc}	24 ^{bcd}	11 ^d	4.2	<0.01
Etanoli	5.1 ^c	12.2 ^{ab}	14.1 ^a	5.7 ^c	3.3 ^c	7.5 ^{bc}	13.7 ^a	12.9 ^a	15.1 ^a	6.2 ^c	6.4 ^c	7.3 ^{bc}	1.05	<0.01
Muurahaishappo		11.1	11.2					10.5	10.6				0.18	--
Maitohappo	70.0 ^{ab}	38.5 ^c	54.4 ^{abc}	68.7 ^{ab}	71.9 ^{ab}	74.2 ^a	52.1 ^{bc}	39.1 ^c	42.6 ^c	64.4 ^{ab}	58.4 ^{abc}	53.0 ^{bc}	4.11	<0.01
Etikkahappo	25.2 ^{ab}	18.0 ^{ab}	20.3 ^{ab}	21.6 ^{ab}	26.0 ^{ab}	27.5 ^a	28.4 ^a	14.2 ^b	13.8 ^b	14.1 ^b	25.5 ^{ab}	28.5 ^a	2.50	0.11
Propionihappo	0.21 ^g	2.45 ^c	1.25 ^{de}	9.13 ^a	0.22 ^g	0.26 ^g	0.28 ^g	1.57 ^d	0.89 ^{ef}	7.42 ^b	0.22 ^g	0.52 ^{fg}	0.105	<0.01
Propionihappo, korj.*	0.21 ^{cd}	0 ^d	0 ^d	3.23 ^a	0.22 ^{cd}	0.26 ^{cd}	0.28 ^{cd}	0 ^d	0 ^d	2.42 ^b	0.22 ^{cd}	0.52 ^c	0.098	0.17
Voihappo	0.01 ^a	0.03 ^a	0.03 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a	0.03 ^a	0 ^a	0.02 ^a	0 ^a	0 ^a	0.019	0.40
Haihtuvat rasvahapot yhteensä*	25.4 ^{ab}	18.0 ^{ab}	20.4 ^{ab}	24.9 ^{ab}	26.2 ^{ab}	27.7 ^a	28.7 ^a	14.3 ^b	13.8 ^b	16.5 ^{ab}	25.7 ^{ab}	29.1 ^a	2.57	0.11
Käymishapot yhteensä*	95.4 ^{ab}	56.6 ^c	74.8 ^{bc}	93.6 ^{ab}	98.1 ^a	102.0 ^a	80.8 ^{ab}	53.4 ^c	56.3 ^c	80.9 ^{ab}	84.1 ^{ab}	82.1 ^{ab}	4.50	<0.01
Käymistuotteet yhteensä*	100.5 ^a	68.7 ^c	88.8 ^{abc}	99.3 ^a	101.4 ^a	109.5 ^a	94.5 ^{ab}	66.2 ^c	71.4 ^{bc}	87.1 ^{abc}	90.6 ^{abc}	89.3 ^{abc}	4.93	<0.01
Maito- ja etikkahapon suhde	2.8 ^{bc}	2.1 ^{bc}	2.7 ^{bc}	3.2 ^b	2.8 ^{bc}	2.7 ^{bc}	1.9 ^c	2.7 ^{bc}	3.1 ^{bc}	4.6 ^a	2.4 ^{bc}	2.2 ^{bc}	0.23	0.40
Aerobinen stabiilisuus (2 °C), h	50 ^c	157 ^{abc}	160 ^{abc}	107 ^{bc}	276 ^a	52 ^c	158 ^{abc}	281 ^a	264 ^a	139 ^{abc}	247 ^{ab}	164 ^{abc}	31.4	<0.01
Käymistappiot, g kg ⁻¹	18.2	13.4	19.9	11.6	12.0	13.4	16.7	14.6	15.0	12.8	9.9	14.8	2.62	0.59
Homeisuus	0.88 ^{ab}	1.50 ^{ab}	1.63 ^a	1.38 ^{ab}	0.13 ^b	0.88 ^{ab}	1.81 ^a	1.44 ^{ab}	1.31 ^{ab}	1.50 ^{ab}	0.63 ^{ab}	1.44 ^{ab}	0.29	0.09
Hiivat, pmy g ⁻¹	3.0×10 ⁵	3.8×10 ⁴	2.5×10 ²	1.4×10 ³	2.5×10 ²	1.5×10 ⁵	2.8×10 ⁴	1.0×10 ²	1.0×10 ²	2.9×10 ²	6.8×10 ³	3.5×10 ³	6.7×10 ⁴	0.06
Homeet, pmy g ⁻¹	9.2×10 ²	1.3×10 ⁴	3.1×10 ³	7.8×10 ³	1.8×10 ²	9.3×10 ²	5.4×10 ³	2.5×10 ²	3.2×10 ²	3.5×10 ²	4.6×10 ³	5.2×10 ³	4.1×10 ³	0.49

*Korjattu vähentäen analysoidusta pitoisuudesta 80% säilöntäaineen mukana lisätystä propionihapon määrästä. Käsitelykeskiarvot, joilla ei ole yhteistä kirjainlyändeksiä, eroavat toisistaan Tukeyn testin perustella (P<0.05).



Kuva 1. Maissisäilörehujen aerobinen stabiilisuus eri raaka-aineissa ja säilöttynä eri säilöntäaineilla (säilöntäainekäsittely on selitetty Taulukossa 1)

Johtopäätökset

Ilman säilöntäainetta tehtyjen maissisäilörehujen laatu oli kaikissa neljässä raaka-aineessa hyvä, mutta kemialliset säilöntäaineet rajoittivat käymistä ja hidastivat yleensä säilörehujen jälkilämpenemistä. Heterofermentatiivisen maitohappobakteeriympin vaikutukset säilörehujen laatuun jäivät tässä aineistossa vähäisiksi. Jos maissin kehitys on jäänyt kesken eli kuiva-ainepitoisuus on pieni, kemiallisten säilöntäaineen käytöllä varmistetaan säilörehun hygieenistä laatua. Tämän kokeen ja muiden kokemusten perusteella maissin säilöntä on Suomen olosuhteissa onnistunut hyvin, mutta säilörehu on aina syytä valmistaa erittäin huolellisesti, jottei sen valmistamiseen käytettyjä panoksia menetetä huonon säilöntälaadun takia.

Kiitokset

Tutkimusta ovat rahoittaneet Maa- ja metsätalousministeriö / Mäkelä, Valio Oy, Berner Oy, Naturcom Oy ja Tamincobvba. Lämpimät kiitokset Seija Jaakkolalle, joka oli mukana tutkimuksen suunnittelussa, rahoituksen hankkimisessa ja ensimmäisen koevuoden säilöntäkokeen toteutuksessa.

Kirjallisuusluettelo

Franco, M., Pirttiniemi, J., Stefański, T., Jalava, T., Tapio, I., Huuskonen, A. & Rinne, M. 2022. Fermentation quality and bacterial ecology of grass silage modulated by additive treatments, extent of compaction and soil contamination. *Fermentation* 2022: 156. <https://doi.org/10.3390/fermentation8040156>.

Kokkonen, T., Jaakkola, S., Halmemies-Beauchet-Filleau, A., Salin, S., Pietikäinen, A., Rissanen, P., Kuoppala, K. & Vanhatalo, A. 2022. Nurmisäilörehun osittainen korvaaminen maissisäilörehulla lypsylehmien ruokinnassa. *Maataloustieteen Päivät 2022. Maataloustieteellisen Seuran Tiedote* 39.

Khan, N. A., Yu, P., Ali, M., Cone, J.W. & Hendriks, W.H. 2015 Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95: 238–252. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6703>

Liimatainen, A., Sairanen, A., Jaakkola, S., Kokkonen, T., Kuoppala, K., Jokiniemi, T. & Mäkelä, P.S.A. 2022. Yield, quality and nitrogen use of forage maize under different nitrogen application rates in two boreal locations. *Agronomy* 12: 887. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040887>

Pahlow, G., Rammer, C., Slottner, D. & Tuori, M. 2001. Ensiling of Legumes. In: Wilkings, R. & Paul, C. (eds.). *Proceedings of the Proceedings of an International Workshop supported by the EU and held in Braunschweig-Legume Silages for Animal Production-LEGSIL, Braunschweig, Germany, 8–9 July 2001; Landbauforsch Völk Sonderheft: Braunschweig, Germany, 2002.* p. 27–31.

Partti, K. 2019. Korjuuasteen ja säilöntäaineen vaikutus maissisäilörehun koostumukseen ja käymislaatuun Suomen olosuhteissa. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Maataloustieteiden osasto. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/309359>

Rinne, M., Dragomir, C., Kuoppala, K., Smith, J. & Yáñez-Ruiz, D. 2014. Novel feeds for organic dairy chains. *Organic Agriculture* 4:275–284. <https://doi.org/10.1007/s13165-014-0081-3>

Rinne, M., Leppä, M.M., Kuoppala, K., Koivunen, E., Kahala, M., Jalava, T., Salminen, J.-P. & Manni, K. 2020. Fermentation quality of ensiled crimped faba beans using different additives with special attention to changes in bioactive compounds. *Animal Feed Science and Technology* 265: 114497. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114497>

Sairanen, A. & Kajava, S. 2020. Maissisäilörehu lehmien ruokinnassa. Maataloustieteen päivät 2020. Esitelmä- ja posteritiivistelmät. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote no 37. Helsinki. 2020. Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote 37: s. 259. <https://journal.fi/smst/issue/view/6119/647>.

Salakka, A. 2019. Erilaisten säilöntäaineiden vaikutus maissisäilörehun käymislaatuun ja aerobiseen stabiilisuuteen. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Maataloustieteiden osasto. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/310108>

Seppälä, A., Heikkilä, T., Mäki, M. & Rinne, M. 2016. Effects of additives on the fermentation and aerobic stability of grass silages and total mixed rations. *Grass and Forage Science* 71: 458–471. <https://doi.org/10.1111/gfs.12221>

Setälä, J., Seppälä, J., Pulli, S. & Poutiainen, E. 1979. Maize for silage, I. Conservation of whole maize plant for silage with treatment of preservatives and urea before ensiling. *Journal of the Agricultural Society of Finland* 51: 229–237. <https://doi.org/10.23986/afsci.72002>

Wilkinson, J. M. & Rinne, M. 2018. Highlights of progress in silage conservation and future perspectives. *Grass and Forage Science* 73: 40–52. <https://doi.org/10.1111/gfs.12327>