

*Maatalouden
tutkimuskeskuksen
julkaisuja*

S A R J A A

84

*Riitta Salo
(toim.)*

**Biomassan tuottaminen
kuidun ja energian
raaka-aineeksi**

Tutkimuksen loppuraportti, osa I

Ruokohelven jalostus ja viljely

Riitta Salo (toim.)

Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi

**Tutkimuksen loppuraportti, osa I
Ruokohelven jalostus ja viljely**

Production of Biomass as Raw Material for Fibre and Energy

**Final report, part I
Breeding and Cultivation of Reed Canary Grass**

Maatalouden tutkimuskeskus

ISBN 951-729-586-3

ISSN 1238-9935

Copyright

Maatalouden tutkimuskeskus

Kirjoittajat

Julkaisija

Maatalouden tutkimuskeskus, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

Maatalouden tutkimuskeskus, tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen

Puhelin (03) 4188 2327, telekopio (03) 4188 2339

sähköposti julkaisut@mtt.fi

Painatus

Jyväskylän yliopistopaino 2000

Sisäsivujen painopaperille on myönnetty pohjoismainen joutsenmerkki.

Kansimateriaali on 75-prosenttisesti uusiokuitua.

Salo, R.¹⁾ (toim.) 2000. Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi. Tutkimuksen loppuraportti, osa I. Ruokohelven jalostus ja viljely. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 84. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 86 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-586-3.

¹⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen

Salo, R.¹⁾ (ed.) 2000. Production of Biomass as Raw Material for Fibre and Energy. Final report, part I. Breeding and Cultivation of Reed Canary Grass. Publications of Agricultural Research Centre of Finland. Serie A 84. Jokioinen: Agricultural Research Centre of Finland. 86 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-586-3.

¹⁾ Agricultural Research Centre of Finland, Data and Information Services, FIN-31600 Jokioinen, Finland

Tiivistelmä

Avainsanat: ruokohelpi, viljely, lajikkeet, jalostus, kylvä, lannoitus, sato, kuidut, energia, sellu, varastointi, non food -tuotanto

Tässä raportissa käsitellään ruokohelven jalostusta ja viljelyä. Asiaa on selvitetty MTT:ssa vuonna 1996 käynnistyneessä tutkimuksessa, jonka nimi on ”Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi” sekä aiemmissa biomassa- ja agrokuitututkimuksissa. Näiden tutkimusten tavoitteena on ollut kehittää ruokohelvestä (*Phalaris arundinacea* L.) Suomen oloihin soveltuva viljelykasvi, jota paperiteollisuus ja energialaitokset voisivat käyttää raaka-aineekseen.

Jalostustutkimuksen laaja ja monipuolinen jalostusaineisto koostui eri puolilta Suomea kerätyistä ruokohelven luonnonpopulaatioista sekä ulkomaisista linjoista ja lajikkeista. Jalostusaineistosta korjatun sadon määrä, kortisuus ja kuitupitoisuus vaihteli. Tämä osoittaa, että ruokohelvestä voidaan jalostaa energian ja sellun raaka-aineeksi soveltuvia lajikkeita. Myös synteettinen ruokohelpilajike voitaneen muodostaa muuta-

man vuoden kuluessa.

Viljelytutkimusten mukaan ruokohelpi on kylvettävä Etelä-Suomessa viimeistään kesäkuun viimeisellä viikolla, pohjoisempaan vielä aikaisemmin. Riviväli on 12,5 senttimetriä, eikä suojaviljan kylvää suositella. Mikäli ruokohelpi niitetään kylvövuonna, vahingoittuu kasvusto niin, ettei se kasva kunnolla seuraavana vuonna. Satoa ruokohelpi tuottaa vähintään yhdeksän vuotta, jos se korjataan keväällä kuloheinänä. Ensimmäisen satovuoden jälkeen koasadot olivat 6–8 t/ha. Suurin sato saadaan, kun kasvusto korjataan aikaisin keväällä, matalaan sänkeen. Leikkuukorkeuden nosto viidestä sentistä 10 senttiin aiheutti kokeessa jopa 25 %:n sadon menetyksen. Glyfosaattikäsittely, onnistunut syyskyntö ja yksivuotisen kasvin viljely vähintään kahtena vuonna ruokohelven viljelyn lopettamisen jälkeen varmistavat, että ruokohelpi ei jää rikkakasviksi pelloille.

Ruokohelven rehulajikkeiden satoisuutta ja kuituominaisuuksia tutkittiin seitsemällä koepaikalla (Jokioinen, Ylistaro, Laukaa, Tohmajärvi, Ruukki, Sotkamo, Rovaniemi). Parhaiten menestyivät lajikkeet Palaton, Lara, Vantage ja Venture. Eniten sellukuitua saatiin ruokohelven korsiasta, vähiten lehtilavoista. Kokonaisista kasveista valmistettu sellu muistutti sekä määrältään että laadultaan eniten korsista valmistettua sellua. Sellun laatua voitaisiin parantaa poistamalla kevätkorjatuista kasveista lehtilavat, jolloin myös satotappiot jäisivät melko pieniksi.

Ruokohelven siementuotanto on mahdollista Suomessa, mutta siemensato, siemenkoko ja itävyys vaihtelevat suuresti riippuen kasvuston iästä. Ensimmäisen ja toisen vuoden kasvustot tuottivat parhaan siemensadon (86–304 kg/ha). Palaton-lajikkeen neljän vuoden keskimääräinen siemensato oli ainoastaan 100 kg/ha ja siementuotanto-ominaisuudet muuntelivat paljon. Parhaina satovuosina Palatonin optimaalinen korjuuajankohta oli 15 päivää kukinnan päättymisestä. Varastointikoeksessa ruokohelven siemen (Venture-lajike) säilyi itämiskykyisenä 19 kuukautta. Varastointi yli 10 kk ja säilytys lämpimässä (+20 °C) nopeuttivat siementen itämistä idätystestin ensimmäisen viikon aikana.

Ravinnetaloustutkimusten mukaan ruokohelven lannoitustarve on pieni, koska sadon mukana poistuu vain vähän ravinteita. Lisäksi juurakko varastoi ravinteita seuraavalle kasvukaudelle. Vähätyppisellä sa-

vimaalla ruokohelvi tarvitsee selvästi enemmän lannoitetta kuin multa- ja turvemaalla, missä se pystyy käyttämään tehokkaasti maasta vapautuvaa typpeä. Kaupallisten lannoitteiden lisäksi tuhka ja jätevesiliete soveltuvat ruokohelven ravinnelähteeksi. Ruokohelvinurmelta huuhtoutui ravinteita yhtä paljon kuin rehunurmelta. Pitkäaikaisessa viljelyssä (10 vuotta) ravinteita huuhtoutuu todennäköisesti vähemmän kuin rehunurmelta.

Ruokohelven viljelyssä käytöstä poistetuilla turvesoilla voidaan viljelmän perustamisvaiheessa käyttää maanparannusainena joko perinteisiä kalkkikivijauheita tai terästeollisuudesta saatavaa kuonaa ja puun tuhkaa. Fosfori- ja kaliumlannoitus kannattaa turvesoilla tehdä vuosittain, sillä ns. varastolannoitus lisää ravinteiden huuhtoutumisriskiä. Typpilannoitukseksi riittää 60 kg/ha.

Viljelymenetelmä- ja ravinnetasetutkimusten perusteella ruokohelven lannoitukseksi suositellaan viljelyksen perustamisvaiheessa 40 kg typpeä, 20 kg fosforia ja 40 kg kaliumia hehtaarille viljavilla mailla (viljavuusluokka tyydyttävä). Seuraavina vuosina 50 kg/ha typpeä, 10 kg/ha fosforia ja 30 kg/ha kaliumia riittävät lannoitukseksi karkeilla kivennäismailla ja eloperäisillä mailla. Jos ruokohelpeä viljellään savimailla, satovuosina typpeä annetaan 70–100 kg/ha. Viljeltäessä ruokohelpeä energiakäyttöön orgaaniset lannoitteet ja lannoittaminen joka toinen vuosi ovat todennäköisesti taloudellisimpia lannoitustapoja.

Esipuhe

Peltobiomassan käyttäminen kuidun ja energian raaka-aineeksi on ollut laajan kiinnostuksen kohteena koko 1990-luvun. Nyt raportoitava tutkimushanke ”Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi” on jatkoa vuosina 1993–1995 toteutetulle ”Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa” -hankkeelle sekä vuosina 1994–1996 toteutetulle ”Peltoenergian tutkimushankkeelle”.

Vuosina 1996–2000 toteutetun tutkimuksen tulokset raportoidaan kahdessa osaraportissa. Niistä ensimmäinen sisältää ruokohelven lajikejalostus-, viljely-, ravinetase- ja siementuotantotutkimukset. Toisessa osassa raportoidaan ruokohelven ja oljen korjuuta, kuljetusta, saatavuutta, tuotantokustannuksia sekä ruokohelven käyttöä polttoaineena koskevat tutkimukset.

Laajaan yhteishankkeeseen osallistivat Maatalouden tutkimuskeskus (MTT), Työtehoseura ja VTT Energia. Tutkimusta rahoittivat maa- ja metsätalousministeriö, Tekes, Vapo Oy, Kemira Agro Oy, Sermet Oy, Imatran Voima Oy ja Alavuden kaupunki. Myös hankkeeseen osallistuneiden laitosten rahoitus oli merkittävä.

Tärkeitä yhteistyökumppaneita ovat olleet myös Helsingin yliopiston maa- ja kotitalousteknologian laitos, Fortum Oyj, Keskuslaboratorio Oy, Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto, Chempolis Oy, Jaakko Pöyry Oy, Peltosellu Oy, Åbo Akademi, Suoviljelysyhdistys ry ja Suomen

Bioenergiayhdistys ry (FINBIO). Tutkimus kuului Tekesin Bioenergian tutkimusohjelmaan, joka toteutettiin vuosina 1993–1998.

”Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi” -tutkimuksen vastuullisena johtajana toimi vuoden 1998 loppuun saakka MTT:n kasvinviljelyn tutkimusalan professori Timo Mela. Hänen kiinnostuksensa ja aloitteellisuutensa oli ratkaisevan tärkeää sekä tässä että useissa muissa peltobiomassan monipuolista hyväksikäyttöä selvittäneissä tutkimuksissa ja niiden toteuttamisessa. Vuodesta 1999 lähtien tutkimuksen johtajana on toiminut vanhempi tutkija Katri Pahlkala MTT:n kasvintuotannon tutkimusyksiköstä.

Tämä onnistunut tutkimushanke osoitti, että taloudellinen, ympäristöystävällinen ja teknologialtaan toteuttamiskelpoinen biomassatuotantoketju on mahdollinen. Se antoi arvokasta tietoa myös siitä, kuinka Suomen ylimääräisillä pelloilla ja entisillä turvetuotantoalueilla voitaisiin tuottaa kuitua ja energiaa taloudellisesti merkittävässä laajuudessa. Hankkeessa mukana olleet tutkijat ovat omalla työllään ja saavuttamillaan tuloksilla edistäneet merkittävästi Suomen bioenergiastrategian toteutumista.

Esitän parhaat kiitokseni hankkeen rahoittajille sekä kaikille hankkeeseen osallistuneille ja sitä tukeneille henkilöille ja yhteisöille.

Jokioisissa syyskuussa 2000

Katri Pahlkala

Sisällys

| | |
|---|----|
| Tiivistelmä | 3 |
| Esipuhe | 5 |
| <i>Sabramaa, M. & Hömmö, L.</i> Ruokohelven jalostustutkimus | 7 |
| <i>Pakkala, K. & Mela, T.</i> Ruokohelven viljelymenetelmät | 15 |
| <i>Pakkala, K. & Miettinen, E.</i> Ruokohelpilajikkeet kevätkorjuussa | 32 |
| <i>Sabramaa, M. & Hömmö, L.</i> Ruokohelven siementuotanto-ominaisuudet Suomessa | 42 |
| <i>Partala, A. & Mela, T.</i> Ruokohelven ravinnetaloustutkimukset | 50 |
| <i>Isolahti, M. & Hakkola, H.</i> Ruokohelven kalkitus ja lannoitus turvesuolla | 66 |

Ruokohelven jalostustutkimus

Mia Sahramaa¹⁾ & Leena Hömmö²⁾

¹⁾ *Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, 31600 Jokioinen, mia.sahramaa@mtt.fi*

²⁾ *Maa- ja metsätalousministeriö, PL 30, 00023 Valtioneuvosto, leena.hommo@mmm.fi*

”Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi” -projektin kasvinjalostusosassa käynnistettiin ruokohelven lajikejalostustyö Suomessa. Ruokohelven laaja ja monipuolinen jalostusaineisto koostuu eri puolilta Suomea kerätyistä luonnonpopulaatioista sekä ulkomaisista linjoista ja lajikkeista. Lajikejalostuksen tavoitteena on kehittää uusia ruokohelpilajikkeita non food-tuotannon tarpeisiin.

Maatalouden tutkimuskeskuksessa

(MTT) toteutetuissa ruokohelven jalostuskokeissa (1994–1999) todettiin, että jalostusaineisto sisältää runsaasti muuntelua eri ominaisuuksien suhteen. On todennäköistä, että lähivuosina pystytään jalostamaan sellaisia lajikkeita, jotka soveltuvat nykyisiä rehulajikkeita paremmin energian ja sellun raaka-aineeksi. Ensimmäinen jalostuksen välivaihe, ruokohelven synteettinen lajike, voi toteutua muutaman vuoden kuluessa.

Avainsanat: ruokohelppi, lajikkeet, jalostus, muuntelu, non food -tuotanto

Breeding research of reed canary grass

The variety breeding of reed canary grass was launched in Finland by the project 'Production of biomass for fibre and energy'. The breeding material of reed canary grass consists of Finnish wild populations and of foreign varieties and breeding lines. The aim of the breeding is to develop new varieties of reed canary grass for non food pur-

poses. Breeding experiments (1994–1999) at the Agricultural Research Centre of Finland have shown that there is considerable variation in many traits in the breeding material. It is to be expected that new varieties for energy and fibre purposes will be developed in the near future.

Key words: Phalaris arundinacea, varieties, breeding, genetic variation, non food industries

1 Johdanto

Artikkeli perustuu maa- ja metsätalousministeriön vuosina 1994–2000 rahoittamaan hankkeeseen ”Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi”.

Tarve ruokohelven non food -tutkimukseen heräsi 1990-luvun alussa, jolloin elintarviketuotannosta poistuvalla peltoalalle etsittiin vaihtoehtoisia käyttömuotoja. Projektin kasvinjalostusosan avulla haluttiin kehittää Suomen olosuhteisiin sopeutunut, kestävä ja satoisa ruokohelven lajikeaineisto. Tuloksena syntyvien uusien kotimaisten ruokohelpilajikkeiden avulla haluttiin parantaa viljelyn taloudellista kannattavuutta. Ruokohelven jalostustutkimuksen toteutuksesta vastasi vuosina 1994–1997 Leena Hömmö ja vuosina 1997–2000 Mia Sahramaa.

Ruokohelpi on ristisiittoinen ja monivuotinen heinäkasvi, joka kasvaa luontaisesti Suomessa. Ruokohelpeä on aikaisemmin Suomessa jalostettu eläinten rehuksi (Ravanti 1980), mutta se on osoittautunut mielenkiintoiseksi kasviksi myös energian ja sellun raaka-aineena. Tällä hetkellä markkinoilla olevat lajikkeet ovat rehulajikkeita, joiden morfologiset ja kemialliset ominaisuudet kuitenkin eroavat teollisuuskäyttöön tarkoitetun ruokohelven ominaisuuksista.

Ruokohelven tärkein jalostustavoite on suuri biomassasato sekä suuri korsien määrä ja kuitupitoisuus. Kasvin korren tulisi lisäksi olla pitkä ja tukeva sekä lehtevyyden vähäinen. Muita jalostuksessa huomioitavia ominaisuuksia ovat mm. tautien- ja tuholaiskestävyys, talvenkestävyys sekä pieni kivennäisaineiden ja tuhkan määrä.

2 Jalostuksen kulku

Jalostusmateriaali koostuu syyskuussa 1993 eri puolilta Suomea kerätyistä ruokohelven luonnonpopulaatiosta (96) sekä ulkomaisista jalostajan linjoista (15) ja lajik-

keista (8). Näistä ruokohelpipopulaatioista perustettiin Maatalouden tutkimuskeskukseen (MTT) Jokioisiin jalostuskokeet vuosina 1994–1999. Kokeiden avulla arvioitiin populaatioiden yleisiä agronomisia ominaisuuksia. Lisäksi aloitettiin energian ja sellun tuotantoon soveltuvien lajikkeiden jalostus.

Ruokohelven jalostuksessa käytetään ristisiittoisten nurmikasvien jalostusmenetelmiä. Uuden lajikkeen jalostustyö kauppalajikkeeksi kestää 16–23 vuotta, josta varsinaisen jalostus vie aikaa 7–12 vuotta ja erillaiset lajikekokeet 9–11 vuotta.

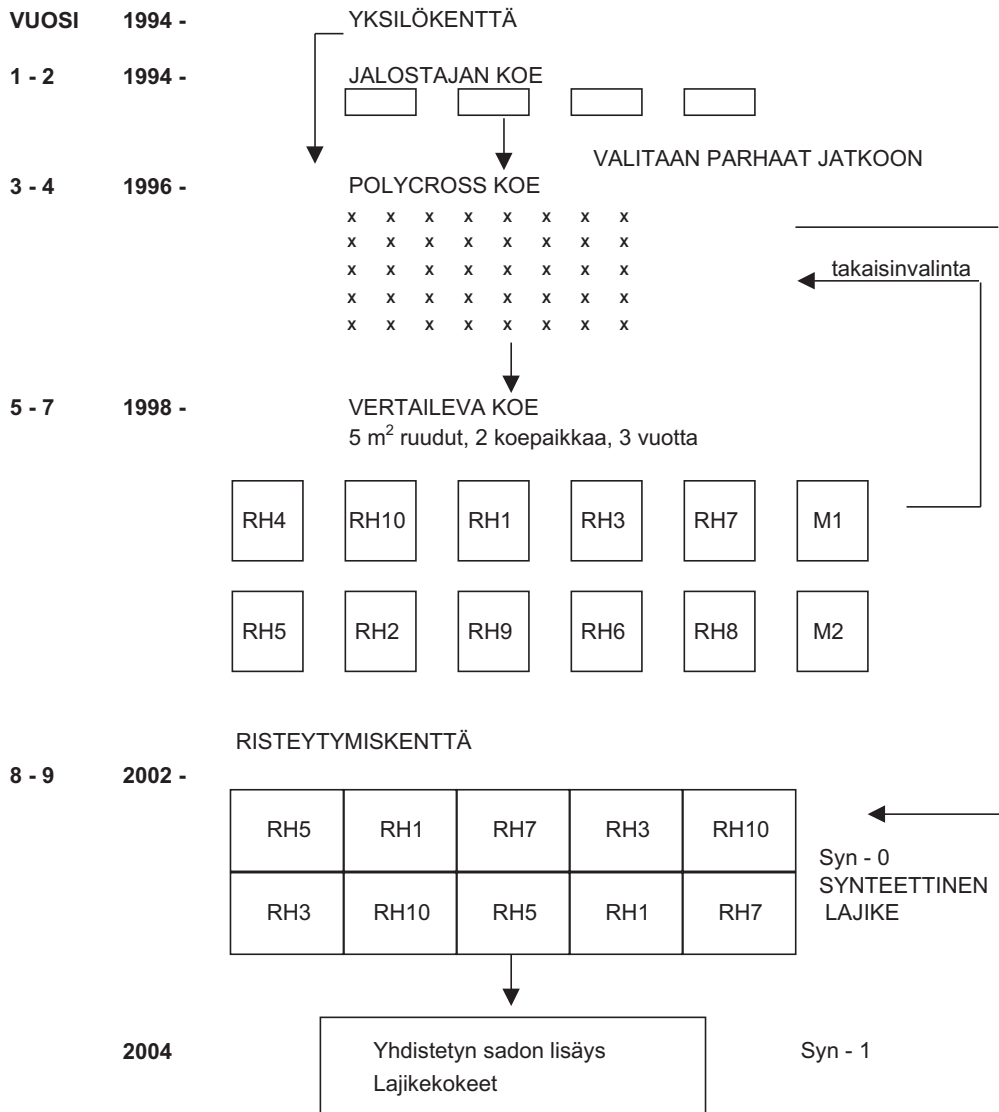
Vuosina 1996–1997 valittiin parhaita ruokohelpipopulaatioita jatkojalostukseen polycross -risteytyskentälle ja kaukoeristykseen. Valinta tehtiin jalostuskokeiden havaintojen perusteella. Vuonna 1998 polycross-kokeesta kerätyllä siemenellä perustettiin vertaileva koe Jokioisiin ja Ruukkiin populaatioiden periyttämiskyvyn testausta varten. Parhaista vanhemmista on tarkoitus muodostaa synteettinen lajike/lajikkeita risteytymiskentässä.

Polycross-menetelmän mukainen jalostuksen eteneminen on esitetty kuvassa 1. Vuonna 1999 perustettiin toinen vertaileva koe kaukoeristyspopulaatioiden arviointia varten. Mikäli näistä populaatioista joku osoittautuu biomassatarkoituksiin soveltuvaksi, muodostetaan siitä suoraan lajike.

3 Jalostuskokeet

3.1 Yksilökenttä

Ruokohelven jalostusmateriaali on kokonaisuudessaan edustettuna yksilökentällä. Yksilökenttä perustettiin eloperäiselle maa-lajille (Kuuma) Jokioisiin heinäkuussa 1994. Jokaisesta populaatiosta (119 populaatiota) istutettiin noin 100 yksilöä. Yksilöiden määrä oli aluksi 8 219, mutta kenttää täydennettiin seuraavana kesänä 1 517 yksilöllä, joten yksilöaineisto koostuu kaikkiaan 10 000 yksilöstä. Yksilökentän aineistoa käytettiin populaatioiden agronomisten ominaisuuksien arviointiin.



Kuva 1. Ruokohelven jalostuksen eteneminen polycross-menetelmän mukaan vuosina 1994–2004.

3.2 Jalostajan koe

Jalostajan koe perustettiin Jokioisiin heinäkuussa 1994. Koe toteutettiin lohkoittain satunnaistettuna kokeena, jossa kaksi kerrannetta perustettiin eloperäiselle maalle (Lintupaju) ja kaksi kerrannetta savimaalle (Nummela). Kokeessa oli 57 luonnonpopulaatiota, 14 jalostajan linjaa ja kahdeksan lajiketta. Ruudun koko oli 1,25 m² perusta-

misvuonna ja vuonna 1997 ruudut rajattiin 2,75 m²:iin. Keväällä 1996, 1997 ja 1998 jalostajan kokeesta korjattiin biomassasato (kg ka ha⁻¹). Keväällä 1996 kerättiin jalostajankokeen jokaisesta ruudusta korsiäytteet, jotka fraktioitiin neljään osaan:

- 1) korret,
- 2) lehdet ja lehtitupet,
- 3) solmut ja
- 4) sivuversot.

Korsi- ja lehtifraktioista analysoitiin myös kuidun ja kivennäisaineiden määrä. Analyysit tehtiin vuonna 1999 MTT:n Kemian laboratoriossa (raakakuitu, tuhka, pii, kalium) sekä Kasvinviljelyn laboratoriossa (kloori). Koko kasvin sisältämiä kuitu- ja kivennäisainepitoisuuksia ei määritetty.

Vuosina 1996–1998 ruuduista havainnoitiin lako (0–100 %) ennen kevätkorjuuta. Lisäksi vuosina 1995–1998 havainnoitiin talvehtiminen (0–100 %) kevätkorjuun jälkeen. Vuosina 1995–1997 ruuduista laskettiin röyhysten lukumäärä kpl m⁻². Vuosina 1995–1997 populaatioiden kehitysrytmiä seurattiin havainnoimalla röyhylle tulon ajankohta ja kasvuston tuleentuminen (vuorokautta kasvukauden alusta). Vuosina 1995–1997 ruuduista mitattiin korren pituus useaan kertaan kasvukauden aikana. Tulosten analysoinnissa käytettiin mitausajankohtia 14.7.1995, 17.7.1996 ja 21.7.1997.

3.3 Kaukoeristykset

Kesällä 1996 yksilökentältä valittiin kymmenen populaatiota, jotka lisättiin ja kasvatettiin talven aikana kasvihuoneella. Pottitaimet istutettiin toukokuussa 1997 kaukoeristykseen eri puolille Jokioista, pääosin hieta- ja savimaille. Yhden kaukoeristyksen pinta-ala oli 15 m × 15 m. Kaukoeristyksistä korjattiin ensimmäinen siemensato vuonna 1998. Kaukoeristyksessä olevia populaatioita verrataan toisiinsa vertailevassa kokeessa.

3.4 Polycross-koe

Jalostajankokeen perusteella valittiin kymmenen parasta populaatiota polycross-kokeeseen. Jokaisesta koejäsenestä kasvatettiin taimet kasvihuoneella ja istutettiin yhteensä 100 kpl Jokioisiin (Kotkanoja) hietamaalle elokuussa 1996. Polycross-siemennellä perustettiin ruokohelven ensimmäinen vertaileva koe.

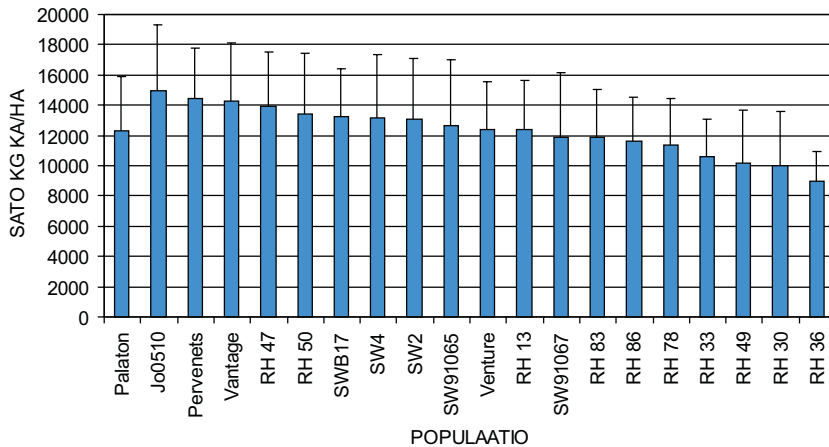
3.5 Vertailevat kokeet

Ruokohelven ensimmäinen vertaileva koe perustettiin kesällä 1998 polycross-kokeesta saadulla siemenellä kahdelle koepaikalle, Jokioisiin ja Ruukkiin. Koe toteutettiin lohkoittain satunnaistettuna kokeena, jossa kaksi kerrannetta oli eloperäisellä maalla (Kuuma) ja kaksi savimaalla (Pellilä) Jokioisilla. Ruukissa kolme kerrannetta perustettiin turvemaalle. Koejäsenten lukumäärä oli 11 ja koeruudun ala viisi neliometriä. Vertailevan kokeen vanhempaispopulaatioiden periyttämiskyky testataan vuosina 1999–2001. Keväällä 2000 ja 2001 määritetään kevätkorjatun biomassasadon määrä. Kokeesta havainnoidaan lisäksi talvenkestävyys, röyhylle tulo, kukinnan alku, korren pituus, lako keväällä ja syksyllä sekä tarvittaessa tuholaiset ja taudit. Jälkeläistestauksen perusteella yhdistetään parhaat vanhemmat synteettiseksi lajikkeeksi risteytymiskentässä vuonna 2002. Synteettisen lajikkeen ensimmäisen sukupolven (syn-1) siementä on siten mahdollista saada vuonna 2003.

Ruokohelven toinen vertaileva koe perustettiin eloperäiselle maalajille Jokioisiin (Kuuma) vuonna 1999. Koe on kolmen kerranteen lohkoittain satunnaistettu koe, jossa on 12 koejäsentä. Koeruudun ala on viisi neliometriä. Kokeen tarkoituksena on verrata kaukoeristyksessä olevia populaatioita toisiinsa samoissa kasvu-olosuhteissa. Biomassasato korjataan keväällä 2001 ja 2002. Kokeesta havainnoidaan lisäksi talvenkestävyys, lako, röyhylle tulo, kukinnan alku, korren pituus sekä tarvittaessa tuholaiset ja taudit.

4 Tulokset ja niiden tarkastelu

Ruokohelven lajikejalostuksen aloittaminen Suomessa on yksi tämän projektin mer-



Kuva 2. Ruokohelven jatkojalostukseen valittujen populaatioiden biomassasato (kg ka ha⁻¹) vuosina 1996–1998, MTT, Jokioinen.

kittävimpiä tuloksia. Käytettävissä on nyt laaja ja monipuolinen ruokohelven jalostusaineisto uusien lajikkeiden kehittämiseksi. Jalostuskokeiden perusteella jatkojalostukseen valittiin mukaan 20 ruokohelpipopulaatiota: Palaton, Pervenets, Vantage, Venture, RH 13 (Järäinen), RH 30 (Ristiina), RH 33 (Juva), RH 36 (Kerimäki), RH 47 (Jalasjärvi), RH 49 (Kristiinankaupunki), RH 50 (Merikarvia), RH 78 (Kalajoki), RH 83 (Kokkola), RH 86 (Vöyri) sekä Jo 0510, SW B17 (Tanska), SW 2 (Blattnicksele), SW 4 (Sveitsi), SW 91065 (Uppland) ja SW 91067 (Uppland). Seuraavassa tarkastellaan jalostusmateriaalin eri ominaisuuksia non food -tuotannon kannalta. Populaatioita verrataan rehulajike Palatoniin (USA), joka on tällä hetkellä yleisimpiä viljelyssä olevia ruokohelpilajikkeita.

4.1 Biomassasato

Jatkojalostukseen valittujen ruokohelpipopulaatioiden biomassasato korjattiin ensimmäisen kerran toisena keväänä (1996) perustamisen jälkeen. Populaatioiden keskimääräinen sato oli tällöin 9300 kg ka ha⁻¹. Kasvuston päästessä täyteen kasvuvauhtiin keskimääräinen satotaso parani. Se oli 12

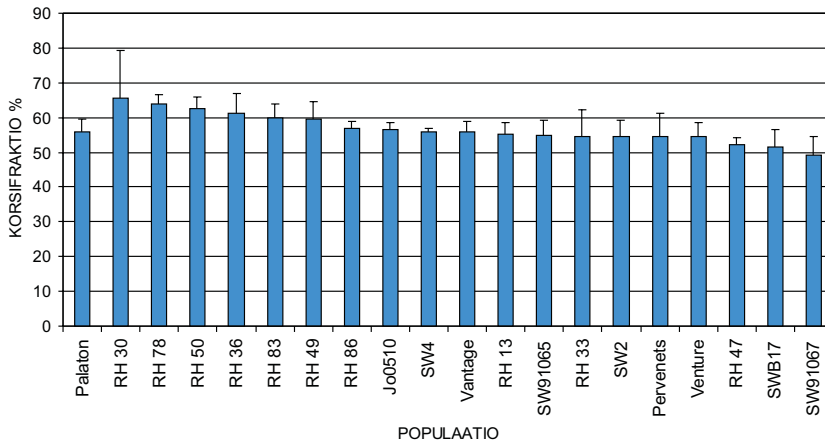
300 kg ka ha⁻¹ toisena ja 15 400 kg ka ha⁻¹ kolmantena korjuuvuonna.

Ruokohelven jalostusaineisto sisältää Palatonia satoisampia populaatioita. Palatonin keskimääräinen biomassasato oli kokeen aikana 12 289 kg ka ha⁻¹. Palatonia satoisampia olivat jalostajan linjat ja lajikkeet, mutta myös kahden suomalaisen luonnonpopulaation sato oli korkea (Kuva 2).

Kaikkien populaatioiden sadoissa oli runsaasti hajontaa. Tilastollisesti merkitsevästi Palatonia satoisampia olivat Jo 0510 (+2709 kg ka ha⁻¹) ja Pervenets (+2135 kg ka ha⁻¹). Myös Vantagen satoero (+1953 kg ka ha⁻¹) Palatoniin verrattuna oli huomattava, samoin kuin luonnonpopulaatioiden RH 47 (+1621 kg ka ha⁻¹) ja RH 50 (+1154 kg ka ha⁻¹). Palatonia tilastollisesti merkitsevästi pienempiä satoja tuottivat luonnonpopulaatiot RH 30, RH 36 ja RH 49.

4.2 Korsifraktio

Jatkojalostukseen valitut populaatiot sisälsivät kordtia keskimäärin 57 %, lehtiä ja lehtituppia 20 %, solmuja 7 % ja versoja 11 % kasvin kokonaispainosta. Luonnonpopulaatioilla oli Palatonia selvästi enemmän kordtia



Kuva 3. Ruokohelven jatkojalostukseen valittujen populaatioiden korsifraktion määrä (%) vuoden 1996 kevätkorjuussa, MTT, Jokioinen.

(Kuva 3). Palatonin korsifraktio oli 56 %, josta tilastollisesti merkitsevästi erosivat luonnonpopulaatioiden RH 30 (66 %) ja RH 78 (64 %) korsifraktiot. Korsifraktion osuus oli suuri myös RH 50:llä (63 %), joka tuotti lisäksi suuren biomassasadon (13 443 kg ka ha⁻¹).

Korsi on non food -tuotannon kannalta ruokohelven arvokkain osa. Korren määrä vaihtelee jalostusaineistossa, joten on todennäköistä, että Palatonia runsaskortisempia lajikkeita pystytään jalostamaan.

4.3 Kuitu- ja kivennäisaineanalyysit

Vuoden 1996 kevätkorjuun korsi- ja lehtifraktioista analysoitiin raakakuidun, tuhkan, piin, kaliumin ja kloorin määrä. Korsi- ja lehtifraktion kivennäisaine- ja kuitupitoisuudet erosivat selvästi toisistaan. Kuitupitoisuus oli odotetusti suurempi korsifraktiossa, kun taas tuhkaa, piitä, kaliumia ja klooria oli enemmän lehtifraktiossa. Jalostuspopulaatioiden keskimääräinen kuitupitoisuus oli korressa 53 % ja lehdessä 35 % (Taulukko 1).

Luonnonpopulaatiot sisälsivät kuitua hieman enemmän kuin lajikkeet ja linjat. Populaatioiden väliset erot kivennäisainemäärässä olivat vähäiset, eikä niillä to-

dennäköisesti ole käytännön kannalta suurta merkitystä. Palatonin (3,8 %) ja RH 78:n (3,7 %) korressa oli vähiten tuhkaa. Eniten sitä oli puolestaan ruotsalaisissa jalostajan linjoissa SW91067 (5 %) ja SW 4 (4,8 %) sekä suomalaisessa linjassa Jo 0510 (4,8 %).

Korren piipitoisuudet vaihtelivat välillä 1,04–1,76. Vähiten piitä oli Palatonissa (1,26 %) ja RH 78:ssa (1,29 %) sekä eniten ruotsalaisissa linjoissa SW91067 (1,69 %) ja SW 4 (1,63 %).

Kaliumin määrä vaihteli välillä 0,03–0,13 %. Vähiten sitä oli RH 78:ssa ja eniten SW 4:ssä. Keskimääräinen kaliumpitoisuus oli savimaalla korkeampi (0,07 %) kuin multamaalla (0,05 %). Klooripitoisuus vaihteli aineistossa hyvin vähän, eikä populaatioiden väliltä löytynyt merkitseviä eroja. Koko kasvin sisältämiä kuitu- ja kivennäisainepitoisuuksia ei tässä tutkimuksessa selvitetty.

4.4 Lako

Ruokohelven jalostuspopulaatioiden lakoontuminen määritettiin keväällä ennen korjuuta. Lakoontuminen vaihteli suuresti eri vuosina. Se oli keskimäärin 39 % vuonna 1996, 86 % vuonna 1997 ja 72 % vuonna 1998. Keskimääräinen lakoontuminen oli

Taulukko 1. Ruokohelven jatkojalostukseen valittujen populaatioiden korsi- ja lehtifraktion kuitu- ja kivennäisainepitoisuudet vuonna 1996 (n=38), MTT, Jokioinen.

| Korsifraktio % | Keskiarvo | Keskihajonta | Minimi | Maksimi |
|-------------------|-----------|--------------|--------|---------|
| Kuitu | 53,29 | 1,11 | 51,90 | 56,20 |
| Tuhka | 4,24 | 0,43 | 3,22 | 5,20 |
| Pii | 1,44 | 0,15 | 1,04 | 1,76 |
| Kalium | 0,06 | 0,02 | 0,03 | 0,13 |
| Kloori | 0,006 | 0,0009 | 0,004 | 0,008 |
| Lehtifraktio | | | | |
| % | Keskiarvo | Keskihajonta | Minimi | Maksimi |
| Kuitu | 34,62 | 1,35 | 32,60 | 37,9 |
| Tuhka | 14,26 | 1,79 | 11,38 | 17,38 |
| Pii | 4,40 | 0,47 | 3,38 | 5,14 |
| Kalium | 0,13 | 0,02 | 0,09 | 0,19 |
| Kloori | 0,006 | 0,001 | 0,004 | 0,009 |

vähäisintä Palatonilla (51 %) ja Venturella (49 %). Luonnonpopulaatiot lakoontuivat hieman linjoja ja lajikkeita enemmän. Talven aikana kaikki populaatiot lakoontuivat jonkin verran lumen painon ja sääolojen vaikutuksesta. Niinä vuosina, jolloin lakoon- tumisen oli voimakasta, lakoon- tumiserot populaatioiden välillä olivat vähäiset.

4.5 Talvehtiminen

Ruokohelven jalostuspopulaatiot talvehti- vat erittäin hyvin vuosina 1995–1998. Populaatioiden keskimääräinen talvehti- misprosentti oli 86. Palatonin keskimääräinen talvehtimisprosentti oli 84 ja siitä tilas- tollisesti merkitsevästi erosivat ainoastaan populaatiot RH 49 (90 %) ja RH 86 (92 %). Kasvuston talvehtiminen ei todennäköisesti ole ongelmallista ruokohelven non food -tuotannossa, jossa korjuu tapahtuu ainoas- taan kerran vuodessa keväällä.

4.6 Röyhyjen lukumäärä

Jatkojalostukseen valittujen populaatioiden röyhyjen lukumäärä oli keskimäärin 539 kpl m⁻² vuonna 1995, 477 kpl m⁻² vuonna

1996 ja 440 kpl m⁻² vuonna 1997. Röyhyjen lukumäärä näyttää vähenevän kasvuston vanhetessa. Palatonilla röyhyjä oli keski- määrin 515 kpl m⁻². Eniten siitä erosivat po- pulaatiot RH 49 (701 kpl m⁻²), RH 78 (222 kpl m⁻²) ja SW 4 (378 kpl m⁻²). Muiden po- pulaatioiden välillä ei ollut suuria eroja röy- hyjen lukumäärässä. Röyhyjen lukumäärän väheneminen kasvuston vanhetessa pienentää siemensatoa. Palatonin siementuotan- tokokeessa siemensato väheni huomatta- vasti kolmantena vuonna perustamisen jäl- keen (Sahramaa & Hömmö 2000).

4.7 Kehitysrytmi

Vuosina 1995–1997 luonnonpopulaatiot olivat kehitysrytmiltään 3–5 päivää Palato- nia, lajikkeita ja linjoja myöhäisempiä. Jalostuspopulaatioiden siemensato tuleen- tui yleensä elokuun alussa. Optimaalista siemensadon korjuuajankohtaa on tarkem- min tutkittu Palatonin siementuotantoko- keessa (Sahramaa & Hömmö 2000), jossa paras siemensato saatiin 15 päivää kukin- nan päättymisestä (lämpösumma noin 800 °C).

4.8 Korren pituus

Ruokohelven jatkojalostukseen valittujen populaatioiden keskimääräinen korren pituus oli 175 cm vuonna 1995, 167 cm vuonna 1996 ja 147 cm vuonna 1997. Populaatioiden korren pituudet vaihtelivat paljon vuosittain. Palatonin keskimääräinen pituus oli 165 cm ja sitä lyhyempiä olivat RH 13 (148 cm), RH 49 (151 cm), RH 86 (148 cm) ja SWB17 (162 cm). Palatonia pidempiä olivat puolestaan RH 47 (172 cm), Vantage (176 cm) ja SW 4 (168 cm).

5 Yhteenveto

Ruokohelven lajikejalostuksen aloittaminen Suomessa on yksi tämän projektin merkittävimpiä tuloksia. Jatkojalostukseen valitun ruokohelpiaineiston ominaisuudet muuntelevat runsaasti. Jalostusaineisto sisältää todennäköisesti populaatioita, jotka soveltuvat ominaisuuksiltaan nykyisiä rehulajikkeita paremmin energian ja sellun raaka-aineeksi. Ruokohelven lajikejalostusta jatketaan ja vertailevien kokeiden perusteella valitaan parhaat populaatiot, jotka yhdistetään synteettiseksi lajikkeeksi ja/tai muodostetaan lajike yhdestä populaatiosta. Jalostusohjelman tuottamia lajikkeita testataan edelleen lajikekokeissa ja käytännön viljelyssä, jotta niiden todellinen arvo non food -tuotannossa saadaan selville.

Kirjallisuus

Ravanti, S. 1980. Ruokohelvi - millainen heinäkasvi. Koetoiminta ja käytäntö 37(5.2.1980): 3.

Sahramaa, M. & Hömmö, L. 2000. Seed production characters of reed canary grass cultivars in Finland. Agricultural and Food Science in Finland. Submitted.

Ruokohelven viljelymenetelmät

Katri Pakkala¹⁾ & Timo Mela¹⁾

¹⁾*Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, 31600 Jokioinen. katri.pakkala@mtt.fi*

Viljelymenetelmätutkimuksen tavoitteena oli kehittää ruokohelvestä (*Phalaris arundinacea* L.) taloudellisesti kannattava, Suomen oloihin soveltuva viljelykasvi, jota paperiteollisuus ja energialaitokset voisivat käyttää raaka-aineenaan. Tutkimuksessa selvitettiin ruokohelven satoisuutta ja kasvustorakenteen muuttumista pitkäaikaisessa viljelyssä, sadon eri fraktioiden määrää eri-ikäisissä kasvustoissa, ruokohelpiviljelyn kylvöajan ja -tavan vaikutusta seuraavien vuosien satoon ja sen kortisuuteen, kasvuolojen vaikutusta raaka-aineen laatuominaisuuksiin ja ruokohelpiviljelyn lopettamisen problematiikkaa.

Ruokohelpi tulisi kylvää Etelä-Suomessa viimeistään kesäkuun viimeisellä viikolla, pohjoisempina vielä aikaisemmin. Ruokohelpi kylvetään 12,5 cm:n rivivälillä, ilman suojaviljaa.

Ruokohelven niittäminen kylvövuonna vahingoittaa kasvustoa niin paljon, että versot eivät kasva kunnolla seuraavana vuonnakaan. Ruokohelpi säilyttää sadontuotto-kykynsä vähintään yhdeksän vuotta, jos se korjataan keväällä kuloheinänä. Sato on kuudesta kahdeksaan tonnia hehtaarilta

toisesta satovuodesta lähtien. Ensimmäinen sato on 20–40 % pienempi. Typpilannoituksen lisääminen 50 kg:sta/ha 150 kg:aan/ha lisää kuiva-ainesatoa noin 20 %. Korsipitoisuus lisääntyy kasvuston iän myötä. Suurimmillaan (65–75 % kuiva-aineesta) se on kuudentena tai seitsemäntenä satovuonna.

Ruokohelven korjuu on parasta aloittaa aikaisin keväällä, kun pelto kantaa koneita. Tällöin saadaan eniten satoa, jonka kuiva-ainepitoisuus on jopa 90 %. Jos korjuu myöhästyy kahdesta kolmeen viikkoa, satoa menetetään noin 20 % ja se joudutaan kuivaamaan. Vihreiden versojen pituus voi olla 15–20 cm lisäämättä silti sadon kosteutta. Korjaamalla ruokohelpi matalaan sänkeen saadaan suurin sato. Leikkuukorkeuden nostaminen viidestä kymmeneen senttimetriin aiheutti noin 25 %:n sadon menetyksen.

Glyfosaattiruiskutus, onnistunut syyskyntö ja yksivuotisen kasvin viljely vähintään kahtena vuonna ruokohelven viljelyn lopettamisen jälkeen varmistavat, että ruokohelpi ei jää rikkakasviksi pelloille.

Asiasanat: ruokohelpi, Phalaris arundinacea, viljely, kylvö, korjuu, lannoitus, sato, laatu

Cultivation methods for reed canary grass

Crop management research on reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) was at the Agricultural Research Centre of Finland, Jokioinen, conducted in 1990–2000. The aim of the research was to optimise cultivation methods suitable for large scale production. Data were collected on the long-

term productivity of reed canary grass, changes in the plant stand structure and the proportion of plant parts during production years. Sowing time, row space, fertilisation, harvesting time and field clearing after cultivation are discussed.

Key words: reed canary grass, Phalaris arundinacea, cultivation methods, sowing time, fertilisation, harvesting, field clearing

1 Johdanto

Viljelymenetelmätutkimuksen tavoitteena oli kehittää ruokohelvestä taloudellisesti kannattava, Suomen oloihin soveltuva viljelykasvi, jota sekä paperiteollisuus että energialaitokset voisivat käyttää raaka-ainekseen. Tutkimuksesta saadun tiedon varassa voidaan suunnitella suurten viljelyalueiden perustamista eri puolille maata. Ruokohelven viljelymenetelmätutkimus on jatkoa vuonna 1995 päättyneelle tutkimukselle ”Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa”. Koska kuitutuotantoa varten kerätty tutkimustieto on sovellettavissa mainiosti myös biomassan tuottamiseen energian raaka-aineeksi, edelleen hyvässä kunnossa olevat ruokohelpikokeet voitiin ottaa vuonna 1996 mukaan uuteen tutkimukseen.

Tutkimuksessa selvitettiin ruokohelven satoisuutta ja kasvustorakenteen muuttamista monivuotisessa viljelyssä, sadon eri fraktioiden määrää eri ikäisissä kasvustoissa, ruokohelven kylvöajan ja -tavan vaikutusta seuraavien vuosien satoon ja sen kortisuuteen, kasvuolojen vaikutusta raaka-aineen laatuominaisuuksiin ja ruokohelpiviljelyksen uusimisen problematiikkaa. Lisäksi tutkittiin, miten ruokohelven korsifraktioiden osuutta sadossa voitaisiin lisätä, ruokohelven lannoitustarvetta, kylvö- ja korjuuaikaa sekä viljelyn loputtua ruokohelven häviämistä pellolta. Laatuanalyysien selvi-

tettiin koesatojen korsi- ja kivennäisainepitoisuutta.

2 Aineisto ja menetelmät

Kasvintuotantotutkimuksia tehtiin Maatalouden tutkimuskeskuksessa Jokioisissa (60.49N 23.28E). Tässä yhteenvedossa mukana olevien tutkimusten kylvö- ja satovuodet on esitetty taulukossa 1.

Kokeet perustettiin joko kylvämällä siemenet koeruutukylvökoneella, jolloin kylvötiheydeksi laskettiin 1 000 itävää siementä/m² (kokeet 734, 732) tai rajaamalla 2 × 10 m:n koeruodut jo olemassa oleviin kasvustoihin kylvösuuntaan nähden poikittain (kokeet 811, 730, 739). Kasvustoihin rajattujen koeruutujen korjuuala oli 15 m² ja ruutukylvökoneella kylvettyjen 11–13,75 m². Kokeet lannoitettiin keväisin heti korjuun jälkeen. Lannoitteena käytettiin moniravinteisia lannoitteita (NPK), joiden käyttömäärä riippui koesuunnitelman typpilannoitusmäärästä/ha.

Kokeet korjattiin suunnitelman mukaisessa kehitysvaiheessa Haldrup-nurmenkorjuukoneella. Sängenkorkeus oli silloin viisi senttimetriä. Sadon tuorepaino mitattiin korjuun yhteydessä. Rikkakasvien määrä eli sadon puhtaus määritettiin joka ruu-

Taulukko 1. Ruokohelven viljelytutkimus vuosina 1996–2000.

| Tutkimus | Koe | Kylvö | Satovuodet |
|---|-------|-------|------------|
| 1. Ruokohelpiviljelyksen perustaminen | 734 | 1995 | 1997–1999 |
| 2. Ruokohelven satopotentiaali pitkäaikaisessa viljelyssä | | | |
| Ruokohelven lannoitus- ja korjuuaika | 811 | 1990 | 1991–2000 |
| Ruokohelven korjuuaika-, riviväli- ja lannoitustutkimus | 732 | 1993 | 1993–1999 |
| 3. Ruokohelven kevätkorjuun ajankohta | 739 | 1992 | 1994–1998 |
| 4. Ruokohelpiviljelyksen lopettaminen | 730 | 1990 | 1995–1998 |
| | 730–1 | 1990 | 1997–1998 |

dulta noin 500 g:n tuorenäytteestä. Kuivapaino laskettiin ruuduittain määritetyn kuiva-ainepitoisuuden avulla. Kuiva-ainemäärityksiä varten silputtua viljelykasvia (2×100 g tai 2×200 g) kuivattiin kaksi tuntia 105 °C :n lämpötilassa ja edelleen 17 tuntia 60 °C :n lämpötilassa. Kemiallisia määrityksiä varten näytteet jauhettiin ja seulottiin yhden millimetrin seulalla. Eri kasvinosien osuuden määrittämistä varten leikattiin ennen korjuuta jokaiselta ruudulta 25×50 cm:n alalta näyte, joka kuivattiin. Näytteestä laskettiin korsien ja röyhyjen lukumäärä sekä punnittiin kuivattuina erikseen korret, lehdet, tupet ja kukinnot.

Tuloksissa esitetään päävaikutusten lisäksi vain tilastollisesti merkitsevät yhdysvaikutukset. Tulosten yhteydessä käytetään lyhenteitä *** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$ ja ns = ei tilastollista merkitsevyyttä. Tulosten tilastollisessa käsittelyssä käytettiin lineaarisia sekamalleja. Ennen varianssianalyyysien suorittamista lajikekoeaineiston havaintojen normalisuutta tarkasteltiin graafisesti ja Box-Cox -proseduurilla, jossa käytettiin keskiarvojen ja keskihajontojen logaritmeja.

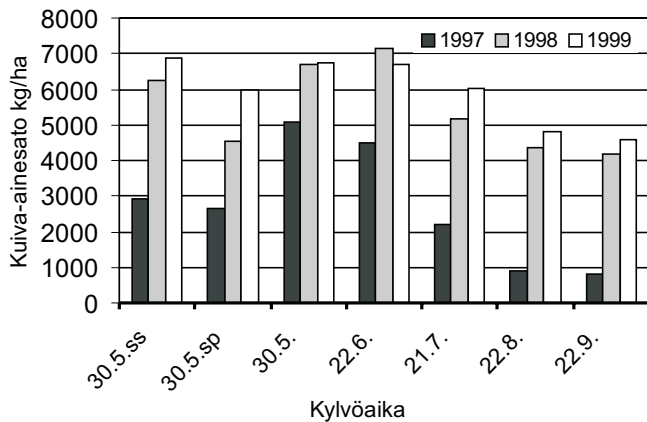
3 Tulokset ja niiden tarkastelu

3.1 Ruokohelpiviljelyksen perustaminen

Ruokohelpiviljelyksen perustamisen oikeaa ajankohtaa tutkittiin Jokioisilla vuonna 1995. Kokeen tarkoituksena oli selvittää, missä määrin kylvöajankohta vaikuttaa ruokohelven kevätsatoon, sadon kortisuuteen sekä kasvuston tiheyteen. Kylvöajat olivat touko-, kesä-, heinä-, elo- ja syyskuussa. Toukokuussa ruokohelpi kylvettiin sekä suojaviljan kanssa että puhtaana kasvustona. Suojaviljana käytettiin ohraa, joka korjattiin joko säilörehuksi 28. elokuuta tai puitiin 5. syyskuuta 1995. Myöhemmät kylvöt tehtiin ilman suojaviljaa. Kasvusto lannoitettiin keväisin korjuun jälkeen.

Koejäsenet on nimetty kylvöajan mukaan seuraavasti:

- 30.5.ss, kylvetty suojaviljaan, suojavilja korjattu säilörehuna 28. elokuuta 1995
- 30.5.sp, kylvetty suojaviljaan, suojavilja puitu 5. syyskuuta 1995
- 30.5., kylvetty ilman suojaviljaa
- 22.6., kylvetty ilman suojaviljaa
- 21.7., kylvetty ilman suojaviljaa
- 22.8., kylvetty ilman suojaviljaa
- 22.9., kylvetty ilman suojaviljaa.



Kuva 1. Kylvöajan (touko-syyskuu 1995) vaikutus ruokohelven kuiva-ainesatoon vuosina 1997, 1998 ja 1999. Toukokuussa kylvetyt koejäsenet: 30.5.ss = suojavilja korjattu säilörehuksi 28.8.1995, 30.5.sp = suojavilja puitu 5.9.1995 (Koe 734).

Satotulokset ovat vuosilta 1997, 1998 ja 1999. Ensimmäisenä satovuonna kylvöaika vaikutti kuiva-ainesatoon ja sen kuiva-ainepitoisuuteen erittäin paljon. Eniten satoa saatiin toukokuussa ja kesäkuussa kylvetyistä kasvustoista (Kuva 1). Seuraavina vuosina satoero ei enää ollut merkitsevä. Kun kolmen vuoden kuiva-ainesadot laskettiin yhteen, elokuussa ja syyskuussa kylvettyjen kasvustojen sato oli vain puolet alkukesän kylvöjen sadosta. Kuiva-ainepitoisuus oli pienin elo- ja syyskuussa kylvettyjen ruutujen sadossa (Taulukko 2). Tämän tutkimuksen mukaan ruokohelpeä ei kannata enää kylvää heinä- tai elokuussa, sillä silloin käytännössä menetetään ensimmäinen sato. Sadonmenetykset ovat ilmeisiä myös, jos käytetään suojaviljaa. Kylvöaika vaikutti myös ruokohelven korsipitoisuuteen. Sekä ensimmäisenä vuonna että kolmen vuoden keskiarvona kortisimpia olivat touko- ja kesäkuussa kylvetyt kasvustot, mutta erot muihin kylvöaikoihin olivat pie-

niä (Taulukko 3).

3.2 Ruokohelven satopotentiaali pitkäaikaisessa viljelyssä

Korjuuajankohdan ja lannoituksen vaikutuksia ruokohelven sadon määrään ja laatuun on raportoitu jo aikaisemmin (Pahkala et al. 1994, 1996), mutta nyt esitettävät tulokset kattavat pitemmän ajanjakson, sillä mukana ovat siemenvaiheen ja kevätkorjuun tulokset vuodesta 1992 aina vuoteen 1999 tai 2000 asti.

3.2.1 Ruokohelven lannoitus- ja korjuuajatutkimus

Vanhimmassa, vuonna 1990 perustetussa ruokohelven lannoitus- ja korjuuajako-keessa typpilannoituksen määrä oli 100 ja

Taulukko 2. Ruokohelven kylvöajan (touko–syyskuu 1995) vaikutus vuosina 1997, 1998, 1999 korjatun sadon kuiva-ainepitoisuuteen. Toukokuussa kylvetyt koejäsenet: 30.5.ss = kylvetty suojaviljan kanssa, suojavilja korjattu säilörehuksi 28.8., 30.5.sp = suojavilja puitu 5.9.1995 (Koe 734).

| Vuosi | Kylvöaika | | | | | | |
|-------|-----------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 30.5.ss | 30.5.sp | 30.5. | 22.6. | 21.7. | 22.8. | 22.9. |
| 1997 | 88,8 | 89,0 | 89,8 | 89,0 | 88,8 | 84,4 | 79,2 |
| 1998 | 91,0 | 91,3 | 92,1 | 92,2 | 90,3 | 92,1 | 90,5 |
| 1999 | 89,0 | 84,9 | 87,0 | 87,6 | 85,5 | 85,0 | 85,1 |

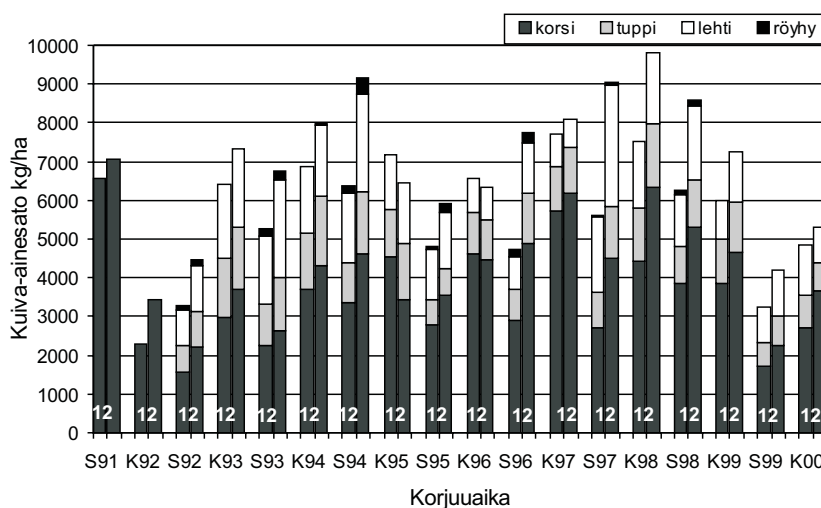
Taulukko 3. Ruokohelven kylvöajan (touko–syyskuu 1995) vaikutus korsifrakti-
on osuuteen kuiva-ainesadosta vuosina 1997, 1998, 1999. Toukokuussa kylve-
tyt koejäsenet: 30.5.ss = suojavilja, korjattu säilörehuksi 28.5.1995, 30.5.sp =
suojavilja, puitu 5.9.1995 (Koe 734).

| Vuosi | Kylvöaika | | | | | | |
|-----------|-----------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 30.5.ss | 30.5.sp | 30.5. | 22.6. | 21.7. | 22.8. | 22.9. |
| 1997 | 58,2 | 55,7 | 61,7 | 65,4 | 55,4 | 49,7 | 57,2 |
| 1998 | 68,3 | 70,7 | 67,0 | 70,9 | 68,6 | 67,2 | 65,7 |
| 1999 | 61,4 | 65,2 | 64,8 | 60,4 | 59,2 | 65,8 | 57,9 |
| Keskiarvo | 62,6 | 63,8 | 64,5 | 65,6 | 61,1 | 60,9 | 60,3 |

200 kg N/ha. Koemenetelmiä on selostettu tarkemmin aikaisemmassa raportissa (Pahkala et al. 1994). Tässä raportissa esitetään ruokohelven sadon määrän kehitys vuodesta 1991 kevääseen 2000 sekä siemenvaiheessa että keväällä korjattuna. Eri kasvosien (korsi, lehti, lehtituppi, röyhy) osuudet kuiva-ainesadosta on määritetty vuosina 1992–2000 (Kuva 2). Tutkimuksen keväällä korjattavat koejäsenet ovat vielä hyvässä kunnossa, joten tutkimusta jatketaan edelleen. Samalla seurataan myös kasvuston kortisuutta ja kuiva-ainepitoisuutta korjuun yhteydessä.

3.2.1.1 Kuiva-ainesato

Runsas lannoitus (200 kg N/ha) lisäsi syys-satoa useimpina vuosina (Kuva 2) verrattuna normaaliin (100 kg N/ha) lannoitukseen. Tilastollista eroa ei tosin todettu näiden kahden lannoitusmäärän välillä, sillä sato-vaihtelua esiintyi erityisesti käytettäessä suurempaa lannoitusmäärää. Yhdeksän sato-vuoden yhteenvetona voidaan todeta, että ruokohelvestä saadaan enemmän satoa, kun kasvusto korjataan keväällä kuloheinänä (Taulukko 4). Satotaso kevätkorjuussa pysytteli ensimmäisen satovuoden jälkeen



Kuva 2. Ruokohelven eri kasvosien sato syys (S)- ja kevät (K)-korjuussa vuosina 1992–2000 sekä vuoden 1991 kokonaissato. Numerot pylväiden päällä: 1 = 100 kg N/ha, 2 = 200 kg N/ha (Koe 811).

Taulukko 4. Vuoden ja korjuuajan vaikutus ruokohelven kuiva-ainesatoon. Merkitsevät erot ($P < 0,05$) sadoissa eri vuosina sekä syys- ja kevätkorjuun keskiarvojen välillä on merkitty eri kirjaimilla. Varianssianalyysi lannoituksen, korjuun ja vuoden vaikutuksista (Koe 811).

| Sato- vuosi | Kuiva-ainesato kg/ha | | | Varianssianalyysi | |
|----------------|----------------------|--------|-----------|----------------------|-----------|
| | Syksy | Kevät | Keskiarvo | Vaihtelun aiheuttaja | F-arvot |
| 1 | 6800a | 2870a | 4830a | lannoitus | 14,83 ns |
| 2 | 3890b | 6880b | 5380a | korjuuaika | 2,53 ** |
| 3 | 6010ac | 7410bc | 6710b | vuosi | 9,65 *** |
| 4 | 7750a | 6820b | 7290b | korjuuaika x vuosi | 15,18 *** |
| 5 | 5370bc | 6450b | 5910a | | |
| 6 | 6240c | 7910c | 7070b | | |
| 7 | 7330a | 8660c | 8000b | | |
| 8 | 7440a | 6620b | 7030b | | |
| 9 | 3730b | 5080d | 4410a | | |
| Keskiarvo | | 6060a | 6520b | | |

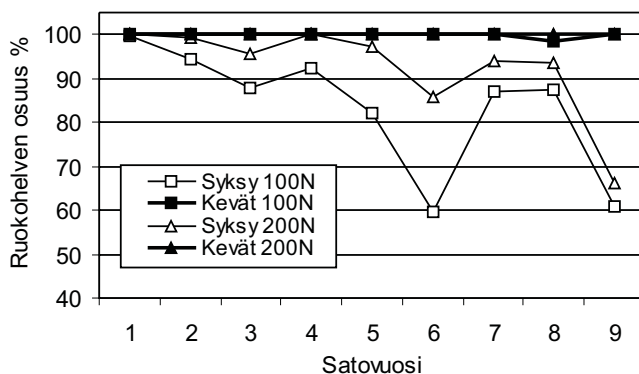
tasaisena (kuusi–kahdeksan t/ha), mutta keväällä 2000 se oli vain noin viisi tonnia. Satotason notkahdus saattoi johtua vuoden 1999 kuivuudesta (Partala & Mela 2000, Liite 1) tai olla pysyvämpää, kasvuston vanhenemisesta johtuvaa. Syyssadon jääminen 3,7 t/ha vuonna 1999 johtui rikkakasvien lisääntymisestä, jolloin ruokohelven osuus väheni biomassasadossa (Kuva 3).

Ruokohelven keväällä korjatut kasvustot säilyivät rikkaruohottomina kevääseen 2000 asti (Kuva 3). Kasvustossa, joka korjattiin vuosittain elokuussa, alkoi esiintyä juolavehnää ja monivuotisia kaksisirkkaisia rikkakasveja vuonna 1995, ja syksyllä 1996 niiden määrä oli pienemmän lannoituksen saaneissa ruuduissa jo 40 % koko sadosta. Suuremman lannoituksen saaneet ruudut

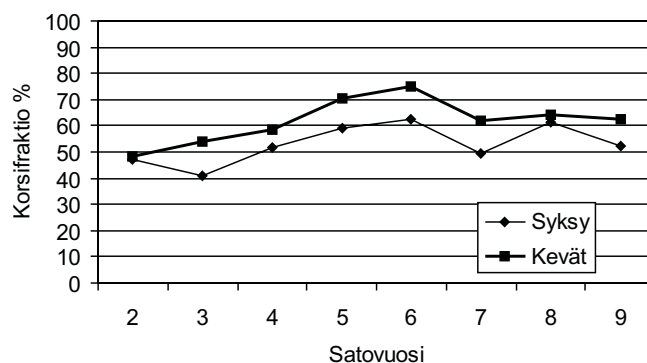
rikkaruohottuivat hitaammin, mutta syksyllä korjattavat kasvustot olivat vuonna 1999 pahoin rikkaruohottuneet, ja erityisesti voikukka oli vallannut alaa sekä ruokohelveltä että juolavehnältä.

3.2.1.2 Kasvinosat

Ruokohelven korsipitoisuuden ja korsisatoon vaikutti eniten korjuuaika ja kasvuston ikä (Kuvat 2 ja 4). Lannoituksen lisäämisellä oli suotuisa vaikutus korsisatoon silloin, kun kasvusto korjattiin syksyllä. Keväällä korjattu korsisato oli keskimäärin 1140 kg/ha suurempi kuin syksyllä korjattu (Kuva 2). Keväällä korjatun sadon korsipitoisuus oli 48–75 % ja syksyllä korjatun



Kuva 3. Ruokohelven osuus prosentteina syys- ja kevätasadossa satovuosina 1–9. Tyypillännoitus 100 ja 200 kg N/ha.



Kuva 4. Korsifraktion osuus ruokohelven kuiva-ainesadosta syksyllä ja keväällä satovuosina 2–9 (Koe 811).

41–62 % kuiva-aineesta (Kuva 4). Lehtituppien osuus oli keskimäärin 17 % syksyllä, 18 % keväällä, lehtilapojen 27 % syksyllä, 20 % keväällä ja röyhyjen 3 % syksyllä. Keväällä röyhyt olivat käytännössä kokonaan varisseet kuten suuri osa lehdistäkin. Keväällä korjattu kasvusto oli keskimäärin tiheämpää (644 kpl/m²) kuin syksyllä korjattu (564 kpl/m²). Korsitiheys oli lisäksi suurempi nuoremmassa kasvustoissa (Taulukko 5).

3.2.2 Ruokohelven korjuuaika, riviväli- ja lannoitustutkimus

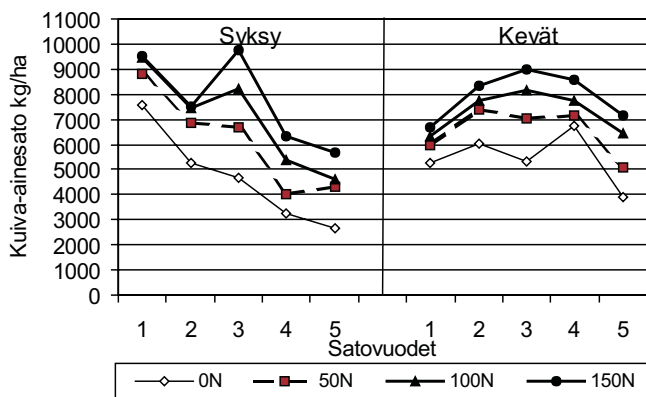
Tässä tutkimuksessa lannoitemäärinä käytettiin 0, 50, 100 ja 150 kg typpeä/ha, sillä vuonna 1990 aloitetuissa tutkimuksissa todettiin, että kaksi typpitasoa (100 ja 200

kg/ha) eivät riittävästi antaneet tietoa lannoituksen vaikutuksesta. Vuonna 1993 perustetussa kokeessa (732) käytettiin kahta riviväliä, 12,5 ja 25 cm, koska rivivälin merkitystä korrenmuodostukseen ja kasvinosien osuuksiin haluttiin selvittää. Korjuuaikoja oli aluksi kolme: kukinnan aikaan, siemenen tuleentuuessa ja seuraavana keväällä (Pahkala et al. 1996). Tutkimuksen viimeisinä vuosina (1997–1999) korjattiin satoa ainoastaan siemenen tuleentumisen aikaan ja keväällä. Tässä raportissa esitetään näiden kahden korjuuajan satutulokset vuodesta 1994 keväeseen 1999. Laatu- ja satutulokset on esitetty aikaisemmassa raportissa (Pahkala et al. 1996).

Kun tarkastellaan siemenvaiheessa ja keväällä korjattua ruokohelpisatoa, rivivälin kasvattaminen 12,5 cm:stä 25 cm:iin ei näyttänyt tuovan oleellista muutosta sadon

Taulukko 5. Ruokohelven korsien lukumäärä kpl/m² syys- ja kevätkorjuussa. Lannoitus 100 ja 200 kg N/ha. Keskiarvot, jotka on merkitty eri kirjaimilla, eroavat toisistaan merkitsevästi (P<0,05). Varianssianalyysi lannoituksen, korjuun ja vuoden vaikutuksista (Koe 811).

| Satovuosi | 100 N | | 200 N | | Keskiarvo | Varianssianalyysi Vaihtelun aiheuttaja | F-arvot |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|---|----------|
| | Syksy | Kevät | Syksy | Kevät | | | |
| 2 | 586 | 635 | 713 | 729 | 666a | lannoitus | 3,54 ns |
| 3 | 555 | 604 | 591 | 955 | 677a | korjuuaika | 4,68 ns |
| 4 | 696 | 667 | 869 | 573 | 701a | vuosi | 4,49 ** |
| 5 | 445 | 624 | 624 | 608 | 575b | korjuu x vuosi | 5,74 *** |
| 6 | 344 | 549 | 464 | 853 | 553b | lannoitus x korjuu x vuosi | 2,47 * |
| 7 | 472 | 425 | 530 | 512 | 485b | | |
| 8 | 456 | 629 | 523 | 653 | 565b | | |
| 9 | 752 | 627 | 744 | 779 | 725a | | |



Kuva 5. Ruokohelven kuiva-ainesato syksyllä ja keväällä viitenä ensimmäisenä satovuonna. Typpilannoitus 0, 50, 100, ja 150 kg N/ha (Koe 732).

määrään. Sen sijaan jokainen lannoituksen lisäys lisäsi satoa erittäin merkitsevästi. Lannoituksen vaikutus vaihteli vuosittain eri korjuuaikoina (Kuva 5). Kasvuston vanhe- tessa syysadot pienenevät lähes suoraviivaisesti lukuun ottamatta vuotta 1996 (3. satovuosi), joka oli ruokohelven kasvun kan- nalta varsin suotuisa. Ruokohelpi selviää il- meisesti muutaman vuoden ilman lannoitustakin, sillä lannoittamattomat kasvustot tuottivat keväällä korjattuina satoa keski- määrin 5,5 t/ha. Lisättäessä lannoitusta 50 kg:sta N/ha 100 kg:aan ja edelleen 150 kg:aan N/ha sato oli vastaavasti 6,5 t, 7,3 t ja 7,9 t/ha. Sopiva typpilannoitusmäärä sa- vimailloilla on 70–100 kg/ha.

Ruokohelven osuus syysadon kuiva-ai- nesadosta väheni vuosittain tasaisesti rikka- kasvien lisääntyessä kasvustossa (Taulukko 6). Kun kasvustot korjattiin keväällä, ne säilyttivät paremmin kilpailukykyä rik- kakasveja vastaan ja olivat viidentenä kor- juuvuonna 1999 edelleen puhtaita.

Taulukko 6. Ruokohelven osuus prosentteina syys- ja kevätadosta viitenä ensimmäisenä satovuonna 1994–1999 (koe 732).

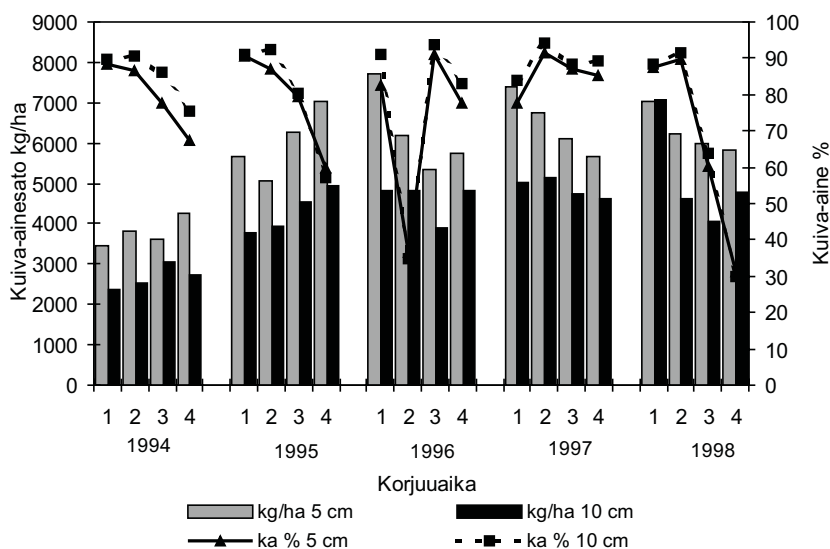
| Satovuosi | Ruokohelven osuus | |
|-----------|-------------------|---------------|
| | syksyllä % | keväällä % |
| 1 | 93,8 | 100,0 |
| 2 | 90,3 | 100,0 |
| 3 | 81,2 | 100,0 |
| 4 | 73,6 | 100,0 |
| 5 | 61,5 | 99,8 |

3.3 Ruokohelven kevätkorjuun ajoittaminen

3.3.1 Ruokohelven korjuuaika ja leikkuukorkeus

Ruokohelven korjuussa oli päädytty aikai- sempien tutkimustulosten perusteella ke- vätkorjuuseen. Tällöin kuitenkin joudutaan ottamaan huomioon korjuun vaikutukset korjattavaan kasvustoon ja maahan. Liian aikainen kevätkorjuu pellon ollessa vielä märkä voi vahingoittaa kasvien juuristoa ja tiivistää maata. Myöhään korjattaessa vih- reä kasvimassa voi puolestaan lisätä sadon kosteutta ja heikentää sadon säilyvyyttä sekä vahingoittaa uutta kasvustoa. Tutki- muksen tarkoituksena oli määrittää ruoko- helven kevätkorjuun optimaalinen ajan- kohta sekä tutkia lisäksi leikkuukorkeuden vaikutusta sadon määrään ja kasvuston ke- hittymiseen. Tutkimus toistettiin viitenä vuonna. Vuosien 1994 ja 1995 tuloksia on esitetty aikaisemmassa raportissa (Pahkala et al. 1996). Lisäksi Pahkala (1998) on refe- roinut vuosien 1994–1997 tuloksia konfe- rensijulkaisussa. Kokeen tulokset antoivat aiheen myös tarkentaviin tutkimuksiin, joista ruokohelven korsien paino- ja kui- va-aineen jakautumatutkimus toteutettiin vuonna 1997. Lisäksi tehtiin korjuuajan- kohdan tarkentamiseksi maankosteusmää- rityksiä vuonna 1998.

Ruokohelpikasvuston kevätkulua kor- jattiin viikon välein nurmenkorjuukoneella



Kuva 6. Kevätkorjuun ajankohdan vaikutus ruokohelven kuiva-ainesatoon (pylväät) ja kuiva-ainepitoisuuteen (viivat) vuosina 1994–1998. Leikkuukorkeudet 5 cm ja 10 cm. Korjuuajat 1–4 on esitetty taulukossa 7.

viiden ja kymmenen senttimetrin leikkuukorkeuteen. Korjuu aloitettiin niin aikaisin kuin suinkin mahdollista, heti kun pelto kantoi korjuukonetta. Ennen korjuuta mitattiin laon ja vihreiden versojen korkeus kolmesta kohdasta ruutua ja otettiin jokaisesta ruudusta 25 × 50 cm:n alalta näyte, josta laskettiin korsien lukumäärä ja määritettiin korsien, lehtien ja lehtitupprien määrä. Näytteen leikkuukorkeus oli aina viisi senttimetriä. Syksyllä kasvustojen korkeus mitattiin uudelleen ja otettiin kasvustonäyte, josta laskettiin korsien ja tähkien lukumäärä. Syksymittaukset tehtiin vuonna 1994 elokuussa ja muina vuosina syyskuun lopussa. Kasvustot lannoitettiin heti korjuun jälkeen 80 kg:lla N/ha. Korjuupäivät ja vihreiden versojen saavuttama korkeus on esitetty taulukossa 7.

3.3.1.1 Kuiva-ainesato

Matalaan sänkeen korjattaessa sato oli merkittävästi suurempi kuin korjattaessa kasvusto pitempään sänkeen (Kuva 6). Satoero leikkuukorkeuksien välillä oli keskimäärin

1440 kg/ha. Käytettäessä matalampaa leikkuukorkeutta saatiin talteen myös lakoutunut osa kasvustoa, mutta mukaan tuli enemmän myös uusia, vihreitä versoja. Kahden ensimmäisen vuoden jälkeen suurimmat sadot saatiin, kun sato korjattiin mahdollisimman aikaisin keväällä lyhyeen sänkeen. Myöhäisin korjuu tehtiin vuosittain 26. toukokuuta–2. kesäkuuta (Taulukko 7), jolloin vihreä kasvusto oli jo 16–29 cm pitkää ja työntyi korjattavan kasvuston läpi koko kokeen alalta. Vihreät versot vähensivät kuiva-ainepitoisuutta siinä määrin, että korjatun sadon kuivatus olisi ollut tarpeen (Kuva 6). Viimeisen korjuun kuiva-ainepitoisuuden vähenemiseen saattoi vaikuttaa myös koejäsenen suurempi lakoutuminen, mikä aiheutti kosteuden kerääntymisen maanrajaan.

Korsipitoisuuden merkitys sadon laadulle on todettu aiemmin (Pahkala et al. 1999, Pahkala & Pihala 2000). Kuiva-ainesadon korsipitoisuus oli pienin (64 %) korjuun siirtyessä toukokuun loppuun. Kolmessa aikaisemmassa korjuussa korsipitoisuus oli keskimäärin 67 % kuiva-aineesta. Korsipitoisuus vaihteli merkittävästi vuo-

Taulukko 7. Ruokohelven korjuupäivät ja vihreiden versojen korjuupäivään mennessä saavuttama pituus vuosina 1994–1998.

| 1994 | Versot cm | 1995 | Versot cm | 1996 | Versot cm | 1997 | Versot cm | 1998 | Versot cm |
|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|
| 5.5. | 18 | 3.5. | 13 | 9.5. | 13 | 6.5. | 6 | 11.5. | 11 |
| 12.5. | 21 | 10.5. | 17 | 17.5. | 16 | 3.5. | 7 | 18.5. | 21 |
| 19.5. | 26 | 17.5. | 21 | 23.5. | 17 | 20.5. | 13 | 26.5. | 26 |
| 26.5. | 29 | 26.5. | 29 | 30.5. | 27 | 27.5. | 16 | 2.6. | 27 |

sittain (Kuva 7). Vuoden 1996 ja 1998 sadosta mitatut pitoisuudet olivat pienimmät. Tässä tutkimuksessa sängin korkeus ei vaikuttanut kuiva-ainesadon korsipitoisuuteen.

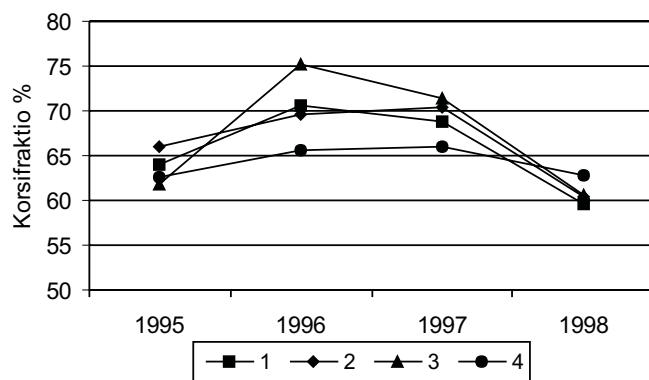
3.3.1.2 Kasvuston kehittyminen

Koska korjuun yhteydessä katkaistiin myös uusia vihreitä versoja, oli oletettavissa, että sadonkorjuu vaikuttaisi kasvuston kehittymiseen ja sitä kautta satoon ja sen laatuun. Tämän vuoksi kasvustoa tutkittiin sekä syksyllä että keväällä. Ennen sadonkorjuuta mitattu vihreiden versojen korkeus riippui vain korjuuajasta ja vuodesta (Taulukko 7). Syksyllä mitattu korsien ja röyhyjen määrä/m² vaihteli merkittävästi vuosittain (Taulukko 8). Korjuuajasta ja sängin korkeus eivät tässä kokeessa vaikuttaneet korsien kokonaismäärään, mutta röyhyjen määrä oli merkittävästi pienempi, kun kasvusto

korjattiin touko-kesäkuun vaihteessa riippumatta leikkuukorkeudesta.

Kasvuston korkeus syksyllä vaihteli vuosittain, ja kahtena ensimmäisenä vuonna myös korjuuajalla oli siihen vaikutusta. Silloin myöhään korjatut kasvustot olivat syksyllä muita lyhyempiä. Kasvusto lakoutui talven aikana. Keväällä laossa olevan kasvuston korkeus vaihteli vuotta 1996 lukuun ottamatta välillä 13–29 cm. Keväällä 1996 kasvusto oli pystympää talven lumiolojen takia. Kuvassa 8 on esitetty korjuuajakojen ja vuoden vaikutus ruokohelpikasvuston korkeuteen sekä keväällä että syksyllä.

Vaikka kokeen alueella tavattiin juola-vehnää jo vuonna 1994, se ei päässyt runsastumaan niin paljon, että sen määrä olisi ollut sadosta mitattavissa ennen vuotta 1997. Vuonna 1998 sen määrä oli jo niin suuri (Taulukko 9), että koe jouduttiin lopettamaan.



Kuva 7. Korjuuajan (1–4) ja vuoden (1995–1998) vaikutus ruokohelven kuiva-ainesadon korsipitoisuuteen. Korjuuajat 1–4 on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 8. Ruokohelpikasvuston korsien ja röyhyjen tiheys (kpl/m²) syksyllä 1994–1998 (Koe 739).

| | Korsien ja röyhyjen tiheys | | | | |
|--------|----------------------------|------|--------------------|------|------|
| | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |
| | | | kpl/m ² | | |
| Korret | 553 | 560 | 668 | 548 | 450 |
| Röyhyt | 189 | 265 | 205 | 51 | 93 |

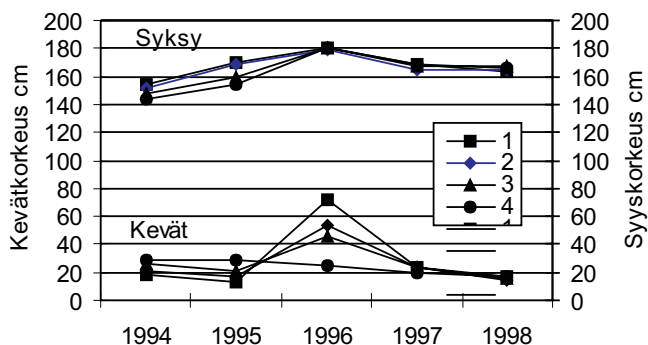
3.3.1.3 Korsikoe

Suurta satoeroa eri leikkuukorkeuksien välillä tutkittiin tarkemmin vuonna 1997. Neljästä kerranteesta leikattiin heti kevään alussa 25 × 50 cm:n alalta ruokohelven korret (65–94 kpl/näyte). Korret leikattiin kuvan 9 mukaisiksi fraktioiksi alkaen korren tyveltä. Kasvin ylimmät osat 35 cm:stä kasvin latvaan laskettiin samaksi fraktioksi riippumatta kasvin korkeudesta. Jokainen fraktio punnittiin sekä tuoreena että kuivattuna. Mitä lähempänä maata kasvin osat olivat, sitä kosteampia ne olivat (Kuva 9). Tämä selittää myös matalampaan sänkeen korjatun sadon hieman pienemmän kuiva-ainepitoisuuden (Kuva 6). Lisäksi havaittiin, että fraktioiden kuivapaino ja siten myös varren paino/cm oli suurempi lähempänä korren tyveä. Kuitenkin vain 5,8 % ruokohelven kuivapainosta muodostui fraktiosta, joka oli peräisin viisi–kymmenen senttimetrin päästä tyvestä. Suurta satoeroa näiden leikkuukorkeuksien välillä joudutaan selittämään korjuutappioilla, jotka muodostuvat sängän lisäksi lakoutuneesta kasvustosta, jota ei erikseen korjuussa mitattu.

3.3.1.4 Maan kosteus korjuun ajankohdan mittarina

Kokeen korjuun alkamisen ajankohdaksi oli määritetty ensimmäinen mahdollinen päivä, jolloin pelto kantaa korjuukoneita. Tämän ajankohdan tarkemmaksi määrittämiseksi tarkasteltiin myös maan kosteuden ja sadon kuiva-ainepitoisuuden kehittymistä ennen mahdollista sadonkorjuuta. Maan kosteutta mitattiin 11 kertaa 28. huhtikuuta–18. toukokuuta 1998 TDR-menettelmällä (Topp et al. 1980) 0–15 ja 15–30 cm:n syvyydestä kuudesta eri pisteestä koel alueelta. Samalla tehtiin kasvustosta kuiva-ainemääritykset. Kun pellon arvioitiin kantavan korjuukoneita 5. toukokuuta, maan kosteus alkoi olla tasaantunut samaksi koko 30 cm:n kerroksessa. Kokeen korjuu siirtyi kuitenkin aiotusta toukokuun 5:nneestä sateen vuoksi aina toukokuun 11:een asti, jolloin kasvusto oli uudelleen kuivunut korjuukelpoiseksi. Sadetta saatiin 4.–11. toukokuuta yhteensä 40,3 mm. Tosin kosteusmittausten perusteella mitään merkittävää maan kuivumista ei ollut havaittavissa 11. toukokuuta, vaikka pelto to-


Kuva 8. Ruokohelpikasvuston korkeus keväällä (laon korkeus) ennen korjuuta ja korkeus syksyllä vuosina 1994–1998. Korjuuajat 1–4 on esitetty taulukossa 7.



Taulukko 9. Ruokohelven osuus prosentteina kuiva-ainesadosta vuosina 1994–1998. Korjuu viikon välein. 1 = heti, kun pelto kantaa koneita. Korjuupäivät esitetty taulukossa 7 (Koe 739).

| Korjuu | Ruokohelven osuus | | | | |
|--------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 1994 % | 1995 % | 1996 % | 1997 % | 1998 % |
| 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 89 |
| 2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 90 |
| 3 | 100 | 100 | 100 | 97 | 87 |
| 4 | 100 | 100 | 100 | 97 | 98 |

| Kasvin osa | Kasvin osan | | |
|---------------|-----------------|--------------------|----------------------------|
| | kuivapaino g | kuivapaino g/cm | kuiva-aine- pitoisuus % |
| 35 cm → latva | 0,89 61,0 % | 0,012 | 84,7 |
| 25-35 cm | 0,14 9,9 % | 0,014 | 85,2 |
| 20-25 cm | 0,07 5,1 % | 0,015 | 80,4 |
| 15-20 cm | 0,08 5,4 % | 0,016 | 76,0 |
| 10-15 cm | 0,08 5,3 % | 0,016 | 72,5 |
| 5-10 cm | 0,08 5,8 % | 0,017 | 63,0 |
| 0-5 cm | 0,11 7,5 % | 0,022 | 58,1 |

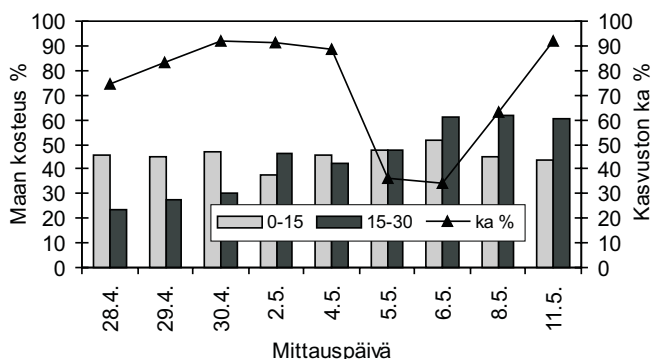


Kuva 9. Keväällä korjatun ruokohelven 5–10 cm:n korkuisten osien kuivapaino (g ja %), kuivapaino (g/cm) ja kuiva-ainepitoisuus (%) tyveltä lähtien.

dettiin korjuukelpoiseksi. Kuvassa 10 esite-
tään maan kosteuden ja kasvuston kuiva-ai-

nepitoisuuksien muutokset ennen ensim-
mäistä korjuuta.

Kuva 10. Maan kosteus 0–15 ja 15–30 cm syvyydessä ja ruokohelpikasvuston kuiva-ainepitoisuus keväällä 1998 kokeen 739 alueella. Kokeen ensimmäinen korjuu 11.5.



3.3.2 Marraskuussa ja toukokuussa korjatun biomassasadon laatuvertailu

Toukokuussa 1995 kylvettyä ruokohelpeä korjattiin marraskuussa 1997 ja toukokuussa 1998. Sadon kivennäisaine- ja kuituostumuksen perusteella haluttiin arvioida, voitaisiinko ruokohelpeä korjata kuitu- ja energiataroituksiin myös myöhäisyksyllä. Korjuu onnistui marraskuussa kahtena vuonna Jokioisissa. Kolmantena vuonna korjuusta myöhästyttiin, ja ohut lumipeite teki korjuun mahdollottomaksi. Taulukossa 10 on esitetty laatuvertailun tulokset.

Kivennäisaine- ja kuitupitoisuuksien muutokset olivat talven aikana varsin pieniä. Merkittävin muutos oli kaliumpitoisuudessa, joka pieneni keväeseen mentäessä alle puoleen siitä, mitä se oli marraskuussa. Myös tuhka- ja fosforipitoisuus pienenevät. Vähäisiä muutoksia havaittiin myös kupari- ja sinkkipitoisuuksissa. SiO²-, N-, Ca- ja Mg-pitoisuuksissa ei havaittu oleellisia muutoksia. Kuitupitoisuus oli suurempi kevätsadossa. Jos sato voitaisiin korjata pakaskautena lumettomasta maasta juuri ennen talventuloa, saataisiin lähes kevätkorjuun veroista raaka-ainetta. Ennen lumentuloa kasvusto on suurimmaksi osaksi pystyssä, eikä talven aiheuttamaa haurastumista olisi vielä tapahtunut.

Taulukko 10. Marraskuussa 1997 ja toukokuussa 1998 korjatun ruokohelven kuitu- ja kivennäisainepitoisuus (Koe 734).

| | Kuitu- ja kivennäisainepitoisuus | | Keskiarvo |
|----------------------|----------------------------------|---------------|-----------|
| | Marraskuu 1997 | Toukokuu 1998 | |
| Kuitu, % | 42,4 | 45,9 | 44,1 |
| Tuhka, % | 7,14 | 6,45 | 6,80 |
| Si, g/kg | 22,2 | 22,3 | 22,3 |
| SiO ₂ , % | 4,75 | 4,78 | 4,76 |
| N, % | 0,67 | 0,70 | 0,69 |
| P, g/kg | 1,08 | 0,91 | 1,00 |
| K, g/kg | 4,16 | 1,84 | 3,00 |
| Ca, g/kg | 1,20 | 1,27 | 1,24 |
| Cu, mg/kg | 5,95 | 6,68 | 6,31 |
| Mg, mg/kg | 0,55 | 0,50 | 0,53 |
| Zn, mg/kg | 40,5 | 42,8 | 41,6 |

3.4 Ruokohelpiviljelyn lopettaminen

Kun ruokohelven viljely halutaan lopettaa ja siirtyä viljelemään jotakin muuta kasvia, tai kun kasvusto halutaan uudistaa sen rikkaruohottumisen tähden, kasvusto joudutaan ensin hävittämään. Ruokohelpi muistuttaa kasvutavaltaan juolavehneää. Jotta siitä ei viljelykierrossa muodostuisi rikkakasvia, sen tehokkain hävitystapa on saataa myös selville. Tässä tutkimuksessa vertailtiin kemiallisen ja mekaanisen hävitystavan tehokkuutta kahdessa kokeessa, jotka sijaitsivat Jokioisilla hietasavimaalla. Vuonna 1994 perustetussa kokeessa tutkittiin ruokohelven hävittämistä syksyllä ja käsittelyjen jälkivaikutusta ohrakasvustossa. Vuonna 1996 perustetussa kokeessa ruokohelpi hävitettiin keskikesällä ja alue kylvettiin vielä samana vuonna syysvehnälle.

Molemmissa kokeissa seurattiin, miten torjuntakäsittelyt vaikuttivat seuraavina vuosina kehittyvien ruokohelpiversojen lukumäärään ja painoon. Käsittelyjen ensi-

jaisena tavoitteena oli juurakollisen ruokohelven hävittäminen. Jälkivaikutusta arvioitiin näytteistä, jotka otettiin ruuduittain juuri ennen puintia kahdelta 0,5 m²:n alalta. Näytteistä tutkittiin sekä juurakkoversojen että siementaimien määrät, sillä siementä oli vuosittain varissut alueelle runsaasti ja haluttiin saada selville sen taimettumistiheys ja siementen elinikä viljakasvustossa.

Vuonna 1994 perustetussa kokeessa selvitettiin kemiallisten ja mekaanisten syyskäsittelyjen tehokkuutta ja niiden jälkivaikutusta kevätiljassa yhteensä neljän vuoden ajan. Kemiallinen käsittely tehtiin Roundup-valmisteella, jonka tehoainepitoisuus oli 360 g glyfosaattia/l. Vuoden 1995 tulokset on esitetty aiemmin vuonna 1996 (Pahkala et al. 1996). Kaksi kokeen kerrannetta sijaitsi vuonna 1990 kylvetyllä alueella ja kaksi kerrannetta vuonna 1993 kylvetyllä alueella. Koekäsittelyt olivat vuonna 1994 seuraavat:

Taulukko 11. Ruokohelpitaimien esiintyminen ohrakasvustossa vuosina 1995, 1996 ja 1997 ja kaurakasvustossa vuonna 1998. Koekäsittelyt tehty vuonna 1994. (Koe 730).

| Koejäsen | Juuriversot/m ² | | Siementaimet/m ² | |
|----------|----------------------------|------|-----------------------------|------|
| | kpl | g | kpl | g |
| 1995 | | | | |
| 1 | 8 | 4,30 | 6 | 0,30 |
| 2 | 2 | 1,50 | 5 | 0,30 |
| 3 | 9 | 8,00 | 4 | 0,10 |
| 4 | 0 | 0 | 6 | 0,20 |
| 1996 | | | | |
| 1 | 1 | 2,33 | 46 | 0,87 |
| 2 | 0,25 | 0,20 | 37 | 0,71 |
| 3 | 0,25 | 0,64 | 49 | 1,09 |
| 4 | 0 | 0 | 57 | 1,51 |
| 1997 | | | | |
| 1 | 0,75 | 0,03 | 9 | 0,04 |
| 2 | 0,50 | 0,03 | 11 | 0,09 |
| 3 | 0 | 0 | 17 | 0,06 |
| 4 | 0 | 0 | 14 | 0,12 |
| 1998 | | | | |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0,01 |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0,06 |
| 3 | 0 | 0 | 2 | 0,05 |
| 4 | 0,25 | 0,32 | 1 | 0,02 |

1. Niitto siemenvaiheessa (16. elokuuta), syyskyntö
2. Niitto siemenvaiheessa, Roundup/Sito 5/0,5 l/ha odelmaan (20. syyskuuta), syyskyntö
3. Niitto siemenvaiheessa ja niitto syyskuussa (19. syyskuuta), syyskyntö
4. Roundup/Sito 5/0,5 l/ha (17. elokuuta. kasvusto 180 cm), niitto ruskeana (19. syyskuuta), syyskyntö.

Koko kokeen alue kynnettiin samaan aikaan 11. lokakuuta ja kylvettiin seuraavana keväänä Arve-ohralle. Käsittelyjä seuraavina vuosina kevätiljakasvustoon ilmaantuneiden juurakkoversojen ja siementaimien määrät neljän vuoden ajalta on esitetty taulukossa 11.

Ruokohelven juurakkotaimet hävisivät glyfosaattiruiskutuksen ja syyskynnön jälkeen kahden vuoden aikana. Alueilta, jotka oli pelkästään kynnetty, ruokohelven juurakkotaimien määrä väheni radikaalisti kahdessa vuodessa ja hävisi kokonaan neljässä vuodessa.

Siementaimia iti tasaisesti kaikkiin koejäseniin jokseenkin yhtä paljon (Taulukko 11). Käsittelyä seurannut kesä 1995 oli vähäsatainen. Tämän vuoksi osa alkukesällä itäneistä siementaimista oli joko kuollut tai siemenet olivat kuivuuden takia lepotilassa, sillä siementaimia löytyi elokuussa vain neljä-kuusi kpl/m². Niistä suurimmat olivat

noin 15 cm:n mittaisia. Edullisempien itämisolojen koittaessa vuonna 1996 siementaimia ilmaantui enemmän. Neljän vuoden jälkeen käsittelystä löytyi vielä hyvin pieniä yksittäisiä taimia. Vuosina 1996 ja 1997 siementaimet olivat kooltaan korkeintaan viisi senttimetriä, ja viljan tehokkaan varjostuksen vuoksi ne olivat hyvin hentoja.

Vuonna 1996 perustetussa tutkimuksessa ruokohelpi hävitettiin keskikesällä tähkimisen alussa, jolloin alue voitiin kylvää vielä samana vuonna syysvehnälle. Kemiallinen käsittely tehtiin Agress-valmisteella, jonka tehoainepitoisuus oli 330 g glyfosaattia/l. Käsittelyjen jälkivaikutusta tutkittiin viljojen tuleentumisvaiheessa vuonna 1997 syysvehnäkasvustosta ja vuonna 1998 kaurakasvustosta. Kokeen kaksi kerrannetta perustettiin vuonna 1990 kylvetyyn kasvustoon ja kolmas kerranne vuonna 1993 kylvetyyn kasvustoon. Koekäsittelyt olivat vuonna 1996 seuraavat:

1. Ei kemiallista käsittelyä: kasvuston niitto (kasvusto 180 cm korkea) ja kyntö (28. elokuuta)
2. Agress/kiinnite 3/0,5 l/ha tähkiessä (14. heinäkuuta, kasvusto 150 cm korkea), kyntö
3. Agress 5 l/ha tähkiessä (14. heinäkuuta, kasvusto 150 cm korkea), kyntö
4. Käsittely odelmaan (niitto 26. kesäkuuta): Agress/kiinnite 3/0,5 l/ha (30. heinäkuuta, odelma 60 cm), kyntö.

Taulukko 12. Ruokohelpitaimien esiintyminen syysvehnäkasvustossa vuonna 1997 ja kaurakasvustossa vuonna 1998. Koekäsittelyt tehty vuonna 1996. (Koe 730-1).

| Koejäsen | Juuriversot/m ² | | Siementaimet/m ² | |
|----------|----------------------------|-------|-----------------------------|------|
| | kpl | g | kpl | g |
| 1997 | | | | |
| 1 | 66 | 58,12 | 111 | 8,40 |
| 2 | 6 | 2,03 | 67 | 3,31 |
| 3 | 6 | 2,83 | 39 | 2,44 |
| 4 | 2 | 0,97 | 64 | 2,97 |
| 1998 | | | | |
| 1 | 18 | 29,01 | 14 | 0,49 |
| 2 | 4 | 6,63 | 1 | 0,02 |
| 3 | 3 | 6,72 | 1 | 0,09 |
| 4 | 0,33 | 0,00 | 4 | 0,11 |

Koko alue kynnettiin 28. elokuuta, lannoitettiin (260 kg/ha P-rikas Y-lannos) ja kylvettiin 29. elokuuta Aura-syysvehnälle. Vuonna 1997 syysvehnään ja vuonna 1998 kauraan ilmaantuneiden ruokohelven juurakkoversojen ja siementaimien määrät on esitetty taulukossa 12.

Koekäsittelyt tehtiin hyvissä oloissa ja niiden teho oli hyvä. Elokuun loppupuoli oli kuitenkin vähäsateista, joten kuivan saviimaan kyntö ja äestäminen koel alueella ei onnistunut toivotulla tavalla. Syysvehnä kylvettiin seuraavana päivänä, mutta sen orastuminen kuivissa oloissa oli hidasta ja epätasaista. Vehnä talvehti kuitenkin hyvin eikä kasvuun lähdössä ollut keväällä ongelmia. Syksyllä ei vielä näkynyt ruokohelven taimia, mutta keväällä juurakkoversot lähtivät nopeasti kasvamaan ja peittivät huomattavia osia verrannekojajäsenestä, jossa ei ollut käytetty glyfosaattia. Torjunta-ainekäsittelyt vähensivät tehokkaasti ruokohelven juurakkotaimia (Taulukko 12). Käsitely odelmaan näytti tehokkaimmalta. Se on myös käytännössä helpompi suorittaa kuin täysmittaisen ruokohelven ruiskuttaminen.

4 Johtopäätökset

4.1 Ruokohelpiviljelyksen perustaminen

Kun ruokohelpeä viljellään kuidun tai energian raaka-aineeksi, se tulisi kylvää Etelä-Suomessa viimeistään kesäkuun viimeisellä viikolla, pohjoisempana vielä aikaisemmin, jotta kasvusto ehtii kehittyä riittävästi syksyyn mennessä. Ruokohelpeä kylvetään 12,5 cm:n rivivälillä. Suojaviljan käyttö hidastaa kehitystä ja pienentää ensimmäistä satoa. Ruokohelpeä ei saa niittää kylvövuonna, sillä kasvuston katkaiseminen syyskesällä hidastaa seuraavana vuonna kasvuston kehittymistä huomattavasti. Rikkakasvit torjutaan kylvövuonna kemiallisesti.

4.2 Ruokohelven satopotentiaali pitkäaikaisessa viljelyssä

Ruokohelpeä tuottaa hyvin satoa vähintään yhdeksän vuotta, jos se korjataan keväällä kuloheinänä. Sato on kuudesta kahdeksaan tonnia hehtaarilta toisesta satovuodesta lähtien. Ensimmäinen sato on 20–40 % pienempi. Kasvusto säilyy keväällä korjattuna tiheämpänä ja sadon korsipitoisuus on suurempi kuin syksyllä vihreänä korjatussa sadossa. Lannoitus vaikuttaa sadon määrään. Typpilannoituksen lisääminen 50 kg:sta/ha 150 kg:aan/ha lisää kuiva-ainesatoa noin 20 %. Sopiva typpilannoitusmäärä savimailla on 70–100 kg/ha. Korsipitoisuus lisääntyy kasvuston iän myötä. Suurimmillaan (65–75 % kuiva-aineesta) se on kuudentena tai seitsemäntenä satovuonna.

4.3 Ruokohelven kevätkorjuun ajoittaminen

Ruokohelven kevätkorjuun aloittamisen paras ajankohta on aikaisin keväällä, kun pelto kantaa hyvin koneita. Tällöin saadaan eniten satoa, jonka kuiva-ainepitoisuuskin on korkea, jopa 90 %. Jos korjuu myöhästyy kahdesta kolmeen viikkoa, satoa menetetään noin 20 % ja sato joudutaan kuivamaan. Jos sato paalataan, vihreiden versojen pituus voi olla 15–20 cm ilman, että versot lisäävät sadon kosteutta tai aiheuttavat ongelmia prosessissa, sillä vain osa niistä joutuu sadon mukaan. Korjaamalla ruokohelpeä matalaan sänkeen (viisi senttimetriä) saadaan suurin sato. Leikkuukorkeuden nostaminen viidestä kymmeneen senttimetriin aiheutti noin 25 %:n sadon menetyksen. Ruokohelven korren tyvi painaa eniten. Noin puolet kuiva-ainepainosta on korren ensimmäisessä 50 cm:ssä tyveltä lähtien, joten on tärkeää saada korjattua mahdollisimman paljon korren alimpia osia.

Ruokohelpeä voitaisiin korjata myös myöhäissyksyllä, sillä sadon laatu on silloin lähes kevätkorjuun veroinen. Sato joudutaan tällöin useimmissa tapauksissa kuitenkin

kin kuivattamaan. Jotta korjuu olisi mahdollista, kasvuston pitäisi olla lumeton ja maan kuiva tai vahvasti jäässä.

4.4 Ruokohelpiviljelyn lopettaminen

Jos ruokohelpi halutaan hävittää kemiallisesti, kasvusto korjataan kesällä käyttötarkoituksesta riippuen ennen tähkälle tuloa tai täysimittaisena heinäkuussa. Kun odelma on 30–60 cm pitkää, se ruiskutetaan glyfosaatilla, jonka käyttömäärä ja -tapa on sama kuin juolavehnän torjunnassa. Kasvusto kynnetään myöhään syksyllä ja alueelle kylvetään keväällä kevätiljaa tai muuta yksivuotista kasvia. Hyvin onnistu-

nut syyskyntö ja yksivuotisen kasvin viljely vähintään kahtena vuonna ruokohelven viljelyn lopettamisen jälkeen varmistavat, että ruokohelpi ei jää rikkakasviksi pelloille. Ruokohelpi voidaan hävittää myös mekaanisesti. Tällöin ruokohelpi korjataan myöhemmin syksyllä ja alue kynnetään. Kolmena seuraavana vuonna viljellään yksivuotisia kasveja, ja alue kynnetään vuosittain syksyllä. Avokesannointi ja kevytmuokkaus eivät ole tehokkaita keinoja ruokohelven hävittämiseen. Ruokohelven siemenet säilyvät maassa itämiskykyisinä ainakin kolme vuotta. Siemenistä viljakasvustossa kehittyvät taimet ovat heiveröisiä ja tuhoutuvat syyskynnössä.

Kirjallisuus

Pahkala, K. 1998. The timing and stubble height of delayed harvest of reed canary grass grown for energy and fibre use in Finland. In: Kopetz, H. et al. (eds). Biomass for Energy and Industry: 10th European Conference and Technology Exhibition; Proceedings of the International Conference, Würzburg, Germany, 8-11 June 1998. Rimpur: C.A.R.M.E.N. p. 204–206.

–, **Eurola, M. & Varhimo, A.** 1999. Effect of genotype and growing conditions on fibre and mineral composition of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.). In: Mela, T. et al. (eds.). Alternative crops for sustainable agriculture : Research progress COST 814; Workshop held at BioCity, Turku, Finland, 13 to 15 June 1999. Luxembourg, European Communities. EUR 19227 EN. p. 29–42. ISBN 92-828-78317.

–, **Mela, T., Hakkola, H., Järvi, A. & Virkajärvi, P.** 1996. Agrokuuidun tuotanto ja käyttö Suomessa : tutkimuksen loppuraportti. I osa. Agrokuittukasvien viljely : viljelytoimenpiteiden ja lajikevalinnan vaikutus agrokuittukasvien satoon ja kivennäisainekoostumukseen. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 3. Jokioinen: Maatalouden tutki-

muskeskus. 68 p. ISBN 951-729-468-9, ISSN-1238-9935.

–, **Mela, T. & Laamanen, L.** 1994. Agrokuuidun tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa. Alustavan tutkimuksen loppuraportti 1990-1992. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 12/94. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 55 p. ISSN 0359-7652.

–, **& Pihala, M.** 2000. Different plant parts as raw material for fuel and pulp production. Industrial crops and products 11(2000): 2–3, 119–128.

Partala, A. & Mela T. 2000. Ruokohelven ravinnetaloustutkimukset. In: Salo, R: (ed). Ruokohelven jalostus ja viljely. Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi : tutkimuksen loppuraportti. II osa. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. Käsikirjoitus.

Topp, G.C., Davis, J.L. & Annan, A.P. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. Water Resources Research 16: 574–582.

Ruokohelpilajikkeet kevätkorjuussa

Katri Pahlkala¹⁾ & Eero Miettinen²⁾

¹⁾Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä,
31600 Jokioinen, katri.pahlkala@mtt.fi

²⁾Maatalouden tutkimuskeskus, Alueellinen tutkimus, Kainuun tutkimusasema, Kipinäntie 16,
88600 Sotkamo, eero.miettinen@mtt.fi

Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) seitsemällä koepaikalla selvitettiin, miten rehuksi jalostetut ruokohelpilajikkeet soveltuvat biomassan tuottamiseen kuidun ja energian raaka-aineksi. Kymmenen ruokohelpilajikkeen keväällä korjattuja satoja vertailtiin vuosina 1996–1999. Kaikki kokeet oli perustettu vuona 1993 ja satoa niistä korjattiin vuoteen 1995 asti pelkästään syksyllä siemenvaiheessa.

Tutkitut ruokohelven rehulajikkeet menestyivät kohtalaisesti kaikilla koepaikoilla. Mittarilajike Palaton kasvoi hyvin kaikilla koepaikoilla, parhaiten Ylistarossa ja Tohmajärvellä. Myös Lara, Vantage ja Venture menestyivät useimmilla koepaikoilla. Lajikkeiden kuiva-ainesadot vaihtelivat vuosittain. Ensimmäisen korjuuvuoden sato oli yleensä pienin. Sadot suurenivat kolmannen korjuuvuoteen asti. Suurimmat keväällä korjatut sadot olivat 11–14 t/ha vuodessa.

Jokioisten, Ruukin ja Ylistaron kokeen Palaton-, Venture- ja Lara-lajikkeista analysoitiin kalium, pii, tuhka ja raakakuitu vuoden 1996 syysadosta ja vuoden 1997 kevätadosta. Analyysi tehtiin erikseen kasvien korsi-, lehtilapa- ja lehtituppiosasta. Kevätkorjuussa korren osuus lisääntyi ja lehtilapojen osuus kuiva-ainesadosta väheni

verrattuna syyskorjuuseen. Lajikkeiden ja kasvupaikan vaikutus oli vähäinen. Eri kasvinosista mitattu raakakuitupitoisuus oli suurin korsissa (48,1–52,1 % kuiva-ainesta). Korsien ja lehtitupprien kuitupitoisuus lisääntyi kevätkorjuussa. Pienimmät tuhka- ja piipitoisuudet mitattiin korresta (tuhka 2,6–5,1 %, SiO₂ 1,09–4,54 %), suurimmat lehtilavoista.

Jokioisista, Ruukista ja Ylistarosta keväällä 1998 korjatun Palaton-lajikkeen eri kasvinosista tehtiin vertailevat sellukeitot, joissa tutkittiin sellusaantoa, kappalukua ja kuidun ominaisuuksia. Sellukuitua saatiin eniten korsista ja lehtitupista, vähiten lehtilavoista, joista saadut kuidut olivat myös lyhyimpiä. Kokonaisista kasveista valmistettu sellu oli sekä määrältään että laadultaan lähinnä korsista valmistettua sellua. Samasta materiaalista mitatut raakakuitupitoisuudet noudattivat melko hyvin sellusaannon vaihteluita. Kappaluku oli pienin korressa, ja suurin lehtilavoista valmistetussa sellussa.

Ruokohelvestä valmistetun sellun laatua voitaisiin parantaa poistamalla kevätkorjatuista kasveista suurin osa lehtilavoista, jolloin myös satotappiot jäisivät vähäisiksi.

Avainsanat: ruokohelpi, Phalaris arundinacea, lajike, sato, kuidut, energia, kasvinosat, kivennäisaineet, sellu

Delayed harvesting of reed canary grass varieties

Ten commercial varieties of reed canary grass were grown in seven locations between latitudes 60.49 and 66.34° N in Finland. Harvesting took place in 1996–1999. The productivity of the varieties was studied at delayed harvesting in spring when the moisture content of the plants was between 10% and 15%. The varieties grew quite well at all experimental sites, even in Lapland. The differences between the varieties in each trial were seldom significant, whereas the variations between growing sites and between harvesting years were at times substantial. Palaton, Lara, Venture and Vantage were productive in most of the trials.

Three varieties (Palaton, Venture and Lara) of reed canary grass grown in three locations were harvested at the seed ripening stage in autumn and at the dead stage in the following spring. The amount of different plant parts (stems, leaf sheaths, leaf blades and panicles) was measured. The mineral composition (ash, Si and K) and the amount

of crude fibre were analysed in each plant fraction, except for panicles. The pulping characteristics, such as pulp yield, amount of screen rejects, kappa number and fibre dimensions, were determined from the plant material harvested in spring.

Significant differences in mineral content and in fibre and pulping properties were found between different parts of the reed canary grass plant. Harvesting time and experimental site affected ash, silicon, potassium and crude fibre contents whereas genotype had only a minor effect. The amount of crude fibre in reed canary grass correlated positively with pulp yield. The stem fraction was the most suitable for fibre production since it contained the lowest amount of minerals and the highest amount of crude fibre and had the highest pulp yield. Spring harvesting and fractionation of the raw material, especially removal of the leaf blades, reduce the mineral content and improve the pulpability and papermaking potential of reed canary grass.

Key words: reed canary grass, fibres, mineral composition, pulping, varieties, dry matter yield, mineral composition, pulping

1 Johdanto

Nykyiset ruokohelpilajikkeet on jalostettu rehutarkoituksiin. Tämän vuoksi toivottavia lajikkeiden ominaisuuksia ovat olleet satoisuus ja korkea rehulaatu, jota on mitattu mm. sulavuutena sekä valkuais- ja raakakuitupitoisuutena.

Kun valitaan tai jalostetaan heinälajikkeita kuitu- ja energiataroituksiin, tärkeimpiä tavoitteita ovat suuri kuiva-ainesato ja runsas korsien määrä biomassassa (Sahramaa & Hömmö 2000). Heinien luontaisesti sisältämät kivennäisaineet saattavat

haitata sekä kuidutus- että polttoprosessia ja lisätä kustannuksia (Burvall 1993, Paavilainen et al. 1996, Flyktman 2000), joten näiden aineiden pitoisuudet raaka-aineessa tulisi saada mahdollisimman pieniksi.

Kun ruokohelpilajikkeet korjattiin syksyllä, lajikkeiden välillä havaittiin sato- ja koostumuseroja (Pahkala 1997). Ruokohelven kevätkorjuun on todettu jo aikaisemmissa tutkimuksissa olevan syyskorjuuta parempi (Pahkala et al. 1994, Pahkala et al. 1996). Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, mitkä nykyisistä rehelajikkeista olisivat satoisia myös kevätkorjuussa, vaikuttaako kasvuston ikä tai

kasvupaikka keväällä korjattuun satoon ja sen laatuun ja mitkä kasvinosat parhaiten soveltuivat non food -tarkoituksiin.

| | |
|-----------------|---------------------------------------|
| 5. Jo 0510 | MTT, Jokioinen |
| 6. Motterwitzer | DSG-Berlin |
| 7. Barphal 050 | Barenbrug |
| 8. Venture | Peterson Seed |
| 9. Lara | Löken Agricultural Rsearch Station |
| 10. V&Sr 8401 | Vågønes |

2 Aineisto ja menetelmät

Ruokohelpilajikkeiden syyskorjuun tulok-
sista vuosilta 1992–1995 on raportoitu jo
aiemmin (Pahkala et al. 1996). Samoin on
kuvattu kokeiden perustaminen. Tässä esi-
tettävät tulokset ovat ruokohelven vuonna
1993 perustettujen kokeiden kevätkorjuus-
ta. Ennen kevätkorjuun aloittamista kaikis-
ta vuonna 1993 perustetuista kokeista, lu-
kuun ottamatta Rovaniemen koe, oli kor-
jattu satoa jo kerran siemenvaiheessa syk-
sillä. Syksyllä 1995 edellä mainittujen ko-
keiden ruudut puolitettiin. Toinen pää kor-
jattiin syksyllä 1995 ja toinen pää keväisin
seuraavina vuosina. Ruudun koko oli kuu-
si–seitsemän neliometriä.

Lajiketutkimuksessa oli mukana yh-
teensä 10 lajiketta:

| | |
|--------------|---|
| 1. R-90-7587 | (Venturen Suomessa lisätty kanta) Peterson Seed |
| 2. Palaton | Peterson Seed |
| 3. Vantage | Iowa Agricultural Experiment Station |
| 4. Rival | University of Manitoba |

Koepaikkakunnat, kokeiden korjuupäi-
vät sekä eri kokeissa mukana olleet lajikkeet
on esitetty taulukossa 1. Kokeiden maalajit
ja viljavuusluvut ovat puolestaan taulukos-
sa 2.

2.1 Laatuanalyysit

Eri kasvinosien osuuksien määrittämistä
varten leikattiin ennen korjuuta jokaisesta
ruudusta 25 × 50 cm:n alalta näyte, joka
kuivattiin. Näytteestä punnittiin kuivattui-
na erikseen korret, lehdet, tupet ja kukin-
not. Kemiallisia määrittämiä varten silput-
tua viljelykasvia kuivattiin kaksi tuntia 105
°C:n lämpötilassa ja edelleen 17 tuntia 60
°C:n lämpötilassa. Näytteet jauhettiin ja
seulottiin 1 mm:n seulalla ennen analyysiä.

Raakakuitu eli se osa kuidusta, joka ei
liukene happo-emäskaittoon, määritettiin
muunnetulla AOAC:n menetelmällä (AO
AC 1980). Tuhka määritettiin gravimetri-
sesti kuivapolton jälkeen, kalium ja pii
ICP-laitteella. Piitulokset on ilmoitettu sili-
kaattina (SiO₂), jonka määrä saatiin kerto-

Taulukko 1. Lajikekokeiden sijainti, korjuupäivät ja lajikkeet (1. R-90-7587, 2. Palaton, 3. Vantage, 4. Rival, 5. Jo 0510, 6. Motterwitzer, 7. Barphal 050, 8. Venture, 9. Lara, 10. V&Sr 8401).

| Koepaikka | Sijainti | Koe | Korjuupäivät | | | | Lajikkeet |
|---------------|---------------|-----|--------------|-------|-------|-----------|-------------------------|
| | | | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | |
| Jokioinen | 60.49N 23.28E | 733 | 20.5. | 16.5. | 19.5. | 19.5. | 1-10 ¹⁾ |
| Laukaa | 62.25N 26.15E | 261 | 13.5. | 11.5. | 13.5. | - | 1-10 |
| Tohmajärvi | 62.11N 30.23E | 601 | 22.5. | - | - | 1-4, 6-10 | |
| Ylistaro | 62.57N 22.31E | 433 | 26.4. | 16.5. | 25.5. | - | 1-4, 6-10 ¹⁾ |
| Ruukki | 64.42N 25.00E | 635 | 20.5. | 20.5. | 20.5. | 5.5. | 1-10 ¹⁾ |
| Sotkamo | 64.60N 28.20E | 291 | 16.5. | 22.5. | 22.5. | 12.5. | 1-4, 6-10 |
| Rovaniemi mlk | 66.34N 26.10E | 292 | 27.5. | 25.5. | 11.5. | - | 1-10 |

¹⁾ laatututkimus: lajikkeet 2, 8, 9

Taulukko 2. Lajiketutkimuksen maalajit ja viljavuusluvut.

| Koepaikka | Maalaji | pH | Johtoluku | Ca mg/l | K mg/l | Mg mg/l | P mg/l | Saves % | Humus % |
|---------------|---------|------|-----------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|
| Jokioinen | HHt | 5,43 | 0,47 | 1018 | 180 | 280 | 7,4 | 29,4 | 4,2 |
| Laukaa | Hs | 5,50 | - | 1110 | 68,0 | 147 | 6,0 | - | - |
| Ylistaro | HHt | 5,31 | 0,82 | 1431 | 71,0 | 142 | 5,2 | 19,3 | 13,4 |
| Tohmajärvi | KHt | 5,70 | 0,80 | 1830 | 46,3 | 159 | 5,2 | - | - |
| Ruukki | HHt | 5,72 | 0,93 | 1213 | 108,0 | 113 | 21,5 | 7,3 | 6,8 |
| Sotkamo | Mm | 5,40 | 1,52 | 1692 | 80,0 | 180 | 5,4 | 12,8 | 20,3 |
| Rovaniemi mlk | HHt | 6,20 | - | 1860 | 238,0 | 603 | 20,0 | - | multava |

malla piitulokset kertoimella 2,1394. Lisäksi g/kg -laatu on muutettu prosenteiksi jakamalla 10:llä. Kivennäisaine- ja raakakuitumääritykset tehtiin Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) Kemian laboratoriossa.

Sellumääritykset tehtiin yhden litran pyörivillä keittimillä. Kasvimassa lämmitettiin 30 minuutissa 165 °C:een ja keitettiin tässä lämpötilassa 10 minuuttia, minkä jälkeen massa pestiin, lajiteltiin ja kuivatettiin. Kokonaissellusaanto, lajiteltu saanto ja keittymätön materiaali eli tikut määritettiin kuiva-aineesta. Lisäksi mitattiin kuitupituus Kajaani-laitteella. Sellumääritykset ja kuitumittaukset tehtiin Keskuslaboratorio Oy:ssä Espoossa.

2.2 Tilastolliset menetelmät

Ruokohelpilajikkeiden kevätkorjuun satoisuusvertailussa havaittiin alustavassa tarkastelussa koepaikkojen välillä niin suurta vaihtelua, että tilastollinen testaus päätettiin tehdä koepaikoittain. Tulosten analysoinnissa käytettiin sekamallia, jossa kiinteinä tekijöinä olivat lajike, vuosi ja näiden yhdysvaikutus, jolloin lajikkeiden ajatellaan käyttäytyvän eri tavalla eri vuosina. Satunnaistekijöinä mallissa olivat kerranne, kerranne \times lajike- ja kerranne \times vuosi-yhdysvaikutukset. Satotuloksia tarkasteltiin toistomittausluonteisen tekijän (vuoden) suhteen. Koska eri vuosien satojen oletettiin korreloivan keskenään, testattiin erilaisia toistomittauksen kovarianssimalleja. Ana-

lysoinnissa päädyttiin kuitenkin strukturoimattomaan (unstructured) rakenteeseen, jossa kovarianssimatriisille ei oleteta mitään matemaattista mallia. Ennen varianssianalyysien suorittamista lajikekoaineiston havaintojen normaalisuutta tarkasteltiin sekä graafisesti että Box-Cox -muunnostarkastelulla. Aineistoon ei tarvinnut tehdä muunnoksia.

Korjuuajan, lajikkeen ja kasvinosan vaikutusta kivennäisaine- ja kuitukoostumukseen tutkittiin varianssianalyysillä, jossa käytettiin sekamallia. Toistomittauksena mallissa oli kasvinosa, kuten aiheesta aikaisemmin julkaistussa tutkimuksessa (Pahkala & Pihala 2000). Sellutulokset on esitetty keskiarvoina.

3 Tulokset

3.1 Ruokohelpilajikkeet kevätkorjuussa

Kaikki tutkitut ruokohelven rehulajikkeet menestyivät kohtalaisesti kaikilla koepaikoilla. Mittarilajike Palaton kasvoi hyvin kaikilla koepaikoilla, parhaiten Ylistarossa ja Tohmajärvellä. Muita lähes kaikilla koepaikoilla hyvin tai kohtalaisesti menestyneitä lajikkeita olivat Lara, Venture ja Vantage (Taulukot 3 ja 4). Jo 0510 oli mukana neljällä koepaikalla, joista Jokioisten ja Ruukin kokeessa se oli paras. Hyvin se viihtyi myös Laukaalla. Rovaniemen kokeessa se oli keskinkertainen.

Taulukko 3. Ruokohelpilajikkeiden kuiva-ainesato verrattuna Palaton-lajikkeeseen Jokioisilla, Laukaassa, Rovaniemellä ja Ruukissa. Verranteen sato ja keskihajonta on merkitty koepaikoittain. Erot ovat merkitseviä, jos p-arvo<0,05.

| Lajike | Jokioinen | | Laukaa | | Rovaniemi | | Ruukki | |
|--------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|
| | Satoero kg | Hajonta P-arvo | Satoero kg | Hajonta P-arvo | Satoero kg | Hajonta P-arvo | Satoero kg | Hajonta P-arvo |
| Palaton | 7974 kg/ha | 381 kg | 6223 kg/ha | 336 kg | 4123 kg/ha | 551 kg | 5599 kg/ha | 495 kg |
| R-90-7587 | 11 | 0,98 | -226 | 0,51 | -1418 | 0,02 | 389 | 0,44 |
| Vantage | -235 | 0,54 | -70 | 0,84 | -148 | 0,79 | 426 | 0,40 |
| Rival | -522 | 0,18 | 76 | 0,82 | 446 | 0,43 | -499 | 0,32 |
| Jo 0510 | 155 | 0,69 | 334 | 0,33 | -401 | 0,47 | 1113 | 0,03 |
| Motterwitzer | -684 | 0,08 | 152 | 0,65 | 222 | 0,69 | -202 | 0,69 |
| Barphal 050 | -429 | 0,27 | 1257 | <0,01 | 1762 | <0,01 | -215 | 0,67 |
| Venture | -747 | 0,06 | 375 | 0,27 | -1107 | 0,05 | -785 | 0,12 |
| Lara | -935 | 0,02 | 881 | 0,01 | 1499 | 0,01 | 715 | 0,16 |
| V&Sr 8401 | -2185 | <0,01 | 211 | 0,54 | 1485 | 0,01 | 259 | 0,60 |

Taulukko 4. Ruokohelpilajikkeiden kuiva-ainesato verrattuna Palaton-lajikkeeseen Sotkamossa, Ylistarossa ja Tohmajärvellä. Verranteen sato ja keskihajonta on merkitty koepaikoittain. Erot ovat merkitseviä, jos p-arvo<0,05.

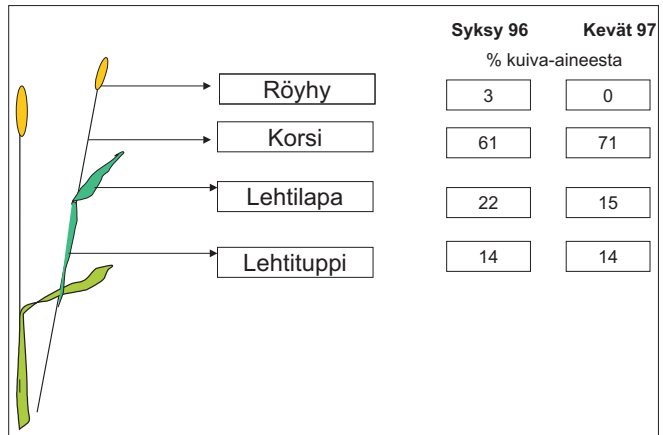
| Lajike | Sotkamo | | Ylistaro | | Tohmajärvi | |
|--------------|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|
| | Satoero kg | Hajonta P-arvo | Satoero kg | Hajonta P-arvo | Satoero kg | Hajonta P-arvo |
| Palaton | 6446 kg/ha | 337 kg | 8987 kg/ha | 1052 kg | 6731 kg/ha | 457 kg |
| R-90-7587 | -240 | 0,48 | -414 | 0,70 | -1594 | <0,01 |
| Vantage | 281 | 0,41 | -999 | 0,35 | -994 | 0,04 |
| Rival | 542 | 0,12 | -1699 | 0,12 | -1030 | 0,03 |
| Motterwitzer | -884 | 0,01 | -3229 | 0,01 | -1404 | 0,01 |
| Barphal 050 | 809 | 0,02 | -3572 | <0,01 | -1244 | 0,01 |
| Venture | -183 | 0,59 | -675 | 0,53 | -717 | 0,13 |
| Lara | 420 | 0,22 | -667 | 0,53 | -914 | 0,06 |
| V&Sr 8401 | -673 | 0,06 | -2011 | 0,07 | -1758 | <0,01 |

Lajikkeiden kuiva-ainesadot vaihtelivat koepaikkojen ja vuosien välillä. Barphal 050 -lajikkeen sato vaihteli koepaikoittain kaikkein eniten. Palaton-lajikkeeseen verrattuna Barphal oli parempi Laukaassa, Rovaniemellä ja Sotkamossa. Ylistarossa lajikkeen sato oli vain vajaat 60 % mittarilajikkeen sadosta (Taulukko 4). Motterwitzer-lajikkeesta saatiin yleensä muita pienempiä satoja, Tohmajärvellä, Sotkamossa ja Ylistarossa ero Palatoniin oli erittäin merkitsevä (Taulukko 4).

Lajikkeiden kuiva-ainesadot vaihtelivat koepaikkojen ja vuosien välillä. Ensimmäisen korjuuvuoden (1996) sato oli yleensä

pienin. Sadot suurenevät kolmanteen korjuuvuoteen asti. Poikkeuksena oli Ylistaro, jossa ensimmäisenä korjuuvuonna saatiin kokeen paras keskisato, 9805 kg, mutta sato putosi noin 4500 kg:aan vuoteen 1998 mennessä.

Lajikkeiden välillä ei tällä koepaikalla ollut sadon pienenemisessä juuri eroja. Vain yhdellä koepaikalla, Laukaalla, ei vuosien välillä ollut eroja, ei kilomääräisiä eikä varsinkaan tilastollisia. Sadot vaihtelivat siellä tutkimusvuosina välillä 6410–6640 kg/ha. Niillä koepaikoilla, joilta satoa korjattiin neljänä vuonna, neljäs sato oli merkitsevästi pienempi kuin kolmas sato. Rovaniemellä,



Kuva 1. Kasvinosien osuudet syksyllä siemenvaiheessa ja keväällä korjatussa ruokohel-
pisadossa.

missä vuoden (1999) sato oli kaikkiaan kolmas keväällä korjattu sato, se oli erittäin merkittävästi suurempi kuin vuoden 1998 tai 1997 sato.

3.2 Ruokohelven kasvinosien kivennäisaine- ja kuitupitoisuus

Jokioisten, Ruukin ja Ylistaron kokeista tutkittiin kolmen lajikkeen (Palaton, Venture, Lara) eri kasvinosien (korsi, lehtituppi, lehtilapa, röyhy) osuuksia. Vuoden 1996 syysstoa ja vuoden 1997 kevätsatoa verrattiin keskenään. Kasvinosista määritettiin kalium-, pii-, tuhka- ja raakakuitupitoisuus. Lisäksi edellä mainituilta koepaikoilta keväällä 1998 korjatusta Palaton-lajikkeesta tehtiin eri kasvinosien vertailevat sellu-keitot, jossa tutkittiin sellusaantoa, kappalukua ja kuidun pituutta.

Korjuu-aika vaikutti korren, lehtilapojen ja kukintojen osuuksiin kuiva-ainesadosta, kuten kuva 1 osoittaa. Keväällä korjattaessa korren osuus lisääntyi ja lehtilapojen osuus kuiva-ainesadosta väheni verrattuna syyskorjuuseen. Vain lehtitupprien osuus pysyi kutakuinkin samana sekä syys- että kevätkorjuussa. Lajikkeiden ja kasvupaikan vaikutus oli vähäinen (Kuva 1).

3.2.1 Kasvinosien raakakuitu- ja kivennäisainepitoisuus

Kasvinosista korren kuitupitoisuus oli suurin (48,1–52,1 % kuiva-aineesta). Myös lajikkeella oli vaikutusta kuitupitoisuuteen, sillä tutkituista lajikkeista Lara sisälsi vähiten kuitua sekä syksyllä että keväällä korjattuna (Taulukko 5). Korsien ja lehtitupprien kuitupitoisuus lisääntyi kevätkorjuussa,

Taulukko 5. Ruokohelplajikkeiden korren, lehtitupen ja lehtilavan raakakuitupitoisuus (% kuiva-aineesta) syksyllä 1996 ja keväällä 1997 Jokioisissa, Ylistarossa ja Ruukissa.

| Vuosi | | Palaton | | | Venture | | | Lara | | |
|-------|-----------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|-------|---------|-------|
| | | Korsi | Tuppi % | Lehti | Korsi | Tuppi % | Lehti | Korsi | Tuppi % | Lehti |
| 1996 | Jokioinen | 40,6 | 39,1 | 27,4 | 39,7 | 36,7 | 27,0 | 36,1 | 34,8 | 26,0 |
| | Ylistaro | 41,3 | 40,2 | 28,4 | 41,2 | 40,9 | 28,7 | 39,4 | 39,5 | 26,8 |
| | Ruukki | 37,8 | 38,5 | 28,4 | 37,3 | 40,3 | 28,1 | 35,1 | 35,8 | 26,9 |
| 1997 | Jokioinen | 50,2 | 39,4 | 28,2 | 52,1 | 39,8 | 30,1 | 48,6 | 37,2 | 27,6 |
| | Ylistaro | 50,1 | 41,4 | 29,1 | 51,7 | 42,3 | 29,2 | 48,0 | 39,3 | 26,7 |
| | Ruukki | 50,3 | 41,0 | 25,9 | 49,8 | 41,5 | 27,3 | 50,0 | 38,5 | 25,9 |

Taulukko 6. Ruokohelpilajikkeiden korren, lehtitupen ja lehtilavan tuhkapitoisuus (% kuiva-aineesta) syksyllä 1996 ja keväällä 1997 Jokioisissa, Ylistarossa ja Ruukissa.

| Vuosi | Korsi | Palaton | | Korsi | Venture | | Korsi | Lara | | |
|-------|-----------|---------|-------------------|--------------------|---------|-------------------|--------------------|---------|-------------------|--------------------|
| | | Tuppi % | Lehti | | Tuppi % | Lehti | | Tuppi % | Lehti | |
| 1996 | Jokioinen | 5,1 | 9,5 | 11,9 | 4,4 | 8,6 | 11,0 | 4,7 | 10,3 | 12,9 |
| | Ylistaro | 4,3 | 8,8 | 11,3 | 3,9 | 8,4 | 10,3 | 4,9 | 9,3 | 12,2 |
| | Ruukki | 3,4 | 7,9 | 10,2 | 3,0 | 7,3 | 9,3 | 3,3 | 7,8 | 10,0 |
| 1997 | Jokioinen | 4,2 | 7,0 | 10,4 | 4,1 | 6,8 | 10,3 | 5,9 | 9,1 | 12,5 |
| | Ylistaro | 3,2 | 5,5 | 7,6 | 3,0 | 5,7 | 8,1 | 4,3 | 6,4 | 9,2 |
| | Ruukki | 2,8 | 7,3 ¹⁾ | 15,9 ¹⁾ | 2,6 | 5,5 ¹⁾ | 12,5 ¹⁾ | 3,1 | 7,5 ¹⁾ | 16,1 ¹⁾ |

¹⁾Epäpuhtautena maa-ainesta.

Taulukko 7. Ruokohelpilajikkeiden korren, lehtitupen ja lehtilavan piidioksidi (SiO₂)-pitoisuus (% kuiva-aineesta) syksyllä 1996 ja keväällä 1997 Jokioisissa, Ylistarossa ja Ruukissa.

| Vuosi | Korsi | Palaton | | Korsi | Venture | | Korsi | Lara | | |
|-------|-----------|---------|--------------------|--------------------|---------|--------------------|--------------------|---------|--------------------|--------------------|
| | | Tuppi % | Lehti | | Tuppi % | Lehti | | Tuppi % | Lehti | |
| 1996 | Jokioinen | 2,61 | 4,26 | 4,75 | 2,25 | 3,89 | 4,26 | 2,44 | 4,90 | 4,96 |
| | Ylistaro | 1,56 | 3,53 | 4,00 | 1,88 | 3,47 | 3,92 | 2,65 | 3,96 | 4,60 |
| | Ruukki | 1,45 | 3,21 | 4,11 | 1,09 | 2,80 | 3,51 | 1,20 | 2,85 | 3,34 |
| 1997 | Jokioinen | 3,44 | 5,24 | 7,17 | 3,21 | 4,98 | 7,68 | 4,54 | 6,76 | 9,37 |
| | Ylistaro | 2,14 | 3,62 | 4,96 | 2,12 | 3,85 | 5,24 | 3,10 | 4,58 | 6,05 |
| | Ruukki | 1,84 | 4,51 ¹⁾ | 9,39 ¹⁾ | 1,69 | 3,34 ¹⁾ | 7,72 ¹⁾ | 1,78 | 4,58 ¹⁾ | 9,11 ¹⁾ |

¹⁾Epäpuhtautena maa-ainesta

mutta jäljellä olevien lehtilapojen kuitupitoisuudessa ei tapahtunut suurta muutosta talven aikana.

Pienimmät tuhka- ja piipitoisuudet mitattiin korresta (tuhka 2,60–5,10 %, SiO₂ 1,09–4,54 %), suurimmat lehtilavoista (Taulukot 6 ja 7). Tuhka- ja piipitoisuuksiin vaikuttivat myös paikkakunta, korjuuaika ja lajike siten, että Ruukissa, jossa maan savespitoisuus oli pienin (Taulukko 2), oli pienimmät pitoisuudet ja Jokioisissa vastavasti suurimmat. Tosin keväällä Ruukissa saatiin lehdistä ja lehtitupista varsin korkeita pii- ja tuhkapitoisuuksia, sillä kova tuuli oli kuljettanut pellon maa-ainesta kokeen päälle. Tämä vaikutti erityisesti lehti- ja lehtitupista tehdyissä analyyseissä. Keväällä korjatussa kasvimateriaalissa oli pienem-

mät tuhkapitoisuudet, mutta suuremmat piipitoisuudet kuin syksyllä siemenvaiheessa korjatuissa kasveissa. Tutkituista kolmesta lajikkeesta Laran kivennäisainepitoisuudet olivat kaikissa kasvinosissa useimmiten suurempia kuin muissa lajikkeissa.

Korkea kaliumpitoisuus laskee tuhkan sulamispistettä, mikä on haitallista, kun ruokohelpeä käytetään polttoaineena. Tässä tutkimuksessa kaliumpitoisuuteen vaikutti eniten kasvin osa ja korjuuaika (Taulukko 8). Lajike vaikutti kaliumpitoisuuteen vähemmän. Korressa oli vain noin puolet siitä kaliumpitoisuudesta, mitä lehdistä mitattiin. Keväällä korjatussa materiaalissa kaliumia oli jäljellä vain noin kymmenesosa syksyn pitoisuuksista.

Taulukko 8. Ruokohelpilajikkeiden korren, lehtitupen ja lehtilavan kaliumpitoisuus (g/kg kuiva-ainetta) syksyllä 1996 ja keväällä 1997 Jokioisissa, Ylistarossa ja Ruukissa.

| Vuosi | Korsi | Palaton | | Venture | | | Lara | | | |
|-------|-----------|---------------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| | | Tuppi g/kg | Lehti | Korsi | Tuppi g/kg | Lehti | Korsi | Tuppi g/kg | Lehti | |
| 1996 | Jokioinen | 11,4 | 21,9 | 24,8 | 9,9 | 20,0 | 22,8 | 10,2 | 26,8 | 25,4 |
| | Ylistaro | 12,7 | 19,1 | 18,7 | 8,4 | 17,1 | 18,4 | 14,5 | 19,8 | 20,9 |
| | Ruukki | 8,5 | 17,9 | 17,4 | 7,9 | 16,6 | 15,5 | 9,1 | 20,6 | 22,7 |
| 1997 | Jokioinen | 0,6 | 1,1 | 4,4 | 0,7 | 1,3 | 2,3 | 0,9 | 1,8 | 2,5 |
| | Ylistaro | 1,1 | 1,6 | 2,2 | 1,3 | 2,0 | 2,4 | 1,4 | 1,9 | 2,7 |
| | Ruukki | 1,6 | 2,4 ¹⁾ | 4,3 ¹⁾ | 1,4 | 2,4 ¹⁾ | 4,0 ¹⁾ | 2,6 | 3,1 ¹⁾ | 4,9 ¹⁾ |

¹⁾ Epäpuhtautena maa-ainesta.

Taulukko 9. Sellusaanto, raakakuitupitoisuus, kuidun pituus ja kappaluku ruokohelven eri osissa keväällä 1998 Jokioisissa, Ylistarossa ja Ruukissa. Lajike Palaton.

| Paikka | Kasvin osa | Kokonais- saanto % | Tikut % | Lajiteltu saanto % | Raaka- kuitu % | Kuidun pituus mm | Kappa |
|-----------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|----------------------|------------------------|-------|
| Jokioinen | Korsi | 52,7 | 0,4 | 52,3 | 53,7 | 0,88 | 9,0 |
| | Lehtituppi | 40,0 | 0,2 | 39,8 | 41,8 | 0,57 | 18,2 |
| | Lehtilapa | 28,9 | 0,0 | 28,9 | 30,2 | 0,52 | 24,8 |
| | Koko kasvi | 46,2 | 0,4 | 45,8 | 45,8 | 0,83 | 12,6 |
| Ylistaro | Korsi | 51,6 | 0,4 | 51,2 | 51,6 | 0,89 | 10,7 |
| | Lehtituppi | 41,2 | 0,1 | 41,1 | 40,4 | 0,61 | 14,7 |
| | Lehtilapa | 30,7 | 0,0 | 30,7 | 30,4 | 0,51 | 21,3 |
| | Koko kasvi | 46,6 | 0,6 | 46,0 | 41,3 | 0,76 | 12,0 |
| Ruukki | Korsi | 50,8 | 0,6 | 50,2 | 50,4 | 0,98 | 10,4 |
| | Lehtituppi | 44,0 | 0,2 | 43,8 | 45,2 | 0,60 | 15,2 |
| | Lehtilapa | 36,2 | 0,0 | 36,2 | 33,6 | 0,56 | 17,8 |
| | Koko kasvi | 47,1 | 0,2 | 46,9 | 46,7 | 0,84 | 11,6 |

3.2.2 Kasvinosien selluominaisuudet

Kun keväällä korjatun ruokohelven eri fraktioista valmistettiin sellua, havaittiin kasvinosien kuitupitoisuuksissa ja keittyvyydessä huomattavia eroja. Sellukuitua saatiin eniten korsista ja lehtitupista, vähiten lehtilavoista, joissa kuidut olivat myös lyhyimpiä (Taulukko 9). Sellun valmistus lehtilavoista oli vaikeaa ja hidasta hyvin lyhyiden kuitujen takia, ja saatu sellu oli väriltään tummaa. Kokonaisista kasveista valmistettu sellu oli sekä määrältään että laa-

dultaan lähinnä korsista valmistettua sellua. Samasta materiaalista mitatut raakakuitupitoisuudet noudattivat melko hyvin sellusaannon vaihteluita.

Sellun laatua ja ligniinipitoisuutta kuvaava kappaluku oli pienin korressa, ja suurin lehtilavoista valmistetussa sellussa. Lehtilavoista saatiin siis vähemmän ja huonolaatuisempaa sellua kuin korsista ja koko kasvusta. Koska sellututkimuksessa oli mukana ainoastaan Palaton-lajike, lajikkeiden välisiä eroja ei tässä tutkimuksessa voitu vertailla.

4 Tulosten tarkastelu

Jos ruokohelpeä halutaan lähivuosina käyttää kuitu- tai energiatarkoituksiin, on tyydyttävä jo markkinoilla oleviin rehulajikkeisiin. Tämä johtuu siitä, että uusia ruokohelpilajikkeita vasta jalostetaan (Sahramaa & Hömmö 2000). Nykyiset lajikkeet osoittautuivat melko kestäviksi ja satoisiksi koko maassa myös keväällä korjattuina. Lajikkeiden välinen vaihtelu oli pienempää kuin vuosien ja koepaikkojen välinen vaihtelu, mikä todettiin syyskorjuussakin (Pahkala et al. 1996). Ne lajikkeet, jotka olivat satoisia syksyllä korjattaessa olivat sitä myös kevätkorjuussa. Laatu tulosten perusteella näyttäisi kuitenkin, että varsin satoisaksi ja taiseiseksi osoittautunut Lara-lajike ei välttämättä sovellu kuitutarkoituksiin (Pahkala et al. 1999).

Tulosten vuosi- ja koepaikkakohtaiseen vaihteluun ei löydetty yksiselitteistä syytä. Keväällä korjattu sato oli kasvanut aina edellisenä kesänä, joten tällöin vallinneet kasvuolot olivat myös vaikuttaneet satoon. Lisäksi kasvuston lakoutuminen talven aikana vaikutti korjuun onnistumiseen.

Kun ruokohelpilajikkeita viljellään kuidun ja energian raaka-aineeksi, tavoitellaan kuiva-ainesatoon mahdollisimman suurta korsien määrää. Korret sisältävät nimittäin vähemmän haitallisia kivennäisaineita kuin lehdet tai lehtitupet (Pahkala & Pihala 2000). Koska korsissa on suurempi kuitupitoisuus kuin lehdistä tai lehtitupissa (Petersen 1988, Hemming et al. 1996, Pahkala et al. 1999), korsien määrä vaikuttaa myös koko sadon sellusaantoon.

Kortta ja raakakuitua oli merkitsevästi enemmän kevätsadossa kuin kasvukaudella

korjatussa sadossa. Sadon korsipitoisuus oli lähes sama kaikilla kolmella lajikkeella, mutta kasvinosien kuitupitoisuuteen lajikkeen sijaan vaikutti. Syy Lara-lajikkeeseen kaikkien kasvinosien kevätsadon pienempään raakakuitupitoisuuteen ja suurempaan kivennäisainepitoisuuteen saattaa mahdollisesti piillä lajikkeen erilaisessa kasvutavassa ja puutteellisessa talveutumisessa pakkasten tullessa.

Korsien suhteellisen osuuden on todettu olevan suoraan verrannollinen raakakuitupitoisuuteen (Pahkala et al. 1996). Raakakuitupitoisuuden ja sellusaannon välillä oli myös selvä yhteys (Pahkala et al. 1999). Lajikkeiden välistä eroa selluominaisuuksissa ei voitu todentaa tässä tutkimuksessa, sillä vain Palaton-lajike analysoitiin. Kasvinosista korsi näytti käyttökelpoisimmalta kuitutuotantoon. Sellusaanto ja sellun laatu eivät kuitenkaan kohtuuttomasti huonontuneet, vaikka koko kasvi olisi käytetty sellun valmistukseen. Lehtilapojen poistaminen kokonaan tai osaksi ruokohelven kevätsadosta parantaisi kuitenkin sellun laatua pienentämättä satoa vielä kovin paljota.

Kiitokset

Useat henkilöt ovat myötävaikuttaneet tutkimusten suorittamiseen. Ruokohelven lajike tutkimukset aloitti professori Timo Mela. Tutkimukset tehtiin pääosin MTT:n tutkimusasemilla, joiden henkilökunta huolellisesti ja taitavasti hoiti kokeita. Kemialliset analyysit tehtiin MTT:n Kemian laboratoriossa Merja Eurolan ja Outi Kurrin johdolla ja selluanalyysit KCL:ssa Antero Varhimon johdolla. Kiitämme heitä kaikkia hyvästä yhteistyöstä.

Kirjallisuus

- AOAC 1980. Crude fibre. AOAC method 7.061. In: Horwitz, W. (ed.). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 13th edition. Washington: Association of Official Analytical Chemists. p. 132. ISBN 0-935584-14-5.
- Burvall, J.** 1993. Production and combustion of reed canary grass powder – a full scale trial. Röbbäcksdalen meddelar. Rapport 9 (1993). Umeå: SLU Info. 31 p. ISSN 0348-3851.
- Flyktman, M.** 2000. Ruokohelven seospoltto turpeen ja puun kanssa. In: Salo, R. (ed.). Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi : tutkimuksen loppuraportti. I osa. Ruokohelven ja oljen korjuu, tuotantokustannukset ja polttotekniikka. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. Käsikirjoitus.
- Hemming, M., Maunu, T., Suokannas, A., Järvenpää, M. & Pehkonen, A.** 1996. Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa. Tutkimuksen loppuraportti. II osa. Ruokohelven korjuu, varastointi ja mekaaninen esikäsitteily sekä tuotantokustannukset ja saatavuus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 4. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 98 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-467-0.
- Paavilainen, L., Tulppala, J., Varhimo, A., Ranua, M. & Pere, J.** 1996. Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa. Tutkimuksen loppuraportti. IV osa. Ruokohelpisulfaattimassa hienopaperin raaka-aineena. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 6. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 57 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-491-3.
- Pahkala, K.** 1997. Sellua peltokasveista. Peltokasvien soveltuvuus sellun raaka-aineeksi. Helsingin yliopisto, Kasvinviljelytiede, Kasvintuotantotieteen laitos. Julkaisu N:o 47. Helsinki: Helsingin yliopisto. 117 p. Lisensiaatin tutkimus. ISSN 1235-3663, ISBN 951-45-7696-9.
- , **Eurola, M. & Varhimo, A.** 1999. Effect of genotype and growing conditions on fibre and mineral composition of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.). In: Mela, T. et al. (eds.). Alternative crops for sustainable agriculture : Research progress COST 814; Workshop held at BioCity, Turku, Finland, 13 to 15 June 1999. Luxembourg: European Communities. EUR 19227 EN. p. 29–42. ISBN 92-828-78317.
- , **Mela, T., Hakkola, H., Järvi, A. & Virkajärvi, P.** 1996. Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa : tutkimuksen loppuraportti. I osa. Agrokuitukasvien viljely : viljelytoimenpiteiden ja lajikevalinnan vaikutus agrokuitukasvien satoon ja kivennäisainekoostumukseen. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 3. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 68 p. ISBN 951-729-468-9, ISSN-1238-9935.
- , **Mela, T. & Laamanen, L.** 1994. Agrokuidun tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa. Alustavan tutkimuksen loppuraportti 1990-1992. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 12/94. 55 p. ISSN 0359-7652.
- & **Pihala, M.** 2000. Different plant parts as raw material for fuel and pulp production. Industrial crops and products 11(2-3): 119–128.
- Petersen, P.B.** 1988. Separation and characterization of botanical components of straw. Agricultural Progress 63: 8–23.
- Sahramaa, M. & Hömmö, L.** 2000. Ruokohelven jalostustutkimus. In: Salo, R: (ed). Ruokohelven jalostus ja viljely. Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi : tutkimuksen loppuraportti. II osa. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. Käsikirjoitus.

Ruokohelven siementuotanto- ominaisuudet Suomessa

Mia Sahramaa¹⁾ & Leena Hömmö²⁾

¹⁾Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä,
31600 Jokioinen, mia.sahramaa@mtt.fi

²⁾Maa- ja metsätalousministeriö, PL 30, 00023 Valtioneuvosto, leena.hommo@mmm.fi

Ruokohelven (*Phalaris arundinacea* L.) Palaton- ja Venture-rehulajikkeiden (USA) siementuotanto-ominaisuuksia tutkittiin Maatalouden tutkimuskeskuksessa (MTT) Jokioisissa vuosina 1995–1998. Siementuotantokokeessa selvitettiin Palatonin korjuuajankohdan vaikutusta siemensatoon, tuhannen siemenen painoon ja itävyyteen. Kokeen aikana Palatonin keskimääräinen siemensato oli ainoastaan 100 kg ha⁻¹. Siementuotanto-ominaisuuksien vaihtelu oli suurta vuodesta ja korjuuajasta riippuen: siemensadon määrä vaihteli välillä 2–432 kg ha⁻¹, tuhannen siemenen paino 0,38–1,06 ja itävyys 12–98 %. Ensimmäisen ja toisen vuoden kasvustoissa siemensato, tuhannen siemenen paino ja itävyys olivat korkeimmat. Palatonin optimaalinen korjuuajankohta oli tällöin 15 päivää kukinnan päättymisestä. Kolmantena ja neljäntenä vuonna perustamisen jälkeen sie-

mensato romahti korkeimmista lukemista ainoastaan muutamaan kiloon.

Varastointikokeessa tutkittiin varastointilämpötilan (+ 20 °C ja + 6 °C) ja ajan (1–19 kk) vaikutusta Venturen itävyyteen. Venturen keskimääräinen itävyys vaihteli 19 kuukauden aikana välillä 73–95,5 %, kun itäneiden siementen määrä laskettiin 35 vrk itämistestin aloittamisesta. Varastointilämpötilalla ja -ajalla oli tilastollisesti merkitsevää vaikutusta itävyyteen ainoastaan seitsemän vuorokautta itämistestin aloittamisesta. Lämpimässä varastoitujen siementen itävyys oli korkeampi kuin viileässä varastoitujen ja yli 10 kuukautta varastoitujen siementen itävyys oli korkeampi kuin alle 10 kuukautta varastoitujen.

Tutkimuksen perusteella ruokohelven siementuotanto on Suomessa mahdollista, mutta siementuotannon tekniikasta tarvitaan lisää tietoa.

Avainsanat: ruokohelppi, Phalaris arundinacea L., itävyys, sato, sadonkorjuu, varastointi, lämpötila

Seed production characters of reed canary grass in Finland

The seed production characteristics of two commercial reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) cultivars Palaton and Venture, were studied in 1995–1998 at Jokioinen in Finland. The effects of harvest time on seed yield, thousand seed weight and seed germination were evaluated for Palaton. The average seed yield of Palaton was only 100 kg ha⁻¹. Variation in seed production characteristics was large: seed yield varied from 2 to 432 kg ha⁻¹, germination from 12% to 98% and thousand-seed weight from 0.38 to 1.06 g depending, on the year and harvest time. In a 1- and 2-yr old plant stand, high seed yield was associated with high thousand-seed weight and good seed germination. At that time the optimum harvest time for Palaton was 15 days after complete anthesis. In a 3- and 4-yr old plant stand, seed yield collapsed from its highest level to only a few kg.

In a storage experiment, the effect of storage temperature (+ 20°C and + 6°C) and storage time (1–19 months) on the number of germinated seeds was investigated for Venture. During the 19-months testing period, and according to the results of a 35-day germination test, mean germination varied from 73% to 95.5%. Storage temperature had a significant influence on germination only during 7 days from initiation of the germination test. Seeds stored at room temperature had a higher mean germination percentage than had seeds stored under cooler conditions. After 7 days of testing, the percentage of germinated seeds was also significantly higher for seeds stored for >10 months than for seeds stored for <10 months. The results of our study indicate that seed production of reed canary grass is possible in Finland, but additional information for optimizing seed production techniques and conditions is needed.

Key words: reed canary grass, Phalaris arundinacea L., germination, harvesting, storage, temperature

1 Johdanto

Monivuotisten heinäkasvien siemenviljely saattaa olla hankalaa pohjoisissa pitkän päivän olosuhteissa, sillä kasvien vegetatiivinen kasvu on usein voimakasta siemensadon kustannuksella. Ruokohelpi on monivuotinen, ristisiittoinen heinäkasvi, joka pystyy tuottamaan paljon biomassaa. Ruokohelpi on Suomessa uusi viljelykasvi, ja sen siementuotanto on osoittautunut melko ongelmalliseksi. Ruokohelven siemen on pieni ja se itää ja kehittyy hitaasti. Siemenet tuleentuvat röyhässä epätasaisesti ja tuleentuttuaan varisevat helposti (Balternsperger

& Kalton 1959). Tuleentumisen epätasaisuus vaikeuttaa oikean korjuuajankohdan määrittämistä ja siemensato jää usein pieneksi ja siemenen itävyys heikoksi.

Ruokohelven viljelyala on Suomessa noin 500–1000 ha. Ruokohelvestä ollaan kiinnostuneita sekä rehuntuotannossa että sellun ja energian raaka-aineena. Mikäli ruokohelven viljely yleistyy Suomessa, on kotimainen siementuotanto taloudellisen viljelyn edellytys. Tällä hetkellä siemenliikkeit toimittavat ruokohelven siementä ulkomailta. Viime vuosina on myös Suomessa Pohjois-Pohjanmaalla aloitettu pienimuotoinen sertifioidun siemenen tuotanto Palaton-rehulajikkeesta. Tämän tutkimuksen

tavoitteena oli selvittää kahden yleisimmän viljelyssä olevan rehulajikkeen, Palatonin ja Venturen, siementuotanto-ominaisuuksia Suomen pitkän päivän olosuhteissa.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Siementuotantokoe

Vuonna 1994 kylvettiin Palaton-lajikketta käyttäen koepelto multamaalle Jokioisiin. Kylvömäärä oli 12 kiloa siementä hehtaarille ja siemenet kylvettiin noin kahden sentin syvyyteen 12,5 sentin rivivälillä. Kylvövuonna rikkakasvit torjuttiin kemiallisesti. Lannoituksen määrä oli 30 kg N ha⁻¹ perustamivuonna ja sen jälkeisinä vuosina 40 kg N ha⁻¹. Vuosina 1995 (koe 1) ja 1996 (koe 2) kasvustosta erotettiin koekentät siementuotantokokeita varten. Siementuotantokokeet toteutettiin neljän kerranteen lohkoittain satunnaistettuina kokeina, ja koe-ruudun tehollinen ala oli 15 m². Siemensato puitiin heinä-syyskuussa Wintersteiger-koeruutupuimurilla. Keväisin talven aikana kuollut kasvusto poistettiin ruutujen päältä ennen kuin uusi vihreä kasvu oli edennyt liian pitkälle.

Siemensato puitiin kokeesta 1 vuosina 1995, 1996, 1997 ja 1998 sekä kokeesta 2 vuosina 1996, 1997 ja 1998. Siemensato puitiin viiden päivän välein eli 10–25 päivää kukinnan päättymisestä (koe 1) ja 15–35 päivää kukinnan päättymisestä (koe 2). Kukinta arvioitiin päättyneeksi, kun 70–80 % röyhyistä oli lopettanut kukintansa. Siemenet kuivattiin lämminilmakuivurissa (+30 °C), puhdistettiin ja seulottiin 2,5 mm seulan lävitse. Siemenet varastoitettiin paperipusseissa n. 10 °C:ssa kahdesta viiteen kuukautta ennen itävyydestauksen aloittamista.

Jokaisen korjuuajan siemennäytteestä määritettiin tuhannen siemenen paino ja itävyys. Itävyyden testaamiseksi kehitettiin ruokohelvelle hyvin soveltuva menetelmä:

100 siementä asetettiin halkaisijaltaan 15 cm itämisastiaan kostean idätyspaperin päälle ja siirrettiin kasvihuoneelle. Vesisäiliöstä johdettiin vesi villalankaa pitkin itämisastiaan, jolloin idätyspaperi pysyi jatkuvasti riittävän kosteana. Kasvihuoneen lämpötila oli 20/15 °C (päivä/yö) ja ilman kosteus 50–70 %. Kasvihuoneen valot olivat päällä klo 8.00–22.00 välisen ajan. Itäneet jyvät laskettiin viikon välein ja poistettiin alustalta. Itäneiden siementen viimeinen laskenta tehtiin 28 vuorokautta itämistestin aloittamisesta.

2.2 Varastointikoe

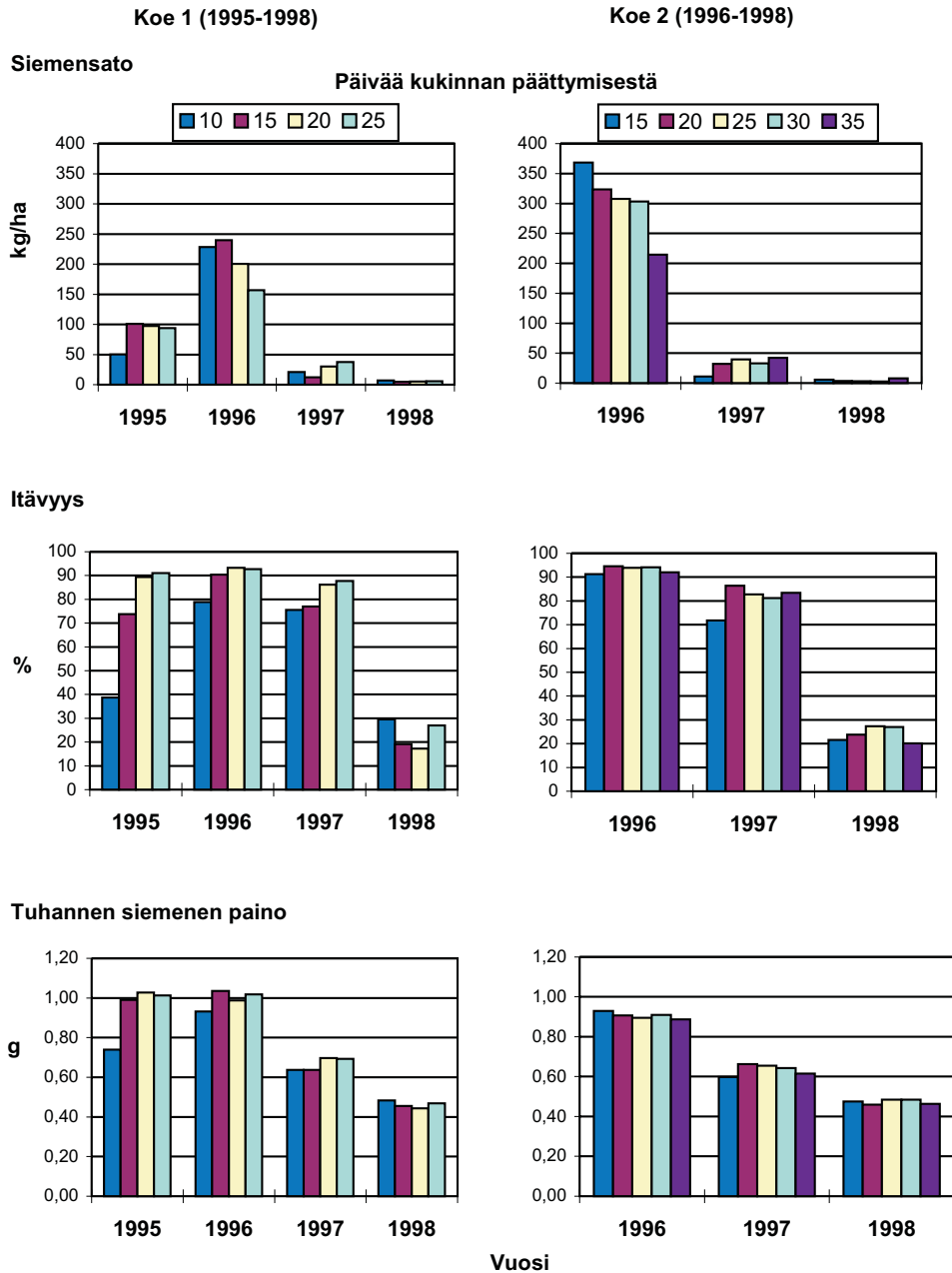
Vuonna 1993 kylvettiin Venture-lajikketta käyttäen koepelto multamaalle Jokioisiin. Siemenmäärä oli 10 kg ha⁻¹ ja siemenet kylvettiin noin kahden sentin syvyyteen 12,5 sentin rivivälille. Typpilannoitusta annettiin vuosittain 40 kg ha⁻¹. Siemensato puitiin 31.7.1995 tavallisella puimurilla (Sampo 600, Rosenlew) noin 25 päivää kukinnan päättymisestä. Siemenet kuivattiin lämminilmakuivurissa (+30 °C) ja varastoitettiin kangassäkissä > +10 °C:ssa noin kuukauden ajan. Tämän jälkeen siemenet siirrettiin lasipurkkeihin, joista osa varastoitettiin huoneen lämpötilassa (+20 °C) ja osa viileässä (+6 °C). Varastointilämpötilan ja varastointiajan vaikutusta siemenen itävyyteen seurattiin kuukauden välein aina maaliskuuhun 1997 saakka. Siementen itävyys testattiin käyttäen edellä kuvattua menetelmää. Itäneiden siementen määrä laskettiin seitsemän vuorokauden välein ja viimeinen laskenta tehtiin 49 vuorokautta itämistestin aloittamisesta. Itämisaikaa 35 vuorokautta käytettiin tulosten analysoinnissa.

3 Tulokset

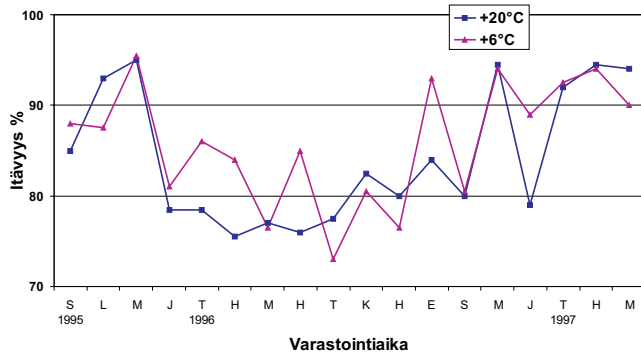
Palatonin siementuotantokokeet perustettiin vuonna 1994. Koe 1 puitiin ensimmäisenä vuonna perustamisen jälkeen, jolloin siemensato oli vähäinen (50–100 kg

ha⁻¹) (Sahramaa & Hömmö 2000) (Kuva 1). Kokeen 2 siemensato puitiin ensimmäisen kerran vasta kaksi vuotta perustamisen jälkeen. Tällöin siemensato, itävyys ja tuhan-

nen siemenen paino olivat kaikkein parhaimmat. Kokeen 2 siemensato oli myös korkeampi (215–367 kg ha⁻¹) kuin toista kertaa puidun kokeen 1 siemensato



Kuva 1. Ruokohelven Palaton-lajikkeen korjuuajankohdan (10–35 päivää kukinnan päättymisestä) vaikutus siemensatoon, itävyyteen ja tuhannen siemenen painoon vuosina 1995–1998.



Kuva 2. Varastointilämpötilan (+ 20 °C ja + 6 °C) ja -ajan (1–19 kk) vaikutus ruokohelven Venture-lajikkeen itävyyteen vuosina 1995–1997.

(157–240 kg ha⁻¹) (Sahramaa & Hömmö 2000). Kolmantena ja neljäntenä vuonna perustamisen jälkeen (1997–1998) molempien kokeiden siemensato romahti korkeimmista lukemistaan ainoastaan muutama kiloon (4–30 kg ha⁻¹). Myös siemenen itävyys ja tuhannen siemenen paino laskivat (Sahramaa & Hömmö 2000).

Palatonin siementuotanto-ominaisuudet vaihtelivat paljon vuodesta ja korjuuajasta riippuen. Siemensato vaihteli välillä 2–432 kg ha⁻¹, itävyys 12–98 % ja tuhannen siemenen paino 0,38–1,06 g (Sahramaa & Hömmö 2000). Koevuosien keskimääräinen siemensato oli ainoastaan 100 kg ha⁻¹. Parhaimpina satovuosina (1995–1996) Palatonin optimaalisin korjuuaika oli 15 päivää kukinnan päättymisestä. Tällöin siemensato oli suuri (100–369 kg ha⁻¹) ja tuhannen siemenen paino (0,93–1,04 g) sekä itävyys (74–91%) korkeat (Sahramaa & Hömmö 2000). Vuosina 1995–1996 aikaisin korjatun (10 päivää kukinnan päättymisestä) kasvuston siemensato oli pienempi ja itävyys sekä tuhannen siemenen paino alhaisemmat kuin myöhemmin korjuissa kasvustoissa. Vuosina 1997 ja 1998 siemensato (2,7–42 kg ha⁻¹), tuhannen siemenen paino (0,45–0,7 g) ja itävyys (17–87 %) olivat yleisesti ottaen matalia ja parhaat sadot saatiin myöhemmin (>15 päivää kukinnan päättymisestä) korjatuista kasvustoista (Sahramaa & Hömmö 2000).

Varastointikokeessa tutkittiin varastointilämpötilan (+ 20 °C ja + 6 °C) ja varastointiajan (1–19 kuukautta) vaikutusta Venturen itävyyteen. Venturen keskimää-

räinen itävyys vaihteli 19 kuukauden aikana välillä 73–95,5 %, kun itäneiden siementen määrä laskettiin 35 vrk itämistestin aloittamisesta (Kuva 2). Itäneiden siementen määrä oli huoneen lämpötilassa keskimäärin 84 % ja viileässä 86 % (Sahramaa & Hömmö 2000). Lämpötilalla oli tilastollisesti merkitsevää vaikutusta itävyyteen ainoastaan seitsemän vuorokautta itämistestin aloittamisesta: lämpimässä varastoitujen siementen itävyys oli korkeampi (15 %) kuin viileässä varastoitujen (8 %) (Taulukko 1). Itävyysprosentti vaihteli huoneen lämpötilassa välillä 0–38 % ja viileässä 0–21 % (Sahramaa & Hömmö 2000).

Lämpötilan ja varastointiajan yhdysvaikutus havaittiin ainoastaan seitsemän vuorokautta itämistestin aloittamisesta. Pitkään varastoitujen (10–19 kuukautta) siementen itävyys oli korkeampi kuin lyhyen aikaa varastoitujen (< 10 kuukautta) siementen. Lyhyen aikaa varastoitujen siementen itäminen oli myös hitaampaa. Pitkään varastoidut siemenet saavuttivat 70 % itävyyden 14–21 vuorokaudessa, kun se lyhyen aikaa varastoiduilla siemenillä kesti 28 vuorokautta (Sahramaa & Hömmö 2000).

4 Tulosten tarkastelu

Palatonin siementuotantokokeessa keskimääräinen siemensato oli parhaimpinakin vuosina alhaisempi (86–304 kg ha⁻¹) kuin muilla pienijyväsillä nurmikasveilla Suomessa (Sahramaa & Hömmö 2000). Viral-

Taulukko 1. Varastointilämpötilan (lämmin + 20 °C/viileä+ 6 °C) vaikutus Venturen itävyyteen vuosina 1995–1998. Itäneiden siementen määrä laskettiin seitsemän vuorokauden välein 49 vuorokauteen saakka. Seuraavat samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät poikkea toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (n=36, Tukeyn HSD-testi, P<0,05).

| Päivä | Lämpötila | Itäneiden siementen määrä, keskiarvo | Keskihajonta | min. | max. |
|-------|-----------|--------------------------------------|--------------|------|-------|
| 7 | lämmin | 15,31a | 12,67 | 0,0 | 38,0 |
| | viileä | 7,94b | 7,49 | 0,0 | 21,0 |
| 14 | lämmin | 61,81a | 24,01 | 2,0 | 96,0 |
| | viileä | 56,72a | 22,2 | 0,0 | 88,0 |
| 21 | lämmin | 71,11a | 19,55 | 17,0 | 96,0 |
| | viileä | 71,39a | 19,93 | 6,0 | 96,0 |
| 28 | lämmin | 78,94a | 14,08 | 26,0 | 97,0 |
| | viileä | 80,06a | 16,6 | 12,0 | 100,0 |
| 35 | lämmin | 84,25a | 8,6 | 69,0 | 97,0 |
| | viileä | 85,92a | 8,14 | 67,0 | 100,0 |
| 42 | lämmin | 85,75a | 7,96 | 72,0 | 97,0 |
| | viileä | 87,03a | 7,5 | 70,0 | 100,0 |
| 49 | lämmin | 86,53a | 7,55 | 73,0 | 97,0 |
| | viileä | 87,92a | 7,19 | 71,0 | 100,0 |

listen lajikekokeiden perusteella timotein (*Pbleum pratense* L.) siemensato on 450–750 kg ha⁻¹, punanadan (*Festuca rubra* L.) 190–350 kg ha⁻¹ ja niittynurmikan (*Poa pratensis* L.) 90–420 kg ha⁻¹ (Mustonen et al. 1987). Siemensadon puinti ensimmäisenä vuonna perustamisen jälkeen vähensi siemensadon määrää seuraavana vuonna. Siemensadon määrä myös laski nopeasti kolmantena ja neljäntenä satovuonna (Sahramaa & Hömmö 2000). Ruokohelven siemensadon vähäiseen määrään lienee monia syitä.

Norjalaisten tutkimusten mukaan (Heide 1994ab) ruokohelpi on lyhyen/pitkän päivän kasvi, joka vaatii kukkiakseen kaksi valojaksoa: alhainen lämpötila (3–12 °C) ja/tai lyhyt päivä (< 12 tuntia) primaari-induktiota varten, ja melko korkea lämpötila ja/tai pitkä päivä sekundaari-induktiota varten. Syksyisin primaari-induktio on usein vähäistä pitkän päivän ja alhaisen lämpötilan olosuhteissa. Primaari-indukti-

on vähäisyys lienee todennäköisin syy ruokohelven pieniin siemensatoihin Norjassa (Østrem 1988) ja sillä on saattanut olla vaikutusta myös tämän tutkimuksen alhaisiin siemensatoihin.

Ulkomaisten tutkimusten mukaan ruokohelven niitto perustamisvuoden syksyllä vähentää seuraavan vuoden siemensatoa jopa 50 % (Hillestad 1994, Jonassen 1994). Ruokohelven tulisi siten syksyllä pystyä varastoimaan tarpeeksi hiilihydraatteja juuristoonsa ennen kasvun loppumista, joten siemenviljelyssä sitä ei kannata niittää perustamisvuonna.

Palatonin siemensadon määrää ja laatua heikentävät myös tuholaiset, joita esiintyi Jokioisten koekentillä erityisen runsaasti etenkin vuosina 1997 ja 1998 (Vasarainen et al. 1999). Siementuotannon kannalta vahingollisimpia olivat kaskaan toukat (*Balclutha punctata* F.) (Kuva 3), jotka vaurioittivat siemeniä ja lisäsivät homeiden kasvua röyhyissä (Sahramaa & Hömmö 2000).



Kuva 3. Kaskaan toukat vaurioittivat ruokohelven siemeniä ja lisäsivät homeiden kasvua röyhyissä Jokioisissa heinäkuussa 1997. Vioittuneet röyhyt näkyvät kuvassa mustina. (Kuva: Mia Sahramaa).

Tuholaislajeja tai niiden runsautta ei kuitenkaan tutkittu tässä tutkimuksessa, joten niiden mahdollista vaikutusta siemensadon määrään ja laatuun ei tiedetä.

Alhainen lämpötila ja kuivuus kukinnan aikana saattavat vähentää ruokohelven siemensatoa (Evans & Ely 1941). Huonoimpina siemenvuonna (1998) kasvukausi Jokioisissa oli viileä ja sateinen, mutta lämpö- ja sadesummat eivät silti eronneet pitkän ajanjakson keskiarvoista. Vuonna 1998 aurinkoisten tuntien lukumäärä touko-syyskuussa oli kuitenkin ainoastaan 861, kun se vuosina 1995–1997 oli keskimäärin 1211.

Kaupallisten ruokohelpilajikkeiden siementen dormanssi eli itämislepo on yleensä heikko. Venturen varastointikokeessa siementen itävyysprosentti pysyikin suhteelli-

sen korkeana alusta saakka koko 19 kuukauden kokeen ajan. Ainoastaan siementen itämisnopeus oli hitaampi lyhyen aikaa varastoiduilla siemenillä (Sahramaa & Hömmö 2000). Sertifioidun siemenen tuotannossa ruokohelven itävyyden tulisi olla vähintään 75 % ja puhtauden 96 % (Kylvösiemen 1997). Optimaalinen korjuuajankohhta on siten kompromissi siemensadon, siementen varisemisen, tuhannen siemenen painon ja itävyyden välillä. Tutkimuksen perusteella ruokohelven siementuotanto on Suomessa mahdollista, mutta siementuotannon tekniikasta (siemenviljelyksen perustaminen, korjuu ja käsittely, talvehtiminen, satovuosien lukumäärä) tarvitaan lisää tietoa.

Kirjallisuus

- Baltensperger, A.A. & Kalton, R.R.** 1959. Variability in reed canarygrass, *Phalaris arundinacea* L. II Seed shattering. *Agronomy Journal* 51: 37–38.
- Evans, M.W. & Ely, J.E.** 1941. Growth habits of reed canary grass. *Journal of the American Society of Agronomy* 33: 1018–1027.
- Heide, O.M.** 1994a. Control of flowering in *Phalaris arundinacea*. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 8: 259–276.
- 1994b. Control of flowering and reproduction in temperate grasses. *New Phytologist* 128: 347–362.
- Hillestad,** 1994. Seed production of reed canarygrass (*Phalaris arundinacea* L.) in Norway. In: NJF-seminarium nr. 241, Fröproduktion, Jokioinen, Finland, 28.-30.6.1994. p. 113–116.
- Jonassen, G.H.** 1994. Autumn treatment in reed canarygrass (*Phalaris arundinacea* L.) and smooth brome grass (*Bromus inermis* L.) for seed production. In: NJF-seminarium nr. 241 Fröproduktion, Jokioinen, Finland, 28.-30.6.1994. p. 123–133.
- Kylvösiemen, 1997. Kasvinviljelijän ammattilehti. 1: 22–27.
- Mustonen, L., Pulli, S., Rantanen, O. & Mattila, L.** 1987. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1979-1986. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 7/87. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 165 p. ISSN 0359-7652.
- Sahramaa, M.K. & Hömmö, L.** 2000. Seed production characters and germination performance of reed canary grass in Finland. *Agricultural and Food Science in Finland*. Submitted.
- Vasarainen, A., Hannukkala, A. & Grahn, J.** 1999. Pests and diseases of reed canary grass, *Phalaris arundinacea* (L.). In: Proceedings of the COST 814 workshop, Crop development for the cool and wet regions of Europe, Turku, Finland, 13.-15.6.1999. p. 294–301.
- Østrem, L.** 1988. Studies on genetic variation in reed canary grass, *Phalaris arundinacea* L. III. Seed yield and seed yield components. *Hereditas* 108: 159–168.

Ruokohelven ravinnetaloustutkimukset

Anneli Partala¹⁾ & Timo Mela¹⁾

¹⁾*Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä,
31600 Jokioinen, anneli.partala@mtt.fi*

Ruokohelven ravinnetaloustutkimuksissa seurattiin ruokohelven ravinteidenottoa, ravinnepitoisuuksia ja ruokohelpiviljelmältä huuhtoutuvia ravinnemääriä. Tavoitteena oli saada kattava kuva kevätkorjatun ruokohelven ravinnetaloudesta.

Keväällä korjattu versosato sisälsi vain noin 15 % lannoitteena annetusta typestä, kun keskikesällä verso sisälsi jopa 68 % lannoitetypestä. Kevätsadon mukana pellolta poistui vain vähän ravinteita: typpeä 50 kg/ha, fosforia 5 kg/ha ja kaliumia 10 kg/ha.

Kokeissa todettiin, että sekä multa- että savimaalla ensimmäinen lannoituskerta ei lisää satoa ja, että ainoastaan savimaalla seuraavien kahden vuoden sato suurenee kaikilla typpilannoitusportailla (0 kg/ha, 50 kg/ha, 100kg/ha ja 150 kg/ha). Multamaalla kasvanut ruokohelpi pystyi tyydyttämään suuren osan typentarpeestaan maasta vapautuvalla tyvellä, joten sato ilman lannoitusta (keskimäärin 6,6 t/ha) oli lähes 2 t/ha suurempi kuin savimaalla.

Ruokohelven ravinnetarvetta vähensi sadon mukana poistuva vähäinen ravinne-

määrä. Myös juuristoon syksyllä varastoituneet ravinteet vähensivät ravinteiden tarvetta. Juuriston biomassassa oli keskimäärin 4 t/ha.

Sekä epäorgaaniset (väkilannoitteet, tuhka) että orgaaniset (puhdistamoliete) lannoiteaineet soveltuivat ruokohelven ravinnelähteeksi. Halvat lannoiteaineet voivat olla taloudellinen lannoitemuoto energiaksi tuotetulle biomassalle, koska lannoituskustannukset ylittävät helposti sadonlisästä saatavan tuoton. Puhdistamolietteestä vapautuu ensimmäisen vuoden aikana runsaasti liukoista typpeä, joten sen käyttö vähätyppisillä mailla on sekä sato-vaikutuksen että ympäristön kannalta paras vaihtoehto. Puhdistamolietteen kadmium ja lyijy eivät haittaa käyttöä, kun niiden käyttörajoituksia noudatetaan.

Ruokohelpinurmesta poistui ravinteita maan läpi suodattuneen veden mukana lähes yhtä paljon kuin heinänuurmelta. Pitkäaikaisessa viljelyssä ravinteita poistuu ruokohelpinurmelta vesistöihin todennäköisesti vähemmän kuin heinänuurmelta.

Avainsanat: ruokohelpi, lannoitus, kasvinravinteet, huuhtoutuminen, jätevesiliete, tuhka, kuitukasvit, raskasmetallit

Research on nutrient balance of reed canary grass

Field and pot experiments were carried out to determine the effects of delayed harvest on the nutrient cycling and nutrient concentration of reed canary grass, and on nutrient leaching from plantations. In a 3-yr field study, four fertiliser rates were applied to reed canary grass in clay and organic soil. A high yield respond was found with the highest N application (150 kg ha^{-1}) in clay soil. In organic soil, the low response to the fertiliser with a simultaneous increase in soil mineral N indicated low fertiliser demand in a delayed harvest system. In May, the above-ground biomass contained only about 15% applied N whereas in July the

content was up to 68%. Some of the N as well as other nutrients were remobilised to the roots in autumn. The large root system, average biomass 4 t/ha, allowed rapid biomass growth early in the spring. Nitrogen and phosphorus leaching rates were at the same level for both timothy and reed canary grass ley over the 4-yr period. However, there was a slight trend towards lower N and P leaching from reed canary grass during the third and fourth years. On a scale of 10 yr, the presumed age of reed canary grass ley in biomass production, the leaching of N and P is lower from reed canary grass than from timothy ley.

Key words: reed canary grass, Phalaris arundinacea L., perennials, nutrients, leaching, fertiliser application, sewage sludge, ash, fibre crops, heavy metals

1 Johdanto

Ruokohelven ravinnetaloustutkimusten lähtökohtana oli se, että tämän monivuotisen juurakollisen heinän viljelystä ja kevätkorjuusta oli saatu hyviä kokemuksia. Jo ensimmäisissä kokeissa oli havaittu, että suhteellisen pienet ravinnelisyäkset tuottivat hyvän biomassasadon (Pahkala et al. 1996). Pitkäaikaisessa kokeessa ruokohelpinurmi oli ollut myös kestävä eli kerran perustettu ruokohelpinurmi kykeni tuottamaan runsaan sadon lähes kymmenen vuoden ajan (Pahkala & Mela 2000).

Kevätkorjuu sopii ruokohelvelle erittäin hyvin, sillä kuivana kuloheinänä korjuu ei riko kasvin luonnollista kasvurytmiä. Ravinnetaloustutkimuksissa seurattiin ruokohelven ravinnevirtoja kasvukaudella jatkuen aina keväällä tapahtuvaan korjuuseen asti. Tutkimuksissa kokeiltiin ruokohelven ravinnelähteenä halpoja orgaanisia jätteitä, jotka edistäisivät taloudellisesti kilpailuky-

kyisen biomassaraaka-aineen tuottamista. Kenttäkokeissa selvitettiin myös ruokohelpebiomassan tuotannon vaikutuksia vesistöihin. Monivuotisen ruokohelven viljelyllä voidaan arvioida peltoviljelyn kasvinravinnepäästöjen pienenevän.

Suhteellisen lyhytaikaisen projektin puitteissa (1995–2000) ei pystytä paneutumaan kaikkiin ravinnevirtoihin kovin syvästi, mutta toteutetut tutkimukset antavat kuitenkin laajan kuvan ravinteiden kulkeutumisesta ruokohelpinurmesta. Tässä artikkelissa ei käydä yksityiskohtaisesti läpi kaikkia toteutettuja kokeita, vaan pyritään kokoamaan yhteen tutkittujen tekijöiden vaikutuksia biomassaviljelmän ravinnevirtoihin. Koemenetelmistä ja tuloksista kerrotaan tarkemmin muissa raporteissa ja julkaisuissa, jotka on lueteltu kirjallisuusluettelossa. Osa näistä tuloksista raportoidaan tämän kirjoituksen ilmestymisen jälkeen.

2 Aineisto ja menetelmät

Ruokohelven kenttä- ja astiakokeita tehtiin useilla maalajeilla (Taulukko 1). Typen hyväksikäyttökoe ja lannoitustasokoe perustettiin vuonna 1995 sekä savi- että multamaalle. Savimaalle ruokohelpinurmi oli kylvetty jo vuonna 1992 (lajike Palaton) ja multamaalle vuonna 1994 (lajike Venture).

Puhdistamolietekokeessa ja huuhtoutumiskokeessa ruokohelpi (lajike Palaton) kylvettiin kokeiden alussa. Astiakokeen taimet oli esikasvatettu ja ne istutettiin koeastioihin maan lannoituksen jälkeen. Kaikissa kokeissa oli jokaisesta käsittelystä neljä lohkoa. Lannoitustaso-, puhdistamoliete- ja huuhtoutumiskoe sekä astiakokeiden koe-kaaviot noudattivat satunnaistettujen täydellisten lohkojen koe-kaavioita. Typen hyväksikäyttökokeen koejärjestely noudatti täydellisesti satunnaistettujen lohkojen osaruutukoetta.

Kenttäkokeiden sato korjattiin toukuussa Haldrup-nurmenkorjuukoneella,

minkä jälkeen ruudut lannoitettiin väkilannoitteilla (Taulukko 2). Astiakokeissa ravinteet ja kalkitusaineet sekoitettiin maahan (Taulukko 3). Puhdistamolietekokeen lietelannoitus on selostettu tarkemmin tulososuudessa. Kaikista koemaista tehtiin ennen kokeiden perustamista maa-analyysit (Taulukko 4). Lisäksi useista kokeista määritettiin maan mineraalimuotoinen tyyppi kasvukauden jälkeen syksyllä ja ennen kasvukauden alkua keväällä (Taulukko 5). Kenttäkokeissa näyte koostui 12–20 osanäytteestä, jotka otettiin kairalla (Ø 1 cm) ruuduittain maasta 0–25 cm syvyydestä. Kunkin ruudun versonäyte koostui 3–4 osanäytteestä (20 cm x 20 cm). Juuristonäyte koostui 6–8 kairalla (Ø 5 cm) 0–25 cm syvyydestä otetusta maanäytteestä, jotka otettiin samasta paikasta kuin versonäyte. Typen hyväksikäyttökokeessa näytteenoton apuna oli osaruudun kokoinen pahvimuotti (1 m²), jossa oli kahdeksan reikää näytteenottoa varten. Juuret pestiin typpikokeessa juurtenpesukoneella (Smucker et al. 1982), muissa kokeissa käsin.

Taulukko 1. Ruokohelven kenttä- ja astiakokeiden numero ja nimi sekä kokeen paikka ja ajankohta.

| No. | Koe | Koepaikka | Ajankohta |
|-----|-------------------------------|------------|-------------------------------|
| 1 | Typen hyväksikäyttökoe | Jokioinen | Toukokuu 1995 - toukokuu 1998 |
| 2 | Lannoitetasokoe | Jokioinen | Toukokuu 1995 - toukokuu 1998 |
| 3 | Puhdistamolietekoe, kenttäkoe | Jokioinen | Kesäkuu 1995 - toukokuu 1999 |
| 4 | Huuhtoutumiskoe | Tohmajärvi | Heinäkuu 1996 - toukokuu 2000 |
| 5 | Tuhkakoe, astiakoe | Jokioinen | Kesäkuu 1995 - huhtikuu 1996 |
| 6 | Puhdistamolietekoe, astiakoe | Jokioinen | Kesäkuu 1995 - huhtikuu 1996 |

Taulukko 2. Kenttäkokeiden lannoitusmuoto ja -määrä sekä koejäsenten määrä ja ruutukoko.

| No. | Lannoite ja ravinnesuhteet | N-tasot kg/ha | Koejäseniä kpl | Ruutukoko m ² |
|-----|-------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------------------|
| 1 | ¹⁵ N-lannoite | 0, 50, 100 (AS) | 3 | 5 (1 [*]) |
| 1 | ¹⁵ N-lannoite | 0, 30, 60 (Mm) | 3 | 5 (1 [*]) |
| 2 | Typpirikas Y-lannos 2, NPK (20-4-8) | 0, 50, 100, 150 | 4 | 15 |
| 3 | Typpirikas Y-lannos 2, NPK (20-4-8) | 0, 70 | 6 | 15 |
| 4 | Pellon Y-lannos 3 NPK (20-3-9) | 0, 64, 160 | 4 | 600 |

* Osaruudun koko

Taulukko 3. Astiakokeiden kalkitus- ja ravinnelähteiden (liuoslannoite, liete, tuhka ja kalkki) sisältämät kokonaisravinnemäärät astiaa (8 litraa) kohti.

| Ravinne | Liuos- lannoitus | ½-liuos- lannoitus | Liete 600 ml/astia | Liete 1800 ml/astia | Tuhka 50 g/astia | Tuhka 100 g/astia |
|--|---------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|
| Dolomiittikalkki turvemaalle (g/astia) | | | | | | |
| | 20 | 20 | | | | |
| Ravinnemäärä (mg/astia) | | | | | | |
| N | 1000 | 500 | 3940 | 11820 | 223* | 446* |
| P | 400 | 200 | 4787 | 14360 | 570 | 1140 |
| K | 1000 | 500 | 554 | 1661 | 3640 | 7280 |
| Mg | 200 | 100 | 479 | 1436 | 739 | 1477 |
| Fe | 100 | 50 | 14586 | 43758 | 400 | 800 |
| Cu | 20 | 10 | 67 | 200 | 1,4 | 2,9 |
| B | 1 | 0,5 | 1 | 3 | 1,4 | 2,8 |

* Astioihin lisättiin 1000 mg typpeä liuoslannoitteena

Taulukko 4. Koemaiden (kenttäkokeissa maakerroksesta 0–20 cm) ravinnepitoisuuksia ennen kokeiden perustamista.

| Koe No. | Maalaji | pH | Orgaaninen C % | P | K | Ca | Mg |
|---------|-------------------|-----|-------------------|------|--------------------|------|-----|
| | | | | | mg/dm ³ | | |
| 1,2 | Aitosavi (AS) | 5,9 | 3,9 | 5,9 | 280 | 2977 | 720 |
| 1,2 | Multamaa (Mm) | 5,3 | 17,9 | 8,0 | 233 | 2484 | 216 |
| 3 | Hieno hieta (HHt) | 6,3 | 2,6 | 100 | 499 | 2027 | 201 |
| 4 | Saraturve (Ct) | 5,0 | | 8,5 | 83 | 2134 | 252 |
| 5,6 | Hieno hieta (HHt) | 5,9 | 1,8 | 12,3 | 214 | 1072 | 164 |
| 5 | Turvemaa | 4,4 | 45,4 | 2,0 | 18 | 1731 | 458 |

Taulukko 5. Kokeiden verso- ja juurinäytteiden sekä maan mineraalityypen näytteenottoajankohhta (kuukausi, vuosi).

| Ajankohta (kk. v) | Versonäyte (koe no.) | Juurinäyte (koe no.) | Maan mineraalityppi (koe no.) |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| Heinäkuu 1995 | 1, 2 | 1, 2 | 1 |
| Lokakuu 1995 | 1, 2, 5, 6 | 1, 2, 5, 6 | 1, 2, 3, 5, 6 |
| Toukokuu 1996 | 1, 2, 5, 6 | 1, 2, 5, 6 | 1, 2, 3 |
| Heinäkuu 1996 | 1, 2 | 1, 2 | 1 |
| Lokakuu 1996 | 1, 2, 3 | 1, 2, 3 | 1, 2, 3 |
| Toukokuu 1997 | 1, 2, 3 | 1, 2, 3 | 1, 2, 3 |
| Heinäkuu 1997 | 2 | 2, 3 | |
| Lokakuu 1997 | 2 | 2, 3 | 2, 3 |
| Toukokuu 1998 | 1, 2, 3, 4 | 2, 3 | 2, 3 |
| Heinäkuu 1998 | 3 | | |
| Lokakuu 1998 | 3 | | |
| Toukokuu 1999 | 3, 4 | | |
| Toukokuu 2000 | 4 | | |

2.1 Kasvianalyysit

Typen hyväksikäyttökokeessa kaikki typpi-määritykset tehtiin massaspektrometrillä, joka mittaa sekä näytteen kokonaistypipitoisuuden että tyypilannoitteena käytetyn typen ¹⁵-isotoopin määrän (Esala 1991). Muissa kokeissa kasvinäytteiden kokonaistyppi määritettiin Leco -autoanalysaattorilla. Fosfori, kalium, kalsium, magnesium, kupari, sinkki ja mangaani mitattiin plasmaemissiospektrometrillä. Lyijy- ja kadmiumpitoisuudet määritettiin aluksi atomiabsorptiospektrometrillä ja myöhemmin plasmaemissiospektrometrillä.

2.2 Maa- ja lieteanalyysit

Typen hyväksikäyttökokeessa maan kokonaistyppi ja mineraalimuotoisen typen typpi-15:n osuus mitattiin massaspektrometrisesti. Maan liukoinen typpi, ammonium- ja nitraattityppi, mitattiin 2 M KCl-liuokseen uutetusta maanäytteestä Scalar -autoanalysaattorilla. Maanäytteiden muut alkuaineet analysoitiin käyttämällä viljavuustutkimuksen menetelmiä. Kivennäisaineet mitattiin hapan ammoniumasetaatti -uutosta (Agricultural Research Centre 1986, Vuorinen & Mäkitie 1995) ja hivenaineet hapan ammoniumasetaatti-EDTA -uutosta (Lakanen & Erviö 1971, Agricultural

Research Centre 1986). Lietteen ravinnepitoisuudet määritettiin samoilla menetelmillä kuin maanäytteiden. Metallipitoisuudet analysoitiin SFS-3044 -menetelmällä (Suomen standardisoimisliitto 1980).

2.3 Vesianalyysit

Huuhoutumiskenttäkokeen salaojavaluntavesistä analysoitiin kokonaistyppi ja -fosfori, liukoinen typpi ja -fosfori, kokonaiskalium, -kalsium ja -magnesium. Kokonaistyppi- ja tyypipitoisuus määritettiin suodattamattomista vesinäytteistä, muut analyysit tehtiin suodatetuista vesinäytteistä.

Ravinnepitoisuudet määritettiin Lachat Quick Chem -autoanalysaattorilla (Turtola & Paajanen 1995). Kalium-, kalsium- ja magnesiumpitoisuudet määritettiin atomiabsorptiometrisesti vedellä laimennetuista (1:5) valuntavesinäytteistä.

3 Tulokset ja niiden tarkastelu

Kaikkien ruokohelven ravinnetaloutta käsittelevien kenttä- ja astiakokeiden päätulokset esitetään tässä ensin erikseen, kokeittain. Lopuksi tuloksista tehdään yhteenveto, jolloin saadaan kuva ruokohelven ravinteiden otosta, ravinteiden kierrosta kevätkorjuussa ja maa-kasvi-systeemissä. Viljelyn ympäristövaikutuksia arvioidaan lähinnä ravinteiden huuhtoutumisen osalta. Ennen tuloksia kunkin kokeen alussa on lyhyt selostus taustasta, eli siitä, mihin kysymyksiin kokeessa pyritään löytämään vastauksia.

3.1 Typen hyväksikäyttökoe

Typpi on tärkein pääravinne, ja sen puute rajoittaa voimakkaimmin kaikkien kasvien biomassan tuotantoa. Kasvinviljelyssä kasvien typen puute, kuten muidenkin ravinteiden puute, tyydytetään lisäämällä maahan lannoitteita. Ne voivat olla joko kaupallisia väkilannoitteita tai orgaanisia jätteenaineita (mm. puhdistamoliete, karjanlanta). Halpaa biomassaraaka-ainetta tuotettaessa lannoitus on kallis investointi, joten lannoitusmäärien tarkentaminen on yksi taloudellisen tuotannon edellytyksistä.

Ruokohelven typen hyväksikäyttökokeessa haluttiin löytää biologinen selitys sille, miksi kevätkorjattu ruokohelpi tarvitsee vähän ravinteita. Ilmiö oli havaittu jo aiemmin käytännön viljelyssä. Tässä kokeessa haluttiin määrittää, kuinka tehokkaasti ruokohelpi käyttää kasvuunsa maahan lisättyä typpeä. Typen käyttötehokkuus mi-

tattiin keskikesällä, kun kasvin arvioitiin sisältävän eniten kasvinravinteita, syksyllä kasvukauden päätyttyä sekä kevätkorjuun aikana. Lisäksi pyrittiin määrittämään, miten juurakollisen heinän juuristo kykenee varastoimaan typpeä, ja mitä se merkitsee typen kierrossa.

Ruokohelpi käytti kesään mennessä parhaimmillaan 2/3 lannoitteena annetusta typestä verson kasvuun. Poikkeuksellisen huonosti ruokohelpi hyödynsi lannoitetyyppeä sateisen kevään jälkeen savimaalla. Tuolloin versoissa oli vain noin 40 % annetusta typestä. Syy vähäiseen lannoitetyypen määrään kasvissa oli ilmeisesti se, että typpi oli virrannut veden mukana savimaan muodostuneiden halkeamien kautta syvälle maahan. Tällöin typpi oli ruokohelven juurten ulottumattomissa.

Syksyllä tapahtuvasta typen siirrosta verson ja juuriston välillä kertoi se, että typipitoisuus laski versossa ja samanaikaisesti nousi juuristossa. Syksyyn mennessä juuriston typpimäärä lisääntyi keskimäärin 23 kg/ha savimaalla ja 32 kg/ha multamaalla (Taulukko 6). Juuriston typen määrä oli syksyllä molemmilla maalajeilla hiukan alle 60 kg/ha. Juuristossa tapahtui talven aikana hieman typpitappioita, kun osa juurista kuoli.

Ruokohelven lannoitetyypen hyväksikäyttö oli yhtä tehokasta kuin muidenkin viljelykasvien. Suomalaisissa oloissa vehnän maanpäälliset kasvinosat sisälsivät korjuuhetkellä 67–85 % annetusta typestä (Esala 1991) ja Norjassa nurmi sisälsi keskimäärin 66 % annetusta typestä (Lyngstad 1991).

Taulukko 6. Ruokohelven verson ja juuriston sisältämiä typpimääriä kesällä, syksyllä ja keväällä (kg/ha). Luvut on laskettu mediaanien keskiarvosta kahden vuoden kaikilta lannoitustasoilta.

| Korjuuaika | N-sisältö, savimaa | | N-sisältö, multamaa kg/ha | |
|------------|--------------------|--------|------------------------------|--------|
| | Verso | Juuret | Verso | Juuret |
| Kesä | 121 | 36 | 146 | 26 |
| Syksy | 59 | 59 | 98 | 58 |
| Kevät | 38 | 49 | 67 | 54 |

Kevätkorjuussa sekä kokonaistyyppä että lannoitetyyppeä poistui pelloilta kuitenkin vähän, mikä alentaa lannoitustarvetta. Sadon mukana poistuvan pienen typpimäärän lisäksi lannoitustarvetta alentaa se, että ruokohelven juurakkoon varastoituu typpeä.

Kokeen tuloksista on raportoitu tarkemmin jo aiemmin (Partala 1999, Partala et al. 1999ab), osa raportoidaan myöhemmin (Partala et al. 2000).

3.2 Lannoitustasokoe

Kevätkorjatun ruokohelven kasvinravinteiden (mm. typpi, fosfori, kalium, kalsium) kierto maa-kasvi-systeemissä eroaa muista viljelykasveista. Tämän vuoksi ruokohelven kasvurytmi muistuttaa luonnonvaraisten heinien kasvua. Luonnonheinien tapaan ruokohelven vihreää kasvustoa ei missään vaiheessa niitetä. Viljeltyjen nurmien niittäminen kasvukaudella kuluttaa juuriston vararavintoja, mikä hidastaa juuriston kehittymistä ja ravinteiden varastointia (Mackie-Dawson 1999). Sen sijaan kevätkorjattu ruokohelpi voi häiriintymättä varastoida ravinteita juuristoonsa ja siten siirtää osan edellisvuoden ravinteista seuraavaa kasvukautta varten.

Tässä kokeessa haluttiin satovaikutuksen lisäksi seurata ruokohelven ravinteiden ottoa ja ravinnetasetta kolmen vuoden aikana käyttämällä erisuuruisia lannoitemääriä. Lisäksi määritettiin, vaikuttaako lannoitus kolmen vuoden aikana kasveille käyttökelpoisen typen määrään maassa.

Kolme vuotta jatkunut lannoitus vaikutti satoon hyvin eri tavoin savi- ja multamaalla (Taulukko 7). Kokeen multamaassa oli luontaisesti runsaasti orgaaniseen ainekseen sitoutunutta typpeä. Sieltä korjattu ruokohelpisato vaihteli 6,3–8,4 t/ha välillä kolmen vuoden aikana, eikä lannoitus juuri lainkaan nostanut satoa. Sen sijaan lannoitamattoman savimaan ruokohelpisato aleni vuosi vuodelta. Lisäksi lannoituksen antama sadonlisä oli ensimmäistä lannoituksen jälkeistä satoa lukuun ottamatta huomatta-

va kaikilla lannoitemäärillä. Ruokohelpisadon mukana poistui myös huomattavasti vähemmän ravinteita kuin rehunurmisadon mukana. Kevätkorjuun aikaan ruokohelven juuriston typen, fosforin ja kaliumin määrä oli suunnilleen yhtä suuri kuin korjattavan kuivan kuloheinän (Taulukko 7). Juuristobiomassaa oli kuitenkin vain noin 4 t/ha, joten juuristossa oli selvästi enemmän ravinteita kuin maanpäällisessä biomassassa.

Orgaanisen aineksen määrä ja laatu aiheuttaa suurta vaihtelua eri maalajeista vapautuvan typen määrässä, minkä seurauksena myös typen lannoitustarve on erilainen. Vaikka keväällä korjatun sadon mukana poistui pieniä ravinnemääriä, sisälsi ruokohelpi kiihkeimmän kasvun aikaan kesäkesällä huomattavia määriä ravinteita. Kesällä multamaalla kasvanut ruokohelpi sisälsi ilman lisälannoitusta typpeä noin 90 kg, kun taas savimaalla sitä oli vain noin 40 kg. Verson kesäinen typen määrä on laskennallinen arvio, jossa kesän ja kevään biomassasato on arvioitu yhtä suuriksi. Verson typen määrä kesällä vastaa suunnilleen maasta ruokohelven käyttöön kasvukaudella vapautuvan typen määrää. Myös loppukesällä ja syksyllä maasta vapautuu typpeä, mutta ruokohelven verso-osissa typen net-

tomäärä ei kesän jälkeen kasva vaan päinvastoin vähenee.

Typen mineralisaatio on erilaista eri maalajeilla. Sen vaikutusta lannoitustarpeeseen kuvaa seuraava esimerkki.

Kun ruokohelven maanpäälliset kasvinosat sisältävät enimmillään noin 140 kg typpeä (sato 7 t/ha ja typpipitoisuus 2 %), voidaan lannoitustarve laskea korkeimman typpisisällön ja maasta kasvukaudella vapautuvan typpimäärän erotuksena. Tässä kokeessa savimaasta arvioitiin vapautuvan noin 40 kg ja multamaasta noin 90 kg typpeä hehtaarin alalta keskikesään mennessä. Laskennalliseksi lannoitustarpeeksi saadaan siten savimaalla 100 kg N/ha ja multamaalla

Jos maasta määritetään typpilannoituksen jälkeen liukoinen typpipitoisuus, havaitaan äkillinen pitoisuuden nousu. Lisäyksen jälkeen liukoinen typpipitoisuus laskee yleensä nopeasti kasvien typenoton seurauksena ja saavuttaa vuoden aikana alkuperäisen tasonsa. Lannoituskokeessa kaksi suurinta lannoitemäärää nosti maan liukoisen typen pitoisuuden korkeammalle tasolle kuin mitä se oli ilman lannoitusta jo toisen peräkkäisen kevätlannoituksen jälkeen eli kahden vuoden kuluttua kokeen aloitta-

Taulukko 7. Ruokohelven kevätsato ja satoero (kg/ha) edelliseen lannoitustasoon (N-taso) verrattuna sekä sadon typpi-, fosfori- ja kaliumsisältö savi- ja multamaalla vuosina 1996–98.

| N-taso kg/ha | Sato kg/ha | Savimaa | | Ravinnesisältö | | | Multamaa | | Ravinnesisältö | | |
|-----------------|---------------|------------------|----|----------------|----|---------------|------------------|----|----------------|----|--|
| | | Satoero kg/ha | N | P | K | Sato kg/ha | Satoero kg/ha | N | P | K | |
| 1. vuosi | | | | | | | | | | | |
| N0 | 6100 | | 32 | 4 | 7 | 6350 | | 41 | 4 | 8 | |
| N50 | 5800 | -300 | 27 | 4 | 6 | 6600 | 250 | 50 | 4 | 9 | |
| N100 | 5850 | 50 | 30 | 4 | 7 | 6570 | -30 | 49 | 4 | 8 | |
| N150 | 5970 | 120 | 31 | 4 | 7 | 7010 | 440 | 48 | 4 | 9 | |
| 2. vuosi | | | | | | | | | | | |
| N0 | 4500 | | | | | 7090 | | | | | |
| N50 | 5440 | 940 | | | | 8390 | 1300 | | | | |
| N100 | 6100 | 660 | | | | 8370 | -20 | | | | |
| N150 | 7490 | 1390 | | | | 7560 | -810 | | | | |
| 3. vuosi | | | | | | | | | | | |
| N0 | 3560 | | 18 | 3 | 7 | 6280 | | 59 | 6 | 14 | |
| N50 | 4810 | 1250 | 24 | 4 | 9 | 6170 | -110 | 71 | 6 | 13 | |
| N100 | 5880 | 1070 | 33 | 5 | 11 | 6990 | 820 | 90 | 8 | 15 | |
| N150 | 6200 | 320 | 38 | 5 | 9 | 6500 | -490 | 91 | 7 | 12 | |

misesta. Kolmantena lannoitusvuonna suurin lannoitemäärä nosti maan liukoisen typen määrän 13 kg/ha suuremmaksi kuin ilman lannoitusta. Käyttökelpoisen typen määrän lisääntyminen ei kuitenkaan nostanut satoa. Maasta määrätyn mineraalityypen pitoisuuden nousu oli huolestuttavaa, koska ruokohelpi ei pystynyt käyttämään hyväkseen maassa liukoisessa muodossa olutta typpeä. Maassa oleva ylimääräinen vesiliukoinen typpi liikkuu helposti sade- ja sulamisvesien mukana rehevöittämään vesistöjä. Savimaalla lannoituksella ei ollut vaikutusta maasta vapautuvan mineraalityypen määrään.

Savimaalla ruokohelpiviljelmän lannoittaminen nosti satoa myös suurimmalla lannoitemäärällä. Kuten tässäkin kokeessa havaittiin, lannoituksen tuottama sadonlisä riippuu kuitenkin paljon kasvukauden aikaisista kasvuoloista, lähinnä sateen määrästä ja sen ajankohdasta (Liite 1). Kasvukaudella 1997 toukokuu oli kuiva, kesä- ja heinäkuu hyvin sateisia, mikä oli todennäköinen syy siihen, että ruokohelven sato oli keväällä 1998 pienempi kuin edellisellä keväänä.

Kokeessa käytetty suurin typpilannoitusmäärä, 150 kg/ha, tuotti savimaalla sadonlisää ilman laadun huononemista. Tosin satoa saatiin kolmantena vuonna vain noin 300 kg/ha enemmän kuin käytettäessä 50 kg/ha pienempää lannoitemäärää. Savimaalla 100 kg/ha näyttäisi olevan sopiva typpilannoitustaso ruokohelven kuitutuotannossa. Sen sijaan multamaalla lannoitustarve oli selvästi alhaisempi, noin 50 kg/ha typpeä, ja osin jopa tarpeeton runsaasti orgaanista typpeä sisältävällä maalla.

Orgaanisella maalla liian suuri typpilannoitus lisää typen huuhtoutumisvaaraa jo muutamassa vuodessa. Liiallisesta typpilannoituksesta on myös seurauksena kasvuston lakoontuminen, jolloin sato jää alhaiseksi ja maasta vapautuvan typen käyttö on tehontonta. Koska sadon mukana poistuu fosforia vain noin 5 kg/ha ja kaliumia vain noin 10 kg/ha, on myös niiden lisäämistarve pieni. Fosforia tarvitaan noin 10 kg/ha ja kaliumia noin 30 kg/ha (viljavuusluokassa

tyydyttävä).

Fosfori- ja kaliumlannoitus voidaan tehdä huuhtoutumisriskin vähentämiseksi ns. varastolannoituksena eli kylvövuoden sijoi- tuslannoituksessa maahan lisätään suurempi määrä fosforia (20 kg/ha) ja kaliumia (40 kg/ha). Sen sijaan typpilannoitukseksi riittää kasvun alkuvaiheessa 40 kg/ha. Lannoitusmääriä on kuitenkin tarkennettava maan liukoisten ravinnetietojen pohjalta.

Orgaanisilla mailla lannoittaminen joka toinen vuosi voisi antaa energiakäyttöön tuotetulle biomassalle pitkäaikaisessa viljelyssä taloudellisesti parhaan tuloksen. Väli- vuoden pitämistä lannoituksessa puoltaa myös se, että ruokohelven juuristo varastoi ravinteita seuraavaa kasvukautta varten. Tämä pidentää lannoitelisäyksen vaikutusaikaa myös seuraavaan vuoteen.

Kuitukäyttöön tarkoitettu biomassaraaka-aineesta maksetaan noin kaksi kertaa enemmän kuin energiakäyttöön tarkoitettu raaka-aineesta. Siksi bioenergian tuotannossa taloudellisesti kannattavinta on väkilannoitteiden nykyhinnoilla vähentää vuosittaisia typpilannoitemääriä 20–40 kg/ha.

3.3 Puhdistamolietekoe

Lannoitus aiheuttaa huomattavia kustannuksia biomassaviljelyssä. Tämän vuoksi kokeessa haluttiin selvittää, sosisiko ilmainen ja ravinnerikas puhdistamoliete ruokohelven lannoitukseen. Edullisuutensa lisäksi puhdistamolietteen käyttö minimoi biomassatuotannossa epätoivottujen aineiden (mm. raskasmetallit) joutumista ravintoketjuun, kun lietettä ei käytetä ruoaksi tuotettujen kasvien lannoitukseen. Tässä kokeessa mitattiin puhdistamolietteen arvoa kasvinravinteenlähteenä. Lisäksi seurattiin, kulkeutuvatko lietteen sisältämät raskasmetallit kasviin.

Ruokohelpi kylvettiin hietamaalle 3. heinäkuuta 1995 ruuduittain. Puhdistamoliete oli ennen kylvöä levitetty ja sekoitettu maan pintakerrokseen kahdelle koejäsenelle, ja kahdelle muulle koejäsenelle liete levi-

tettiin maan pintaan seuraavana keväänä. Molempina ajankohtina levitettiin sekä pienempi (kuiva-aineeksi muutettuna noin 9 t/ha) että suurempi (kuiva-aineeksi muutettuna noin 26 t/ha) lietemäärä. Lietemäärille asetettujen rajoitusten mukaan pienempi lietemäärä vastasi kahden vuoden levitysmäärää ja suurempi kuuden vuoden levitysmäärää. Lainsäädännön mukaan lietettä saa levittää viiden vuoden määrän kerrallaan.

Kokeen perustaminen onnistui hyvin ja ruokohelpi aloitti jo kylvövuonna nopean kasvun. Kevällä kaksi vuotta kylvön jälkeen korjattiin ensimmäinen sato, joka oli keskimäärin 6 t/ha. Hietamaa oli luontaisesti ravinnerikasta ja sato nousi vain vähän väki- tai puhdistamolietelannoitteilla. Toisen ja kolmannen vuoden keskimääräinen sato oli koko kokeessa 9,3 ja 7,2 t/ha. Väkilannoitteella ja puhdistamolietteellä saatu sadonlisäys oli muutamia satoja kiloja vuosittain. Vaikka puhdistamolietteen vaikutus ei näkynytkaan biomassasadossa, se näkyi sekä verson kohonneena typpipitoisuutena että maan liukaisen typen nousuna lietteen lisäyksen jälkeen. Kevällä vuoden kuluttua suurimmasta lietalisäyksestä liukaisen typen määrä oli maassa jopa kuusi kertaa (20 kg/ha → 123 kg/ha) suurempi kuin ilman lannoitusta. Syksyllä ero oli samaa luokkaa ja seuraavan kahden vuoden aikana ero oli vielä kaksin- tai kolminkertainen. Neljä vuotta lietalisäyksen jälkeen suurten lietemäärien käyttö ei näkynyt enää maan liukaisen typen määrässä. Huomattavaa on kuitenkin myös se, että maan liukainen typpimäärä ei laskenut neljään vuoteen, vaikka lannoitteita ei käytetty. Myös biomassasato pysyi koejakson ajan korkeana, vaikka kasvusto ei saanutkaan ravinnelisäystä. Viljelty hietamaa oli viljavaa ja pystyi tyydyttämään hyvän biomassasadon vaatiman ravinnetarpeen myös ilman lannoitusta koko koejakson ajan.

Lietelisäyksellä ei ollut vaikutusta ruokohelven kadmium- ja lyijypitoisuuksiin. Myöskään maan kadmium- ja lyijy- tai fosforipitoisuudessa ei havaittu nousua lietettä käytettäessä.

Lietteen runsas käyttö lisäsi huomatta-

vasti kasvin mahdollisuuksia käyttää typpeä kasvuunsa, mutta kasvukaudella vapautuneen liukaisen typen suuri määrä lisäsi myös typen huuhtoutumisen riskiä. Lietteen käyttö ravinnelähteenä onkin tehokainta sellaisilla maalajeilla, joiden fosforipitoisuus on alhainen ja typen mineralisaatio vähäistä. Suomalainen puhdistamoliete on raskasmetallipitoisuuksiltaan käyttökelpoista ainakin osittaisena ravinnelähteenä non food -tuotannossa, sillä sadon tai maan raskasmetallipitoisuudet eivät kohoa, mikäli lietettä ei käytetä yli laillisen määrän.

Koetuloksista on raportoitu aiemmin NJF:n seminaarissa (Partala et al. 1999).

3.4 Huuhtoutumiskenttäkoe

Ravinteiden huuhtoutuminen pelloilta vesistöihin on yksi pahimmista viljelyn aiheuttamista ympäristöongelmista. Uusien kasvien ja viljelymuotojen käyttöönotto laajoilla alueilla vaikuttaa ravinnepäästöjen määriin ainakin paikallisesti pitkän aikaa.

Tässä kokeessa verrattiin ravinteiden huuhtoutumista rehunurmesta, jonka ravinteiden huuhtoutumisriski on vähäisin, ja kevätkorjatusta ruokohelpiviljelmästä. Turvemaalla kasvavasta rehunurmesta on aiemmissa kokeissa todettu huuhtoutuvan fosforia saman verran, mutta typpeä noin 50 % vähemmän kuin ohrasta (Huhta 1989). Kevätkorjattu ruokohelpiviljelämä poikkeaa rehunurmesta sekä korjuuajankohdan osalta. Molemmat eroavaisuudet voivat vaikuttavaa oleellisesti veden liikkeisiin ja veden mukana liikkuviin ravinnemääriin.

Molemmat nurmet kylvettiin heinäkuussa 1996 Tohmajärvelle saraturvemaalle. Ruokohelpinurmi perustettiin suhteellisen myöhään kasvukaudella, mikä aiheutti ruokohelven hitaan kasvuunlähdon ja paikakylvötärpeen keväällä 1997. Molempia nurmia lannoitettiin joko ns. tavanomaisella lannoitemäärällä: heinänurmi 160 kg typpeä ja ruokohelpi 64 kg typpeä hehtaarille tai tavanomaista pienemmällä lannoitemäärällä: heinänurmi 64 kg typpeä ja

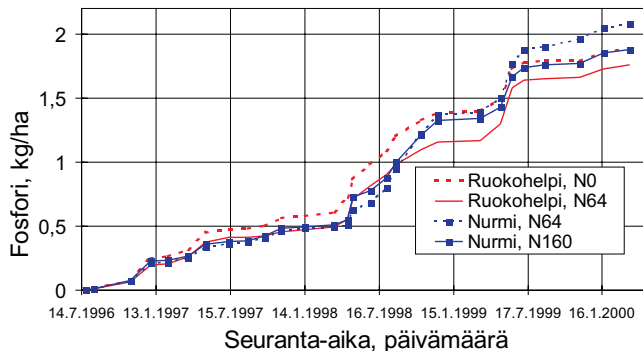
ruokohelpi 0 kg typpeä hehtaarille. Kokeen turvemaassa pintavalunta oli vähäistä ja suurin osa valunnasta tapahtui salaojien kautta, joten nyt esitetyt tulokset koskevat ainoastaan salaojavaluntaa.

Kun tarkastellaan tuloksia vuosittaisina huuhtoumamäärinä, havaitaan selvästi eniten typpeä huuhtoutuvan salaojien kautta ensimmäisenä vuonna, jolloin kasvustot eivät olleet vielä kehittyneet. Fosforin huuhtoutuminen riippui selvästi valunnan määrästä. Koejaksolle ajoittuu yli puolen vuoden ajanjakso (maaliskuu 1998–joulukuu 1998), jolloin valunta oli jatkuvasti runsasta ja vei samalla mukanaan suuren osan kokeen aikana huuhtoutuneesta fosforista. Kokonaisuutena fosforin ja typen huuhtoumissa ei ollut suuria määrällisiä eroja heinä- ja biomassanurmien välillä (Kuvat 1 ja 2). Ainoastaan suurimman lannoitemäärän vuosittain saaneelta heinänuurmelta huuhtoutui neljän vuoden aikana noin 9 kg/ha enemmän typpeä kuin muilta nurmilta, joilta poistui koko ajanjaksona typ-

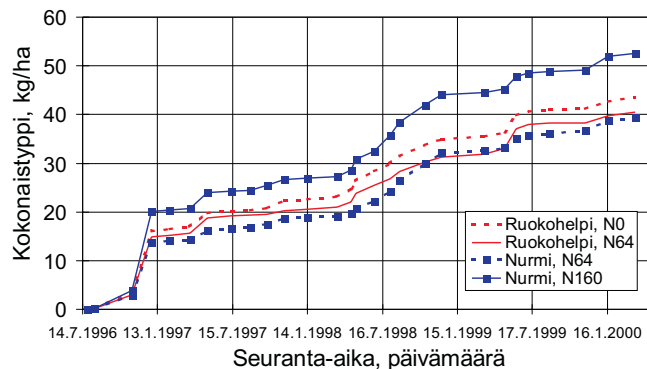
peä 40–44 kg/ha.

Pelloilta tuleva valunta on suurinta keväisin lumien sulamisen johdosta ja syksyisin syysateiden aikana (Kuva 3). Vaikka nurmien välillä ei ollutkaan suuria eroja poistuneissa ravinnemäärissä, oli huuhtoutumishuippujen ajankohdassa havaittavissa pieni ero. Heinänuurmesta huuhtoutui syksyisin enemmän ravinteita, kun taas biomassanurmesta niitä poistui enemmän keväisin. Ero johtuu todennäköisesti maanpinnan erilaisesta kasvustopeitteestä. Syksyllä heinänuurmikasvusto on 10–20 cm pitkä odelmaa, joka ei estä sadeveden kulkua maahan. Sen sijaan biomassanurmessa on koko kasvukauden ajan vahva kasvusto, joka ottaa ja haihduttaa vettä syksyllä pidempään. Keväällä ruokohelpinurmesta vapautui enemmän ravinteita ainakin siitä syystä, että sulamisvedet ja sateet kuljettivat mukanaan kuolleista kasvinosista liuenneita ravinteita.

Koejakso osoitti, että ilman hyvin kasvavaa kasvustoa maa on aina altis ravinte-

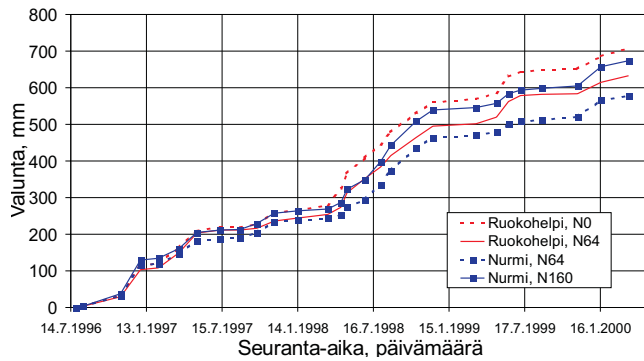


Kuva 1. Huuhtoutuneen kokonaisfosforin kertymä ruokohelpi- ja nurmikasvustoista 25. heinäkuuta 1996 – 24. maaliskuuta 2000. Nurmien lannoitustaso on ilmoitettu lyhenteillä; N0 = ei lannoitusta, N64 = vuosittainen typpilannoitus 64 kg/ha, N160 = vuosittainen typpilannoitus 160 kg/ha



Kuva 2. Huuhtoutuneen kokonaistypen kertymä ruokohelpi- ja nurmikasvustoista 25. heinäkuuta 1996 – 24. maaliskuuta 2000. Nurmien lannoitustaso on ilmoitettu lyhenteillä; N0 = ei lannoitusta, N64 = vuosittainen typpilannoitus 64 kg/ha, N160 = vuosittainen typpilannoitus 160 kg/ha.

Kuva 3. Valunnan kertymä ruokohelpi- ja nurmikasvustoista 25. heinäkuuta 1996 – 24. maaliskuuta 2000. Nurmien lannoitustaso on ilmoitettu lyhenteillä; N0 = ei lannoitusta, N64 = vuosittainen typpilannoitus 64 kg/ha, N160 = vuosittainen typpilannoitus 160 kg/ha.



den huuhtoutumiselle. Kaksi ensimmäistä vuotta ruokohelpinurmi kasvoi vielä heikosti ja sinä aikana huuhtoutuminen oli hieman suurempaa kuin nurmikasvustosta. Kolmantena ja neljäntenä vuonna, kun ruokohelpikasvusto oli jo elinvoimaista, ravinteita poistui rehunurmikasvustosta hieman enemmän. Koejakso jäi lyhyeksi ajatellen ruokohelpinurmen kokonaiskiertoaika eli viljelyaika yhdellä kylvökerralla, joka olisi noin kymmenen vuotta biomassatuotannossa. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että ruokohelpikasvuston ravinnehuuhtoutumat pysyvät pieninä myös kymmenvuotisen kierron loppuajan.

Kierron aikana rehunurmikasvusto perustettaisiin vielä kaksi kertaa uudelleen. Nurmen perustamisvaiheessa maassa ei ole kasvavaa kasvustoa, jonka juuristo ottaisi maan liukoisia ravinteita. Tämä aiheuttaa riskin ravinteiden huuhtoutumiselle. Toisaalta, kun runsasjuurinen ruokohelpinurmi kynnetään kymmenvuotisen kierron päätteeksi, on mahdollista, että maahan kerääntyneen orgaanisen aineksen hajoaminen tuottaa suurempia ravinnepäästöjä kuin lyhyempi kiertoisen rehunurmen kynnä. Kokonaisuutena on oletettavaa, että ruokohelpikasvuston ravinnehuuhtoutumat ovat kymmenvuotisessa kierrossa pienemmät kuin rehunurmen.

Kokeen ensimmäisten vuosien tuloksista on raportoitu aiemmissa julkaisuissa (Partala & Turtola 1997, 1998).

3.5 Tuhka- ja puhdistamolietekoe, astiakokeet

Astiakokeet perustettiin 28. kesäkuuta 1995 katokselliseen, seinättömään astiakoehalliin. Ruokohelven (lajike Palaton) pottitaimet istutettiin valkoisiin kahdeksan litran astioihin, joissa oli ulkokuori (altakasteluruukku, Kick-Braumann). Kaikki lannoitteet (liuos, liete ja tuhka) sekoitettiin maahan, jota tuli kuhunkin astiaan kuusi litraa. Liete oli peräisin Helsingin Viikinkimäen jätevedenpuhdistamolta ja tuhka oli kevätkorjatun ruokohelven tuhkaa. Ruokohelpi istutettiin ruukkuihin yksi potti/ruukku. Kasvukaudella astioita kasteltiin sekä päältä että alta deionisoidulla vedellä. Verso-, juuristo- ja maanäytteet otettiin syksyllä kasvukauden jälkeen (1. marraskuuta 1995) ja seuraavana keväänä ennen kasvukauden alkua (23. huhtikuuta 1996).

3.5.1 Tuhkakoe

Kuitukäytön ohella ruokohelven biomassaa voidaan käyttää energiantuotantoon, jolloin ruokohelpisilppua poltetaan lämpövoimaloissa. Syntynyt tuhka voidaan kierrättää takaisin biomassantuotantoon hyödyntämällä palamattomat ravinteet. Tuhka sisältää pääosin kaikki ne kasvinravinteet, jotka pellolta korjatussa sadossa ennen poltoa ovat. Ainoastaan typpi häviää kokonaan, jos palaminen on ollut täydellistä. Tuhka sisältää kasvinravinteita ja kohottaa maan pH:ta.

Ruokohelpeä poltettaessa syntyy noin 7 % tuhkaa (Flyktman 1998). Jos kevätkorjattu biomassasato on 6 t/ha, hehtaarin sadosta jää polttamisen jälkeen noin 420 kg tuhkaa. Astiakokeessa käytetyn tuhkan ravinnepitoisuuksilla tämä hehtaarilta saata-va tuhkamäärä sisältää kasvinravinteita seuraavasti: typpeä 1,4 kg, fosforia 3,7 kg, kaliumia 24 kg, magnesiumia 4,8 kg ja kalsiumia 11,7 kg. Jos ruokohelven viljelyala olisi 100 000 ha, syntyisi energiakäytön yhteydessä 4,2 milj. kg tuhkaa. Tämä tuhkamäärä riittäisi pellolle levitettynä 210 hehtaarille, jos levitysmäärä olisi sama kuin astiakokeen pienempi tuhkamäärä (50 g/astia = 20 t/ha).

Tuhka sisälsi liuoslannoitteeseen verrattuna paljon kaliumia, fosforia ja magnesiumia (Taulukko 3). Tuhkan kalkitusvaikutus oli huomattava, sillä tuhkamäärä 100 g/astia nosti hietamaan pH:ta noin 0,5 yksikköä ja turvemaalla noin 1,0 yksikköä. Tuhka nosti turvemaan pH:ta saman verran kuin dolomiittikalkki (20 g/astia) eli tuhkan suhteellinen kalkitusteho oli noin 20 % dolomiittikalkin kalkitustehosta. Tuhka nosti maassa liukoisten kaliumin, fosforin ja magnesiumin määriä huomattavasti. Viljavuuspalvelun luokituksen mukaan maiden fosfori- ja kaliummäärät olivat suuremman tuhkalisäyksen jälkeen jopa arveluttavan korkeita.

Turvemaalla kasvanut ruokohelppi sai käyttöönsä suuria määriä tuhkan ravinteita,

sillä keväällä korjattu ruokohelppi sisälsi huomattavasti enemmän kaliumia, mutta myös fosforia kuin liuoslannoituksen saanut ruokohelppi (Taulukko 8). Hietamaalla kasvaneen ruokohelven ravinnepitoisuudet ja sato olivat samaa luokkaa kuin liuoslannoitetta saaneen ruokohelven. Turvemaalta korjattu sato oli huomattavasti suurempi kuin hietamaalta. Pääosin ero johtunee turvemaan heikosta ravinteidensitomiskyvystä, joka lisää ravinteiden käyttökelpoisuutta kasveille. Toinen edistävä tekijä voi olla turvemaan löyhä rakenne, joka mahdollistaa ravinteita sitovan laajan juuriston kehittymisen.

Tämänhetkiselä energialaitosten poltoteeniikalla ruokohelpeä poltetaan muiden energialähteiden seassa (turve, hake), joten puhdasta ruokohelppituhkaa ei poltossa yleensä synny. Seospoltossa tuhkan ravinne- ja kalkitusvaikutuksen määrittelevät kaikkien seospolttoaineiden ominaisuudet. Kokeen tulosten perusteella puhdas ruokohelven tuhka voi toimia sekä kalkitusaineena että useiden kasvinravinteiden (kalium, fosfori) lähteenä. Koska tuhka ei sisällä tavallisesti lainkaan typpeä, on biomassan viljelyssä käytettävä sen ohella myös typpilannoitusta.

3.5.2 Lietekoe

Astiakokeessa käytetyt lieteannokset olivat

Taulukko 8. Lannoittamattoman ja tuhalla lannoitetun ruokohelven keväsato (g/astia) sekä sen ravinnepitoisuudet verrattuna liuoslannoitetta saaneen ruokohelven sadon pitoisuuksiin. Typpi-, fosfori-, kalium-, kalsium- ja magnesiumipitoisuus on ilmoitettu liuoslannoitteen kohdalla suluissa g/kg kuiva-ainetta.

| Ravinne | Hietamaa | | Tuhka | | Turvema | | Tuhka | |
|-------------------|---------------------|---------------------|---------------|----------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|
| | Liuos- lannoitus | Lannoit- tamaton | 50 g/astia | 100 g/astia | Liuos- lannoitus | ½-liuos- lannoitus | 50 g/astia | 100 g/astia |
| Sato (g/astia) | 100 (45) | 11 | 102 | 103 | 100 (76) | 68 | 80 | 116 |
| N (g/kg) | 100 (8,8) | 110 | 91 | 108 | 100 (7,6) | 86 | 91 | 83 |
| P (g/kg) | 100 (1,3) | 241 | 72 | 111 | 100 (1,9) | 68 | 137 | 136 |
| K (g/kg) | 100 (12,8) | 113 | 114 | 135 | 100 (6,4) | 79 | 233 | 239 |
| Ca (g/kg) | 100 (3,9) | 124 | 96 | 90 | 100 (4,2) | 121 | 69 | 38 |
| Mg (g/kg) | 100 (1,9) | 123 | 107 | 131 | 100 (3,9) | 130 | 68 | 64 |

samaan maatilavuuteen laskettuna noin kuusi kertaa suurempia kuin kenttäkokeessa käytetyt eli kuiva-aineksi muutettuna noin 59 t/ha ja 177 t/ha. Astiakokeen lietteen fosfori-, kadmium- ja lyijypitoisuudet olivat kaksin- tai kolminkertaisia verrattuna kenttäkokeessa käytettyyn lietteeseen, joten käytetyt lietemäärät ylittävät sallitut käyttömäärät moninkertaisesti. Yksi kokeen päätarkoitus oli selvittää lietteen sisältämien raskasmetallien kulkeutumista. Siksi tutkimukseen valittiin Helsingin puhdistamoliete, joka sisälsi enemmän raskasmetalleja kuin Suomessa syntyvät lietteet keskimäärin sisältävät. Esimerkiksi fosforille asetettujen ohjearvojen perusteella kokeessa käytetty pienempi lietemäärä voitaisiin levittää pellolle 80 vuoden aikana ja suurempi lietemäärä 240 vuoden aikana.

Todella runsas lietemäärä nosti maan liukaisen typen pitoisuutta, kun taas liukaisen fosforin pitoisuudessa ei havaittu nousua. Liete sisälsi kuitenkin paljon fosforia, joka oli helposti kasvin käytettävissä, mistä osoituksena oli ruokohelven korkea fosforipitoisuus kevätkorjuuhetkellä. Lietteiden kalium oli myös helposti kasvin otettavissa.

Ruokohelpeen ei kerääntynyt lietalan-

noituksella lyijyä enempää kuin liuoslannoituksella, vaikka maa-analyysit selvästi osoittivat liukaisen lyijyn pitoisuuden nousun maassa. Sen sijaan ruokohelven kadmiumpitoisuus nousi runsaalla lietalannoituksella, vaikka maan liukaisen kadmiumin nousua ei ollut havaittavissa (Taulukko 9).

Puhdistamoliete osoittautui liukoisia ravinneliukoiksi vastaavaksi ravinnelähteeksi ruokohelven viljelyssä. Ruokohelppi pystyi tuottamaan jopa suuremman biomassan puhdistamolietettä käytettäessä (Taulukko 10). Annettu lietemäärä oli erittäin runsas ja se ylitti peltoviljelyssä raskasmetallipitoisuuksille asetetut ohjearvot monikymmenkertaisesti. Tästä syystä lietalannoitettuna ruokohelven kadmium- ja lyijypitoisuuksia voidaankin pitää alhaisina. Maahan kohdistunut kadmiumkuormituksen lisääntyminen ilmeni aikaisemmin kasvissa. Ruokohelppi oli siten maata parempi indikaattori lisääntyneelle kuormitukselle. Maan liukoinen kadmium ei lisääntynyt, vaikka jo pienemmällä lietemäärällä maahan kohdistui noin 27 kertaa normaalia suurempi kadmiumkuormitus. Arvio perustuu fosforilannoitteen ja laskeuman kuormituskeskiarvoihin, joissa pellon vuosittainen kadmium-

Taulukko 9. Lannoittamattoman ja puhdistamolietettä saaneen ruokohelven kevätasadon metallipitoisuudet verrattuna liuoslannoitetta saaneen ruokohelven sadon pitoisuuksiin. Liuoslannoitetta saaneen ruokohelven metallipitoisuudet on ilmoitettu suluisissa kuiva-ainetta kohti (g/kg tai mg/kg). Kokeen jälkeen otettujen maanäytteiden liukoinen typpipitoisuus (mg/kg maata), uuttuva fosfori, kalium, kalsium sekä lyijy ja kadmium (mg/l maata) on ilmoitettu suhdelukuina liuoslannoitteen maanäytepitoisuuksista.

| Metalli | Liuoslannoitus | Ei lannoitusta | Liete 600 ml/astia | Liete 1800 ml/astia | Metalli | Liuoslannoitus | Ei lannoitusta | Liete 600 ml/astia | Liete 1800 ml/astia |
|--|---------------------|----------------|--------------------|---------------------|---|---------------------|----------------|--------------------|---------------------|
| Sadon metallipitoisuuksien suhdeluku liuoslannoitteen pitoisuuksista | | | | | Maan metallipitoisuuksien suhdeluku liuoslannoitteen pitoisuuksista | | | | |
| | % | | | | | % | | | |
| N | 100 (7,8 g/kg) | 142 | 119 | 215 | Liukoinen N | 100 (1,5 mg/kg) | 94 | 253 | 871 |
| P | 100 (1,4 g/kg) | 235 | 93 | 124 | P | 100 (18,7 mg/l) | 73 | 114 | 137 |
| K | 100 (12,2 g/kg) | 114 | 89 | 118 | K | 100 (266 mg/l) | 74 | 92 | 61 |
| Ca | 100 (3,9 g/kg) | 156 | 138 | 191 | Ca | 100 (975 mg/l) | 109 | 133 | 173 |
| Pb | 100 (0,67 mg/kg) | 175 | 105 | 103 | Pb | 100 (1,57 mg/l) | 104 | 146 | 183 |
| Cd | 100 (0,13 mg/kg) | 92 | 135 | 153 | Cd | 100 (0,075 mg/l) | 80 | 93 | 97 |

Taulukko 10. Suhteellinen sato ilman lannoitusta ja puhdistamolietettä käytettäessä verrattuna liuoslannoitella kasvaneen ruokohelven satoon astiakoikeessa syksyllä ja keväällä. Liuoslannoitetta saaneen ruokohelven sato suluissa g/astia.

| | Suhteellinen sato liuoslannoitukseen verrattuna % | |
|---------------------|---|--------------|
| | Syksyllä | Keväällä |
| Lannoitus | | |
| Ei lannoitusta | 8 | 7 |
| Liuoslannoitus | 100 | 100 |
| | (56 g/astia) | (59 g/astia) |
| Liete 600 ml/astia | 106 | 116 |
| Liete 1800 ml/astia | 139 | 152 |

kuormitus on laskettu fosforilannoitteen ja laskeuman keskimääräisistä kuormitusarvoista Suomessa (Ministry of Agriculture and Forestry 1997).

Kokeen tuloksista on raportoitu tarkemmin muualla (Partala 1997, Partala et al. 1998, Partala et al. 1999).

4 Johtopäätökset

Ruokohelpi on tehokas ravinteiden ottaja, joka hyödyntää kasvuunsa sekä epäorgaanisia että orgaanisia ravinnelähteitä. Ravinteiden hyödyntäminen on kuitenkin puutteellista, jos kasvusto menee lakoon väärin ra-

vannesuhteiden takia (liian runsas typpi). Erityisesti orgaaniset maat, joissa on runsaasti typpeä, soveltuvat ruokohelven viljelyyn hyvin.

Ruokohelven lannoitustarve on alhainen ja juurakon kasvu on nopeaa keveillä orgaanisilla mailla. Kevätkorjuusysteemissä ruokohelpi varastoi tehokkaasti ravinteita, jolloin seuraavan vuoden kasvu hyötty edellisen vuoden ravinteidenotosta. Ajan mitaan ruokohelven viljely vesistöjen varrella todennäköisesti vähentää ravinnekuormitusta ja vesistöjen rehevöitymistä vähentyneen lannoitteidenkäytön ja maanmuokkauksen ansiosta.

Kiitokset

Kokeiden suunnittelussa oli mukana useita tutkijoita Maatalouden tutkimuskeskuksesta. Professori Timo Mela oliideoimassa kokeiden tutkimusaiheita. Typen hyväksikäyttökokeessa professori Martti Esala yhdessä tutkimusryhmänsä kanssa oli sekä suunnittelemassa että toteuttamassa kokeita. Vanhempi tutkija Eila Turtola oli mukana suunnittelemassa huuhtoutumiskenttäkoetta, josta Tohmajärvellä vastasi tutkimusmestari Matti Laasonen. Vanhempi tutkija Ritva Mäkelä-Kurtto antoi tutkimuksellisia neuvoja puhdistamolietekokeiden toteuttamiseen. Kiitos teille kaikille yhteistyöstä.

Kirjallisuus

Agricultural Research Centre 1986. Methods of soil and plant analysis. Department of Soil Science. Jokioinen, Finland: Agricultural Research Centre of Finland. 45 p. ISBN 951-729-285-6.

Esala, M. 1991. Split application of nitrogen: effects on the protein in spring wheat and fate of ¹⁵N-labelled nitrogen in the soil-plant system. *Annales Agriculturae Fenniae* 30: 219–309.

Flyktman, M. 1998. Ruokohelpi seospoltoaineena. In: Salo, R. (ed.). Ruokohelpiseminaari: Biomassan tuotanto pelloilla ja turvesoilla sekä käyttö energian tuotantoon. Oulunsalo, 29.9.1997. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 39. Jokioinen: Maatalou-

den tutkimuskeskus. p. 57–61. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-518-9.

Huhta, H. 1989. Typen ja fosforin huuhtoutuminen turvemaan nurmesta ja viljapellosta. *Koetoiminta ja käytäntö* 46 (20.6.1989): 47.

Lakanen, E. & Erviö, R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. In: Helsingin yliopiston rehtorin professori Erkki Kivisen juhlaulkaisu: Jubilee issue in honour of professor Erkki Kivinen Rector of Helsinki University. Suomen maataloustieteellisen seuran julkaisuja 123: 223–232.

- Lyngstad, I.** 1991. A lysimeter study on the nitrogen balance in soil. II Fate of ¹⁵N-labelled nitrate fertilizer applied to grass. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* 5(2): 143–151.
- Mackie-Dawson, L.A.** 1999. Nitrogen uptake and root morphological responses of defoliated *Lolium perenne* (L.) to a heterogenous nitrogen supply. *Plant and Soil* 209: 111–118.
- Nikunen, E., Malm, J., Virtanen, V., Louekari, K. & Mäkelä-Kurtto, R.** 1997. Cadmium in fertilizers. Risks to human health and the environment. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja, 9. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 93 p.
- Pahkala, K. & Mela, T.** 2000. Reed canary grass maintained its productivity for 8 years. In: Crop development for cool and wet regions of Europe: Summaries of posters; COST 814, final conference, achievements and future prospects, Pordenone, Italy 10-13 May 2000. p. 49.
- , **Mela, T., Hakkola, H., Järvi, A. & Virkajärvi, P.** 1996. Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa. Tutkimuksen loppuraportti, 1 osa. Agrokuitukasvien viljely: viljelytoimenpiteiden ja lajikevalinnan vaikutus agrokuitukasvien satoon ja kivennäisainekoostumukseen. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 3. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 68 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-468-9.
- Partala, A.** 1997. Sewage sludge as nutrient source for reed canary grass grown for raw material for pulp and paper industry and for energy. In: International Conference: Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry; Book of Abstracts, Braunschweig, June 22.-28.1997. p. 164. Abstract.
- 1999. Lannoitetyypen tie ruokohelpiviljelmässä. Koetoiminta ja käytäntö 4: 5.
- , **Mela, T., Esala, M. & Ketoja, E.** 1999a. Ruokohelven lannoitetyypen hyväksikäyttö. In: Salo, R. & Yli-Halla, M. (eds.). Maataloustieteen päivät 2000. Kasvintuotanto ja maaperä, puutarhatuotanto, Helsinki, 10.-11.1.2000. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 67. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. p. 234. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-557-X.
- , **Mela, T., Esala, M. & Ketoja, E.** 1999b. The fate of ¹⁵N-labelled nitrogen applied to reed canary grass. In: COST 814 Workshop; Alternative crops for sustainable agriculture, Turku, Finland, June 13-15, 1999. Program and abstracts. p. 61.
- , **Mela, T., Esala, M. & Ketoja, E.** 2000. Plant recovery of ¹⁵N-labelled nitrogen applied to reed canary grass grown for biomass. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. Manuscript.
- , **Mela, T. & Mäkelä-Kurtto, R.** 1998. Sewage sludge as nutrient source for reed canary grass grown for raw material for pulp and paper industry and for energy. In: El Bassam, N., Behl, R. K. & Prochnow, B. (eds.). Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry: strategies, towards, achievement: Proceedings of the International Conference held in Braunschweig, Germany, June 22.-28.1997. London: James & James (Science Publishers) p. 404–407.
- , **Mela, T. & Mäkelä-Kurtto, R.** 1999c. Perennial reed canary grass fertilized with sewage sludge. In: Petersen, J. & Petersen, S.O. (eds.). Use of municipal organic waste: Proceedings of NJF seminar no. 292, Jokioinen, Finland, November 23.-25.1998. DIAS report Plant Production vol. 2, report 13. Tjele: Danish Institute of Agricultural Sciences. p. 131–138. ISSN 1397-9884.
- & **Turtola, E.** 1997. Nutrient leaching from a peat soil under reed canary grass and timothy ley. In: Olesen, S. (ed.). Proceedings of the NJF-seminar: Alternative use of agricultural land, Foulum, Denmark, 9-10 June 1997. SP report no.18, vol 5. Tjele: Danish Institute of Agricultural Sciences. p. 123–124. ISSN 0908-2581.
- & **Turtola, E.** 1998. Nutrient leaching from a peat soil under reed canary grass and timothy ley. *Nordisk jordbruksforskning* 80 (2): 52.
- Smucker, A.J.M., McBurney, S.L. & Srivastava, A.K.** 1982. Quantitative separation of roots from compacted soil profiles by the hydropneumatic elutriation system. *Agronomy Journal* 74: 500–503.
- Suomen Standardisoimisliitto 1980. Veden, lietteen, ja sedimentin metallipitoisuudet. Määritys atomiabsorptiospektrometrisesti liekkimenetelmällä. SFS 3044. 8 p.
- Turtola, E. & Paajanen, A.** 1995. Influence of improved subsurface drainage on phosphorus losses and nitrogen leaching from a heavy clay soil. *Agricultural Water Management* 28: 295–310.
- Vuorinen, J. & Mäkitie, O.** 1955. The method of soil testing in use in Finland. *Agrogeological Publications* 63: 1–44.

Jokioisten observatoriossa mitattu kuukausikeskilämpötila (°C) ja kuukausisadesumma (mm) sekä kasvukauden lämpösusma vuosina 1995-1999.

| Kuukausi | 1995 | | 1996 | | 1997 | | 1998 | | 1999 | | 1961-90 | |
|------------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
| | Lämpötila | Sade | Lämpötila | Sade | Lämpötila | Sade | Lämpötila | Sade | Lämpötila | Sade | Lämpötila | Sade |
| Tammikuu | -3,6 | 46 | -6,2 | 8 | -4,6 | 41 | -2,2 | 53 | -6,3 | 61 | -7,5 | 36 |
| Helmikuu | -1,0 | 58 | -11,3 | 35 | -4,3 | 56 | -4,7 | 42 | -7,7 | 48 | -7,4 | 24 |
| Maaliskuu | -0,3 | 45 | -4,5 | 29 | -1,1 | 31 | -4,6 | 28 | -1,8 | 28 | -3,5 | 25 |
| Huhtikuu | 2,7 | 47 | 2,6 | 24 | 1,2 | 45 | 3,1 | 15 | 5,0 | 42 | 2,4 | 31 |
| Toukokuu | 8,7 | 87 | 8,8 | 65 | 7,7 | 16 | 9,2 | 65 | 7,5 | 13 | 9,4 | 35 |
| Kesäkuu | 16,7 | 121 | 13,1 | 52 | 16,1 | 101 | 13,7 | 99 | 17,4 | 30 | 14,3 | 47 |
| Heinäkuu | 15,3 | 53 | 13,9 | 136 | 17,8 | 141 | 15,2 | 70 | 17,5 | 49 | 15,8 | 80 |
| Elokuu | 15,1 | 65 | 17,0 | 14 | 17,8 | 44 | 13,0 | 83 | 14,1 | 55 | 14,2 | 83 |
| Syyskuu | 10,3 | 45 | 8,3 | 20 | 10,0 | 78 | 10,5 | 29 | 11,6 | 34 | 9,4 | 65 |
| Lokakuu | 7,6 | 66 | 6,4 | 56 | 2,4 | 47 | 4,9 | 82 | 5,8 | 109 | 4,7 | 58 |
| Marraskuu | -2,8 | 47 | 2,5 | 128 | -0,4 | 43 | -3,9 | 15 | 1,6 | 36 | -0,5 | 55 |
| Joulukuu | -8,5 | 19 | -6,1 | 28 | -3,5 | 30 | -3,3 | 46 | -3,7 | 84 | -4,9 | 42 |
| Yhteensä | 5,0 | 653 | 3,7 | 595 | 4,9 | 673 | 4,2 | 627 | 5,1 | 589 | 3,9 | 581 |
| Lämpösusma | 1396 | | 1159 | | 1381 | | 1209 | | 1435 | | | |
| Kasvukausi | | | | | | | | | | | | |
| Alku | 20.4. | | 8.5. | | 28.4. | | 19.4. | | 18.4. | | | |
| Loppu | 28.10. | | 30.10. | | 19.10. | | 27.10. | | 31.10. | | | |

Ruokohelven kalkitus ja lannoitus turvesuolla

Mika Isolahti

Maatalouden tutkimuskeskus, Alueellinen tutkimus, Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema, Tutkimusasemantie 15, 92400 Ruukki, mika.isolahti@mtt.fi

Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema toteutti vuosina 1995–1999 Limingan Hirvinevällä ruokohelven (*Phalaris arundinacea* L.) kalkitus- ja ravinnetasekokeet.

Perinteisiä kalkitusaineita halvempia maaparannusaineita ovat tuhkat ja teräskuonat. Kalkituskokeessa verrattiin niiden käyttöä happamien turvemaiden kalkituksessa. Magnesiumpitoista kalkkikivijauhetta käytettiin joko viisi tai kymmenen tonnia hehtaarille. Teräskuonaa, puun tuhkaa, Veitsiluodon sellutehtaan lipeäpoltton tuhkaa, turvetuhkaa ja järviruo'on tuhkaa käytettiin kymmenen tonnia hehtaarille. Kokeen sadot korjattiin keväisin. Tämän jälkeen kokeesta otettiin vuosittain maanäytteet. Eri käsittelyt saivat vuosittain saman lannoituksen keväällä sadonkorjuun jälkeen.

Puun tuhkassa oli selvästi muita maanparannusaineita enemmän ravinteita. Fosforia ja kaliumia oli maa-analyseissä muita maanparannusaineita enemmän koko tutkimusjakson ajan. Puun tuhkalla voidaankin osittain korvata kasvien fosforin ja ka-

liumin tarvetta, ei kuitenkaan kokonaan käytöstä poistetulla turvesuolla.

Puun tuhka vaikuttaa tehokkaasti maan happamuuteen. Veitsiluodon lipeäpoltton tuhkan kalkitusvaikutus oli sitä heikompi. Myös turvetuhka ja järviruo'on tuhka olivat maanparannusaineina heikkoja.

Ravinnetasetutkimuksessa selvitettiin fosforin ja kaliumin varastolannoituksen tarvetta ruokohelpiviljelmän perustamisvaiheessa. Lisäksi tarkasteltiin turpeesta vapautuvan typen vaikutusta ruokohelven saatoon ja typen hyväksikäyttöön.

Varastolannoituksesta ei ole juuri hyötyä viljeltäessä ruokohelpeä turvemaidella. Fosforilannoitukseksi riittää hyvin perustamisvaiheessa 40 kg ha⁻¹ ja vuotuislannoituksena 30 kg ha⁻¹. Myöhemmin pienempikin määrä voi riittää. Myös kaliuminlannoitus kannattaa antaa vuosittain. Vanhalla turvesuolla kaliumia kannattanee käyttää enintään 80 kg ha⁻¹.

Ruokohelven typpilannoitukseksi riittänee 60 kg ha⁻¹ vuodessa. Yli 90 kg N ha⁻¹ lannoituksella ei kokeessa saatu enää sadonlisäystä.

Avainsanat: ruokohelppi, turve, suot, kalkitus, lannoitus, fosfori, kalium, typpi, kalkkikivijauhe, kuona, tuhka

Liming and fertilizing of reed canary grass on peat bogs

Cultivation of reed canary grass succeeds (*Phalaris arundinacea* L.) very well in peat production areas. The North Ostrobothnia research station of the Agricultural Research Centre of Finland conducted two field trials on the peat production areas in 1995–1999.

Acid peat soils require liming. As well as limestone powders, suitable materials are the slag of steel production and wood ash. Peat soils make very poor substrates for growth. The field trial compared limestone with the slag of steel production, wood ash, peat ash, lake reed (*Phragmites australis* Cav.) ash and the caustic soda ash of the pulp production process. Limestone was applied at a rate of 5 and 10 t ha⁻¹, and all other liming materials at a rate of 10 t ha⁻¹. The yield was harvested and the soil samples were taken in the spring. After the harvest, the soil was fertilized. The best liming materials were limestone powder, the slag of steel production and wood ash, all of which raised the pH values of the substrate. Wood ash contains phosphate and potassium, too. These nutrients were found to be effective in throughout the trial period. Clearly, then, part of the phosphate and potassium can be compensated for by wood ash.

A nutrition level trial, to test the need of storage fertilization for phosphate and po-

tassium was also carried out. The effect of nitrogen was tested in the same field trial at two storage fertilization levels: 40 kg P ha⁻¹ + 80 kg K ha⁻¹ and 80 kg P ha⁻¹ + 160 kg K ha⁻¹. During establishing, 120 kg ha⁻¹ of nitrogen was used. Later phosphate and potassium levels were 30 kg P ha⁻¹ + 60 kg K ha⁻¹ and 40 kg P ha⁻¹ + 80 kg K ha⁻¹. The nitrogen levels were 0, 60, 90 and 120 kg N ha⁻¹. This yield, too was harvested in the spring after which soil samples were taken and the soil was fertilized.

Storage fertilization is not suitable for peat soils owing to high nutrient leaching, of phosphate in particular. An appropriate storage fertilization rate would appear to be 40 kg P ha⁻¹ during establishing and 30 kg P ha⁻¹ during yield years. Rather than high storage fertilization of the potassium, it would be better to apply potassium fertilization every year. A suitable level of potassium would be 80 kg K ha⁻¹ during yield years. The addition of the nitrogen had a clear effect on the dry matter yields of reed canary grass. During the growth period on peat soils, nitrogen mineralization takes place. A suitable rate would be 60 or 90 kg N ha⁻¹ for reed the canary grass on peat soils. If more than 90 kg N ha⁻¹ were used, it would have no effect on the yield of the reed canary grass.

Key words: reed canary grass, Phalaris arundinacea, peat soil, liming, fertilization, phosphate, potassium, nitrogen, wood ash, slag of steel production

1 Johdanto

Suomen käytöstä poistuville turvesoille on etsitty uusia hyödyntämistapoja ahkerasti. Vaihtoehtoina ovat olleet soiden metsittäminen, vesittäminen vesilinnuille sopiviksi järviksi (Hänninen 1993, Järvelä 1995) sekä peltoviljely (Heikkilä & Erviö 1982), kuten nurmirehuntuotanto (Virkajärvi & Huhta 1993, Virkajärvi & Huhta 1994).

Turvesoiden käyttöä puutarhatuotantoon, esimerkiksi mansikan (Kukkonen et al. 1997) tai pikkuistukassipulin viljelyyn (Huhta 1996) sekä siirtonurmikon tuottamiseen (Virkajärvi 1994, Virkajärvi & Huhta 1997) on myös selvitetty. Lisäksi turvesoiden on ajateltu sopivan ruokohelven (*Phalaris arundinacea* L.) viljelyyn aikaisempien multamailla tehtyjen kokeiden perusteella (Pahkala et al. 1994, Pahkala et al. 1996). Turvesuot ovat yleensä suuria yhtenäisiä alueita, joten suuri pinta-ala voidaan hyödyntää tehokkaasti mm. sadonkorjuussa.

Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema toteutti vuosina 1995–1999 Limingan Hirvinevalla ruokohelven kalkitus- ja ravinnetasekokeet yhteistyössä Vapo Oy:n ja MTT:n kasvintuotannon tutkimuksen kanssa.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää perinteisiä kalkitusaineita halvempien maaparasaineiden eli tuhkien ja teräskuonan käyttöä happamien turvemaiden kalkituksessa. Turvemaiden kalkitusta on tutkittu jo aiemmin (Jaakkola et al. 1977). Turvemaiden on vertailtu myös kuonien soveltuvuutta kalkitusaineiksi (Jaakkola et al. 1985). Lisäksi turvemaiden on selvitetty tuhkien käyttöä lähinnä metsien lannoitukseen (Leinonen 1996, Rautanen 1996). Saarela (1985) on tutkinut puun tuhkan soveltuvuutta savi- ja multamaiden maanparanasaineeksi ohran viljelyssä.

Erillisessä ravinnetasetutkimuksessa tutkittiin fosforin ja kaliumin varastolannoituksen tarvetta ruokohelpiviljelmän perustamisvaiheessa. Turpeesta vapautuvan

typen vaikutusta ruokohelven satoon ja typen hyväksikäyttöön selvitettiin myös ravinnetaselaskelmien avulla.

2 Aineisto ja menetelmät

Ruokohelven kalkitus- ja ravinnetasekokeet perustettiin keväällä 1995 Limingan Hirvinevälle (64.44N 25.15E).

Koealue oli turvesuota, jolta turpeen nostaminen oli lopetettu. Koealueen turvekerros oli kuitenkin vielä 0,5–1 metrin paksuinen. Koealue oli melko märkää, koska ojitus ei toiminut kunnolla. Taulukossa 1 on esitetty alueelta ennen kokeiden perustamista otetun maa-analyysin tulokset. Kasvukauden aikaiset säätiedot saatiin MTT:n Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasemalta Ruukista (64.42N 25.00E). Koevuosien kasvukausien aikaiset säätiedot on esitetty taulukossa 2.

Koeruodut korjattiin keväisin Haldrup-nurmenkorjuukoneella. Ruokohelven sängenkorkeus oli noin kahdeksan senttimetriä. Kasvuston tuorepaino punnittiin nurmenkorjuukoneen vaa'alla korjuun yhteydessä. Korjatuilta ruuduilta otettiin näytteet, joista tehtiin kuiva-ainemääritys sekä kivennäis- ja kuituanalysit. Näytteet

Taulukko 1. Maa-analyysin tulokset Hirvinevan alueelta ennen kokeiden perustamista.

| Maalaji | Ct |
|------------------------|------|
| Johtoluku 10 x mS/cm | 1,6 |
| pH | 4,7 |
| Ca, mg l ⁻¹ | 519 |
| P, mg l ⁻¹ | 1,4 |
| K, mg l ⁻¹ | 16,6 |
| Mg, mg l ⁻¹ | 87,0 |
| S, mg l ⁻¹ | 22,4 |
| B, mg l ⁻¹ | 0,2 |
| Cu, mg l ⁻¹ | 0,34 |
| Mn, mg l ⁻¹ | 61 |
| Zn, mg l ⁻¹ | 1,18 |
| Mo, mg l ⁻¹ | 0,07 |

Taulukko 2. Kuukausittaiset keskilämpötilat ja sademäärät kasvukauden aikana, sekä tehoisan lämpötilan summa (TLS) ja kasvukauden pituus Ruukissa vuosina 1995–1999.

| | Huhtikuu | Toukokuu | Kesäkuu | Heinäkuu | Elokuu | Syyskuu | Lokakuu | TLS | Kasvukausi, vrk |
|---------|--------------------|----------|---------|----------|--------|---------|---------|------|--------------------|
| | Keskilämpötila, °C | | | | | | | | |
| Vuosi | | | | | | | | | |
| 1995 | 1,2 | 7,0 | 15,8 | 13,9 | 13,5 | 8,9 | 4,9 | 1132 | 133 |
| 1996 | 0,8 | 6,0 | 12,3 | 14,1 | 15,5 | 6,9 | 4,3 | 981 | 147 |
| 1997 | -2,2 | 5,1 | 14,3 | 18,0 | 14,9 | 8,8 | 0,9 | 1152 | 142 |
| 1998 | -0,5 | 6,3 | 12,7 | 15,4 | 12,4 | 8,7 | 3,3 | 987 | 134 |
| 1999 | 2,8 | 5,2 | 15,5 | 15,8 | 11,7 | 9,4 | 4,2 | 1109 | 138 |
| 1960-90 | 0,8 | 7,7 | 13,2 | 15,4 | 13,1 | 8,0 | 2,9 | 1033 | 150 |
| | Sademäärä, mm | | | | | | | | |
| 1995 | 22,8 | 51,0 | 40,9 | 43,7 | 33,1 | 38,0 | 52,9 | | |
| 1996 | 24,4 | 33,1 | 38,4 | 75,4 | 25,1 | 20,5 | 55,3 | | |
| 1997 | 51,4 | 41,7 | 37,0 | 60,5 | 58,0 | 94,0 | 32,3 | | |
| 1998 | 8,4 | 49,6 | 92,0 | 190,9 | 106,6 | 31,0 | 94,5 | | |
| 1999 | 12,5 | 34,9 | 39,6 | 63,9 | 43,5 | 26,0 | 42,8 | | |
| 1960-90 | 24 | 36 | 49 | 61 | 71 | 57 | 50 | | |

silputtiin Hege-näytesippurilla, minkä jälkeen kuiva-ainemääritys tehtiin kuivaamalla näyte +105 °C:n lämpötilassa. Analyysinäytteet kuivattiin +60 °C:n lämpötilassa. Kivennäis- ja maa-analyysit tehtiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä. Typpi-, kuitu- ja tuhka-analyysit tehtiin MTT:n Lapin tutkimusaseman laboratoriossa.

Ruokohelpikasvusto oli keväisin lakoutunut lumipeitteen vuoksi. Lakoutuneen kasvuston korkeus mitattiin keväisin nostamalla kasvit ylös. Mittaus tehtiin jokaisen ruudun kolmesta eri kohdasta. Tulosten laskennassa käytettiin kunkin ruudun keskiarvoa.

2.1 Maanparannusaineet

Kalkituskoetta toteutettiin satunnaistettujen lohkojen mallisena kokeena. Kokeessa oli neljä kerrannetta ja kahdeksan eri kalkituskäsittelyä. Ruutukoko oli 3 m × 10 m. Ennen kalkitusaineiden levitystä koealue oli äestetty kerran joustopiikkiäkeellä. Kalki-

tusaineet levitettiin koeruutuihin 15. kesäkuuta 1995 käsin ja jokaiseen ruutuun levitettävä määrä punnittiin erillisiin astioihin. Käsittelyt olivat: ei kalkitusta, 5 tai 10 t magnesiumpitoista kalkkikivijauhetta hehtaarelle, 10 t teräskuonaa, Veitsiluodon tuhkaa, turvetuhkaa, puun tuhkaa ja järvi-ruo'on tuhkaa hehtaarelle.

Veitsiluodon tuhka oli peräisin tehtaan lipeäpolttoprosessista. Turvetuhka haettiin Kempeleen kaatopaikalta, johon se oli tuotu paikallisesta lämpövoimalasta. Puun tuhka saatiin MTT:n Pohjois-Pohjanmaan tutkimusaseman omasta lämpökeskuksesta. Järvi-ruo'on tuhka saatiin Muhoksen kunnan lämpövoimalasta, jossa sen polttoa oli kokeiltu. Tuhkista otettiin näytteet, jotka analysoitiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä. Teräskuona analysoitiin Rautaruukki Oy:n laboratoriossa. Kalkkikivijauheen analyysit tehtiin Kasvintuotannon tarkastuskeskuksessa.

Kalkitusaineiden levityksen jälkeen koealue äestettiin kerran. Lannoituksena oli Hiven PK:ta 700 kg ha⁻¹ ja ureaa 200 kg ha⁻¹. Urea levitettiin kylvölannoittimella

15. kesäkuuta 1995. Koealueelle kylvettiin ruokohelpeä 22. kesäkuuta 1995. Lajike oli Palaton ja kylvömäärä 18 kg ha⁻¹. Kylvö tehtiin kylvölannoittimella ja samalla annettiin myös Hiven PK:ta. Vuosittain käytetyt lannoitteet ja ravinnemäärät on esitetty taulukossa 3.

Kylvön jälkeen koealue jyrättiin. Koe-ruudut rajattiin syksyllä 1995 uudestaan, koska ruokohelppi oli kylvetty kokeen yli. Kalkituskokeesta otettiin saksilla kasvustonäytteet 28. syyskuuta 1995. Jokaisesta ruudusta otettiin 0,25 m²:n näyteala ja näytteet yhdistettiin koejäsenittäin.

Keväällä 1996 kalkituskoe lannoitettiin 29. toukokuuta. Sitä ennen kokeesta otettiin maanäytteet ruuduittain. Ne analysoitiin Viljavuuspalvelu Oy:ssa. Keväällä 1996 kokeen satoa ei korjattu. Syksyllä 1996 kokeesta otettiin kasvustonäytteet.

Kalkituskokeesta sato korjattiin ensimmäisen kerran 17. kesäkuuta 1997. Kunkin ruudun keskeltä korjattiin 1,5 m:n levyinen kaista eli sato mitattiin 15 m²:n alalta. Maanäytteet otettiin ruuduittain 18. kesäkuuta 1997 ja kokeet lannoitettiin samana päivänä.

Sato korjattiin toisen kerran 22. toukokuuta 1998. Kokeesta otettiin maanäytteet 1. kesäkuuta 1998 ja se lannoitettiin samana päivänä.

Sato korjattiin kolmannen kerran 5. toukokuuta 1999 ja maanäytteet otettiin ruuduittain samana päivänä. Vuosi 1999 oli koesarjan viimeinen, joten koetta ei enää lannoitettu keväällä korjuun jälkeen.

Maanparannusainekoe testattiin tilas-

tollisesti SAS 6.12 -ohjelmistolla. Tulokset analysoitiin varianssianalyysillä käyttäen MIXED-proseduuria (Advanced General Linear Models with an Emphasis on Mixed Models 1996). Normaalisuuden tarkastelu tehtiin UNIVARIATE-proseduurin Box-Cox kuvioiden avulla. Koe oli lohkoittain satunnaistettu eli tilastollinen rakennemalli oli $\chi_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$. Koekäsittelyjen parivertailu tehtiin Tukeyn testillä. Maan pH-arvot muutettiin oksoniumionikon-entraatioksi ennen tilastollista testausta. Tulokset esitetään kuitenkin pH-lukuina.

2.2 Lannoituskoe

Myös lannoituskoe perustettiin Hirvinevalle vuonna 1995. Koe toteutettiin osaruutukokeena. Pääruutuna oli kaksi kalium- ja fosforiporrasta, 160 kg K ha⁻¹ ja 80 kg P ha⁻¹ sekä 80 kg K ha⁻¹ ja 40 kg P ha⁻¹. Kaliumlannoitus annettiin kalisuolana (0-0-50) ja fosforilannoitus superfosfaattina (0-8,5-0). Osaruutuna kokeessa olivat typpitasot: 0, 60, 90 ja 120 kg N ha⁻¹. Kokeessa oli neljä kerrannetta ja ruutukoko oli 1,5 m × 10 m. Ennen kokeen perustamista sen pohjalle levitettiin laatikkolevittimellä 10 t teräskuonaa hehtaarille.

Tämän jälkeen koealue äestettiin. Ennen kylvöä alue lannoitettiin 16. toukokuuta 1995 Øyjord-tarkkuuslevittimellä. Lannoitteet oli punnittu kutakin ruutua varten valmiiksi ennen levitystä. Kokeeseen kylvettiin ruokohelpeä 22. kesäkuuta 1995 kylvölannoittimella. Lajike oli Palaton ja

Taulukko 3. Maanparannuskokeen lannoitus vuosina 1995–1998.

| Vuosi | Lannoite | Käyttömäärä kg ha ⁻¹ | Ravinteita kg ha ⁻¹ | | |
|-------|-------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----|----|
| | | | N | P | K |
| 1995 | Hiven-PK | 700 | 21 | 84 | 98 |
| | Urea | 200 | 93 | 0 | 0 |
| 1996 | Vähäfosforinen Y-lannos | 495 | 89 | 15 | 59 |
| 1997 | Pellon Y4-lannos | 392 | 78 | 16 | 27 |
| 1998 | Pellon Y4-lannos | 390 | 78 | 16 | 27 |

kylvömäärä 18 kg ha⁻¹. Kylvön jälkeen koe jyrättiin. Perustamisvuonna kaikki koejäsenet saivat saman typpilannoituksen, 120 kg ha⁻¹. Se annettiin Oulunsalpietarina (27-0-0). Kokeessa käytettyjen lannoitteiden ja ravinteiden määrät on esitetty taulukossa 4.

Keväällä 1996 typpilannoituskoe sai kalium- ja fosforilannoitusta joko suuremman (80 kg K ha⁻¹ + 40 kg P ha⁻¹) tai pienemmän (60 kg K ha⁻¹ + 30 kg P ha⁻¹) määrän. Kaliumlannoitukseen käytettiin kalisuolaa ja fosforilannoitukseen superfosfaattia. Typpilannoitus tehtiin osaruutuihin koeohjeen mukaisesti Oulunsalpietarilla Øyjord-tarkkuuslevitintä käyttäen. Ennen lannoitusta koeruuduista otettiin maanäytteet. Kokeesta ei korjattu satoa keväällä 1996.

Keväällä 1997 lannoituskokeen sato korjattiin I- ja II-kerranteista 26. toukokuuta 1997 ja III- ja IV-kerranteista 27. toukokuuta 1997. Sato korjattiin koko ruu-

dusta eli korjuuala oli 15 m². Ruuduista otettiin myös maanäytteet sadonkorjuun yhteydessä. Koe lannoitettiin 12. kesäkuuta 1997 samalla tavalla kuin vuonna 1996. Ruudut rajattiin syksyllä ja ruutujen välit aukaistiin ruudunjakajalla. Kokeesta otettiin 0,25m²:n kasvustonäytteet 20. loka-kuuta 1997. Vuonna 1998 lannoituskoe korjattiin 21. toukokuuta. Koeruuduista otettiin maanäytteet 1. kesäkuuta 1998 ja koe lannoitettiin samana päivänä. Lannoituskoe korjattiin 28. huhtikuuta 1999, jolloin otettiin myös maanäytteet. Tämän jälkeen koetta ei enää lannoitettu, koska 1999 oli viimeinen koevuosi.

Hirvinevan kokeessa laskettiin typpilannoituksen näennäinen hyväksikäyttö. Kasvuston kuiva-ainesadon ja typpipitoisuuden perusteella laskettiin typpisato (Taulukot 15–18). Typpilannoittamaton koejäsen toimi kussakin pääruudussa verranteena, jonka typpisato vähennettiin typp-

Taulukko 4. Ravinnetasekokeen lannoitus vuosina 1995–1998.

| Vuosi | Lannoite | Käyttömäärä kg ha ⁻¹ | Ravinteita kg ha ⁻¹ | | |
|---------------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----|-----|
| | | | N | P | K |
| 1995 | | | | | |
| Fosfori- ja kaliumportaot | | | | | |
| | 160 K / 80 P Kalisuola | 320 | 0 | 0 | 160 |
| | Superfosfaatti | 940 | 0 | 80 | 0 |
| | 80 K / 40 P Kalisuola | 160 | 0 | 0 | 80 |
| | Superfosfaatti | | | | |
| Typpilannoitus | | | | | |
| | 120 N Oulunsalpietari | 444 | 120 | 0 | 0 |
| 1996, 1997 ja 1998 | | | | | |
| Fosfori- ja kaliumportaot | | | | | |
| | 80 K / 40 P Kalisuola | 160 | 0 | 0 | 80 |
| | Superfosfaatti | 470 | 0 | 40 | 0 |
| | 60 K / 30 P Kalisuola | 120 | 0 | 0 | 60 |
| | Superfosfaatti | 353 | 0 | 30 | 0 |
| Typpitasot | | | | | |
| | 0 N Oulunsalpietari | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 60 N Oulunsalpietari | 222 | 60 | 0 | 0 |
| | 90 N Oulunsalpietari | 333 | 90 | 0 | 0 |
| | 120 N Oulunsalpietari | 444 | 120 | 0 | 0 |

pilannoitettujen ruutujen typpisadosta. Jäännöksen avulla laskettiin typpilannoituksen hyväksikäyttöprosentti.

Lannoituskoetta testattiin tilastollisesti SAS 6.12-ohjelmistolla. Koeaineistojen normaalisuuden tarkastelu tehtiin UNIVARIATE-proseduurin Box-Cox kuvioiden avulla. Tulokset analysoitiin varianssianalyysillä käyttäen MIXED-proseduuria (Advanced General Linear Models with an Emphasis on Mixed Models 1996). Taulukoissa 15–22 esitetään tulosten p-arvot lyhenteinä *** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$ ja ns = ei tilastollista merkitystä. Lannoituskoetta tehtiin osa-ruutukokeena eli tilastollinen rakennemalli havainnolle oli $\chi_{ijk} = \mu + \sigma_i + \alpha_j + \gamma_{ij} + \beta_k + \alpha\beta_{jk} + \varepsilon_{jk}$. Maanäytteiden pH-arvoille tehtiin muunnos oksoniunionikonsentraatioksi ennen tilastollista käsittelyä.

3 Tulokset

3.1 Maanparannusaineet

3.1.1 Maanparannusaineiden vaikutus turpeeseen

Puun tuhkassa oli selvästi muita tuhkia enemmän ravinteita. Sen neutralointikyky

oli myös paras, 37,5 % kalsiumiksi lasketuna. Puun tuhka oli lisäksi tuhkista hienojakoisinta.

Veitsiluodon tuhkassa oli seuraavaksi eniten ravinteita. Sen neutralointikyky oli puolet heikempi kuin puun tuhkan. Turvetuhkan ja järviruo'on tuhkan ravinnepitoisuudet olivat selvästi matalampia, ja niiden neutralointikyky oli heikko. Magnesiumpitoisen kalkkikivijauheen ja teräskuonan neutralointikyky oli kalsiumiksi laskettuna hieman heikempi kuin puun tuhkan. Ero oli kuitenkin melko pieni.

Kalkkikivijauhe oli maanparannusaineista selvästi hienojakoisinta. Teräskuona oli puolestaan hieman puun tuhkaa hienojakoisempaa. Kosteista tuhkista Viljavuuspalvelu Oy:ssä mitatut analyysitulokset on esitetty taulukossa 5 ja eri maanparannusaineiden analyysitulokset kuiva-ainepitoisuudella korjattuna taulukossa 6.

Vuonna 1996 korkeampi magnesiumpitoisen kalkkikivijauheen käyttömäärä ja puun tuhka nostivat eniten maan pH:ta. Myös teräskuona ja magnesiumpitoisen kalkkikivijauhe olivat lähes yhtä tehokkaita. Turvetuhka ja järviruo'on tuhka olivat puolestaan heikkoja pH:n nostajia.

Magnesiumpitoisen kalkkikivijauheen korkeampi käyttömäärä, teräskuona ja puun tuhka nostivat eniten maan kalsiumlukuja. Maassa oli fosforia, magnesiumia ja

Taulukko 5. Tuhkien kuiva-ainepitoisuus ja ravinnepitoisuudet kosteina Viljavuuspalvelu Oy:n analyysissä.

| | Veitsiluoto | Turvetuhka | Puun tuhka | Järviruo'on tuhka |
|-----------------------------------|-------------|------------|------------|-------------------|
| Tuorepainossa, g kg ⁻¹ | | | | |
| Ca | 50 | 11 | 140 | 15 |
| K | 11 | 0,12 | 32 | 1,5 |
| Mg | 5,3 | 0,61 | 21 | 1,6 |
| P | 3,0 | 3,4 | 6,4 | 2,9 |
| Mn | 4,0 | 1,2 | 23 | 2,3 |
| Cu | 65 | 30 | 140 | 36 |
| Zn | 1200 | 19 | 460 | 140 |
| B | 110 | 140 | 320 | 120 |
| S | 6,0 | 2,6 | 2,0 | 4,2 |
| Tuorepainossa, g kg ⁻¹ | | | | |
| Kuiva-ainetta | 474 | 936 | 786 | 673 |

kaliumia selvästi eniten käytettäessä puun tuhkaa, sillä sen ravinnepitoisuudet olivat selvästi muita maanparannusaineita korkeammat. Maa-analyyysien tulokset on esitetty taulukossa 7.

Vuonna 1997 puun tuhka erottui maa-analyyysien (Taulukko 8) perusteella selvästi muista kalkitusaineista, sillä se nosti maan pH:ta tehokkaimmin. Puun tuhkaa käytettäessä maassa oli korkeimmat kalsium-, fosfori-, magnesium- ja kaliumpitoisuudet. Magnesiumpitoisen kalkkikivi-

jauheen korkeampi käyttömäärä ja teräskuona nostivat maan pH:ta ja kalsiumpitoisuutta samalla tavalla kuin puun tuhkakkin. Turvetuhka ja järviruo'on tuhka olivat maa-analyyysien perusteella heikoimpia maanparannusaineita, sillä niiden maan pH:ta nostava vaikutus oli heikoin, eivätkä ne vaikuttaneet maan ravinnepitoisuuksiin.

Keväällä 1998 otetuista maanäytteistä havaittiin, että magnesiumpitoisen kalkkikivijauheen korkeampi käyttömäärä, teräskuona ja puun tuhka erottuivat selvästi

Taulukko 6. Tuhkien ravinnepitoisuudet kuiva-aineessa, neutralointikyky ja kokojakauma Viljavuuspalvelu Oy:n analyysissä. Magnesiumpitoisen kalkkikivijauhe analysoitiin Kasvintuotannon tarkastuskeskuksessa ja teräskuona Rautaruukin laboratoriossa.

| | Veitsiluoto | Turvetuhka | Puun tuhka | Järviruo'on tuhka | Mg-pitoinen kalkkikivijauhe | Teräskuona |
|-------------------------|-------------|------------|------------|-------------------|-----------------------------|------------|
| Ca, g kg ⁻¹ | 110 | 12 | 180 | 23 | 176 | 349 |
| K, g kg ⁻¹ | 24 | 0,13 | 41 | 2,2 | | 0,5 |
| Mg, g kg ⁻¹ | 11 | 0,65 | 27 | 2,4 | 41 | 12,6 |
| P, g kg ⁻¹ | 6,4 | 3,7 | 8,1 | 4,3 | | 3,2 |
| Mn, g kg ⁻¹ | 8,5 | 1,3 | 29 | 3,4 | | 25,4 |
| Cu, mg kg ⁻¹ | 140 | 32 | 180 | 54 | | |
| Zn, mg kg ⁻¹ | 2500 | 21 | 590 | 210 | | |
| B, mg kg ⁻¹ | 230 | 150 | 410 | 180 | | |
| S, g kg ⁻¹ | 13 | 2,8 | 2,5 | 6,2 | | 1,8 |
| Neutralointikyky, % Ca | 19,3 | 4,4 | 37,5 | 4,3 | 34,6 | 34,1 |
| Raekoko %, > 2,0 mm | 36,9 | 33,5 | 14,8 | 46,9 | 0 | 22,6 |
| Raekoko %, 0,15–2,0 mm | 52,3 | 45,4 | 70,6 | 45,2 | 100,0 | 77,4 |
| Raekoko %, < 0,15 mm | 11,2 | 20,4 | 14,6 | 7,4 | 70,8 | 24,2 |

Taulukko 7. Maanäytteiden analyysitulokset kalkitusaineiden vertailussa keväällä 1996. Tilastollisesti merkitsevät erot on ilmoitettu yläindekseillä, testaus tehty Tukeyn testillä, P < 0,05. Keskiarvon keskivirhe (SEM) on ilmoitettu käsittelyille.

| | Ei kalkitusta | Mg-pitoinen kalkki 5 t/ha | Mg-pitoinen kalkki 10 t/ha | Teräskuona 10 t/ha | Veitsiluodon tuhka 10 t/ha | Turvetuhka 10 t/ha | Puun tuhka 10 t/ha | Järviruo'on tuhka 10 t/ha | SEM |
|------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|-------|
| Johtoluku 10 x mS/cm | 1,3 | 1,6 | 1,3 | 1,4 | 1,6 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 0,23 |
| pH | 4,4 ^d | 4,6 ^{bc} | 5,1 ^a | 4,8 ^{ab} | 4,6 ^b | 4,4 ^{cd} | 5,2 ^a | 4,4 ^d | 0,07 |
| Ca, mg l ⁻¹ | 535 ^d | 856 ^{bcd} | 1578 ^a | 1255 ^{ab} | 721 ^{cd} | 570 ^d | 1191 ^{abc} | 584 ^d | 107,6 |
| P, mg l ⁻¹ | 3,0 ^b | 4,1 ^b | 2,8 ^b | 5,6 ^b | 3,4 ^b | 3,7 ^b | 16,6 ^a | 3,6 ^b | 1,8 |
| K, mg l ⁻¹ | 37,6 ^b | 42,0 ^b | 43,9 ^b | 49,2 ^b | 61,4 ^b | 31,2 ^b | 162,3 ^a | 38,9 ^b | 6,5 |
| Mg, mg l ⁻¹ | 85,1 ^c | 107,8 ^{bc} | 139,3 ^b | 96,1 ^{bc} | 101,5 ^{bc} | 82,8 ^c | 231,8 ^a | 87,5 ^c | 10,6 |
| B, mg l ⁻¹ | 0,5 ^b | 0,6 ^b | 0,5 ^b | 0,6 ^b | 0,7 ^b | 0,5 ^b | 1,2 ^a | 0,6 ^b | 0,05 |
| Cu, mg l ⁻¹ | 2,0 | 5,3 | 2,6 | 13,3 | 1,1 | 3,3 | 3,3 | 3,1 | 3,3 |
| Mn, mg l ⁻¹ | 115 ^{ab} | 85 ^b | 42 ^b | 128 ^a | 118 ^{ab} | 102 ^{ab} | 123 ^a | 133 ^a | 8,0 |
| Zn, mg l ⁻¹ | 1,59 ^b | 2,37 ^b | 1,47 ^b | 2,07 ^b | 5,96 ^a | 1,33 ^b | 3,40 ^{ab} | 1,58 ^b | 0,61 |

Taulukko 8. Maanäytteiden analyysitulokset kalkitusaineiden vertailussa keväällä 1997. Tilastollisesti merkitsevät erot on ilmoitettu yläindekseillä, testaus tehty Tukeyn testillä, $P < 0,05$. Keskiarvon keskivirhe (SEM) on ilmoitettu käsittelyille.

| | Ei kalkitusta | Mg- pitoinen kalkki 5 t/ha | Mg- pitoinen kalkki 10 t/ha | Teräs- kuona 10 t/ha | Veitsiluo- don tuhka 10 t/ha | Turve- tuhka 10 t/ha | Puun tuhka 10 t/ha | Järvi- ruo'on tuhka 10 t/ha | SEM |
|------------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------|
| Johtoluku 10 x mS/cm | 1,3 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 1,0 | 0,19 |
| pH | 4,5 ^d | 4,8 ^{bc} | 5,3 ^{ab} | 5,0 ^{ab} | 4,8 ^{bc} | 4,6 ^{cd} | 5,7 ^a | 4,6 ^{cd} | 0,10 |
| Ca, mg l ⁻¹ | 684 ^d | 1149 ^{bcd} | 1678 ^{ab} | 1615 ^{adc} | 916 ^{cd} | 740 ^d | 2225 ^a | 784 ^d | 157,8 |
| P, mg l ⁻¹ | 4,4 ^b | 3,3 ^b | 3,6 ^b | 3,4 ^b | 6,1 ^b | 5,4 ^b | 29,8 ^a | 4,6 ^b | 2,0 |
| Mg, mg l ⁻¹ | 102,3 ^b | 138,5 ^b | 153,0 ^b | 104,3 ^b | 124,3 ^b | 100,1 ^b | 312,3 ^a | 110,8 ^b | 12,4 |
| K, mg l ⁻¹ | 47,6 ^b | 48,2 ^b | 54,7 ^b | 52,6 ^b | 70,6 ^{ab} | 45,8 ^b | 142,1 ^a | 55,2 ^b | 16,0 |

Taulukko 9. Maanäytteiden analyysitulokset kalkitusaineiden vertailussa keväällä 1998. Tilastollisesti merkitsevät erot on ilmoitettu yläindekseillä, testaus tehty Tukeyn testillä, $P < 0,05$. Keskiarvon keskivirhe (SEM) on ilmoitettu käsittelyille.

| | Ei kalkitusta | Mg- pitoinen kalkki 5 t/ha | Mg- pitoinen kalkki 10 t/ha | Teräs- kuona 10 t/ha | Veitsiluo- don tuhka 10 t/ha | Turve- tuhka 10 t/ha | Puun tuhka 10 t/ha | Järvi- ruo'on tuhka 10 t/ha | SEM |
|------------------------|-------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------------|------|
| Johtoluku 10 x mS/cm | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,4 | 1,2 | 0,11 |
| pH | 4,6 ^c | 4,8 ^{abc} | 5,3 ^a | 5,2 ^a | 4,9 ^{ab} | 4,7 ^{bc} | 5,2 ^a | 5,0 ^a | 0,08 |
| Ca, mg l ⁻¹ | 582 ^b | 832 ^b | 1480 ^a | 1263 ^a | 797 ^b | 641 ^b | 1460 ^a | 682 ^b | 91,0 |
| P, mg l ⁻¹ | 3,2 ^b | 3,1 ^b | 3,5 ^b | 4,9 ^b | 4,3 ^b | 4,1 ^b | 17,4 ^a | 5,2 ^b | 2,0 |
| K, mg l ⁻¹ | 42,3 ^b | 43,6 ^b | 46,0 ^b | 47,6 ^b | 58,5 ^b | 45,8 ^b | 123,9 ^a | 50,7 ^b | 6,6 |
| Mg, mg l ⁻¹ | 83,8 ^c | 105,9 ^{bc} | 141,8 ^b | 94,0 ^{bc} | 108,8 ^{bc} | 86,2 ^c | 253,0 ^a | 101,1 ^{bc} | 12,5 |

muista maanparannusaineista maan pH:ta ja kalsiumpitoisuutta nostavalta vaikutukseltaan. Kevään 1998 maanäytteiden analyysitulokset on esitetty taulukossa 9. Puun tuhka sisälsi runsaasti ravinteita, mikä aiheutti maan fosfori-, kalium- magnesiumpitoisuuksien nousun.

Neljä vuotta kokeen perustamisen jälkeen maan pH-arvot olivat korkeimmat niillä koejäsenillä, joiden maanparannusaineena oli käytetty joko puun tuhkaa tai teräskuonaa. Maa-analyysien tulokset keväällä 1999 on esitetty taulukossa 10. Magnesiumpitoista kalkkikivijauhetta käytettäessä pH-arvot olivat hieman matalampia, mutta ero puun tuhkaan ja teräskuonaan ei ollut huomattava. Turvetuhkan ja järvi-

ruo'on tuhkan maan pH:ta nostava vaikutus oli heikoin, eikä turvetuhka eronnut käsittelemättömästä koejäsenestä. Puun tuhkaa käytettäessä maan kalsiumpitoisuus oli korkein. Magnesiumpitoisen kalkkikivijauheen, teräskuonan ja Veitsiluodon tuhkan ero puun tuhkaan ei ollut tilastollisesti merkitsevä kalsiumpitoisuuden osalta. Käytettäessä perustamisvaiheessa puun tuhkaa maan fosfori-, kalium- ja magnesiumpitoisuudet olivat vielä neljäntenäkin vuotena selvästi korkeimmat. Muiden koejäsenien fosfori- ja kaliumpitoisuudet eivät eronneet käsittelemättömästä koejäsenestä. Magnesiumpitoisilla kalkkikivijauheilla oli puun tuhkan jälkeen suurin vaikutus maan magnesiumlukuun.

Taulukko 10. Maanäytteiden analyysitulokset kalkitusaineiden vertailussa keväällä 1999. Tilastollisesti merkitsevät erot on ilmoitettu yläindekseillä, testaus tehty Tukeyn testillä, $P < 0,05$. Keskiarvon keskivirhe (SEM) on ilmoitettu käsittelyille.

| | Ei kalkitusta | Mg-pitoinen kalkki 5 t/ha | Mg-pitoinen kalkki 10 t/ha | Teräskuona 10 t/ha | Veitsiluodon uhka 10 t/ha | Turve-tuhka 10 t/ha | Puun tuhka 10 t/ha | Järviruo'on tuhka 10 t/ha | SEM |
|------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|-------|
| Johtoluku 10 x mS/cm | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,2 | 1,0 | 0,11 |
| pH | 4,6 ^d | 5,1 ^a | 5,1 ^a | 5,4 ^a | 5,0 ^{ab} | 4,7 ^{cd} | 5,4 ^a | 4,8 ^{bc} | 0,07 |
| Ca, mg l ⁻¹ | 634 ^c | 1365 ^{ab} | 1288 ^{ab} | 1568 ^a | 1056 ^{abc} | 716 ^c | 1523 ^a | 888 ^{bc} | 115,7 |
| P, mg l ⁻¹ | 3,0 ^b | 2,8 ^b | 3,1 ^b | 3,5 ^b | 4,7 ^b | 3,8 ^b | 11,8 ^a | 4,3 ^b | 0,70 |
| K, mg l ⁻¹ | 41,2 ^b | 43,4 ^b | 47,1 ^b | 44,9 ^b | 54,1 ^b | 41,1 ^b | 94,2 ^a | 46,4 ^b | 3,8 |
| Mg, mg l ⁻¹ | 89,2 ^d | 150,0 ^b | 142,8 ^{bc} | 108,7 ^{cd} | 123,5 ^{bcd} | 96,7 ^d | 237,0 ^a | 115,3 ^{cd} | 8,8 |

3.1.2 Maanparannusaineiden vaikutus satoon ja sadon koostumukseen

Syksyllä 1995 kasvustonäytteiden fosfori- ja kaliumpitoisuudet olivat korkeimmat, kun maanparannusaineena oli käytetty perustamisvaiheessa puun tuhkaa. Näytteiden analyysitulokset on esitetty taulukossa 11. Koejäsenittäin tehdystä näytteenotosta johtuen havainnon merkitsevyyttä ei voi tilastollisesti todeta. Selityksenä kasvustonäytteiden korkeammille ravinnepitoisuuksille lienevät kuitenkin puun tuhkan korkeat ravinnepitoisuudet.

Ruokohelvestä saatiin korkeimmat kuiva-ainesadot, kun maanparannusaineena

oli käytetty puun tuhkaa tai teräskuonaa. Sadot eivät kuitenkaan eronneet tilastollisessa käsittelyssä merkitsevästi muista koe-käsittelyistä. Vuonna 1997 kokeen kuiva-ainesadot olivat korkeita. Ne ja sadon analyysitulokset on esitetty taulukossa 12. Korkein magnesiumipitoisuus oli magnesiumipitoista kalkkikivijauhetta saaneilla koejäsenillä. Veitsiluodon tuhalla kalkitun koejäsenen kasvusto sisälsi magnesiumia selvästi vähemmän kuin dolomiittikalkkia käytettäessä. Magnesiumipitoista kalkkikivijauhetta käytettäessä ruokohelpikasvuston kaliumpitoisuus oli selvästi muita korkeampi. Ero voidaan kuitenkin selittää sattuunaisvaihtelulla. Kasvuston tuhkapitoi-

Taulukko 11. Kalkituskoosteesta otettujen kasvustonäytteiden kivennäiskoostumus syksyllä 1995 koejäsenittäin.

| | Ei kalkitusta | Mg-pitoinen kalkki 5 t/ha | Mg-pitoinen kalkki 10 t/ha | Teräskuona 10 t/ha | Veitsiluodon tuhka 10 t/ha | Turve-tuhka 10 t/ha | Puun tuhka 10 t/ha | Järviruo'on tuhka 10 t/ha |
|------------------------------------|---------------|---------------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|
| Kuiva-aineessa, g kg ⁻¹ | | | | | | | | |
| Ca | 2,9 | 4,2 | 3,3 | 3,9 | 2,5 | 3,1 | 2,4 | 2,8 |
| P | 2,5 | 2,8 | 2,3 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 3,1 | 2,5 |
| K | 17 | 19 | 17 | 15 | 22 | 16 | 32 | 17 |
| Mg | 2,8 | 3,2 | 2,7 | 3,0 | 1,9 | 3,3 | 2,1 | 2,9 |
| Na | 0,17 | 0,17 | 0,22 | 0,26 | 0,15 | 0,40 | 0,10 | 0,41 |
| N | 26,2 | 28,2 | 25,4 | 22,5 | 23,2 | 25,1 | 26,9 | 26,0 |
| Cu | 3,6 | 3,8 | 3,4 | 3,0 | 5,3 | 4,8 | 5,8 | 4,9 |
| Mn | 210 | 250 | 200 | 230 | 230 | 220 | 260 | 210 |
| Zn | 46 | 42 | 39 | 34 | 95 | 40 | 55 | 51 |
| Fe | 97 | 140 | 92 | 86 | 78 | 120 | 84 | 85 |

suus oli korkein, kun maanparannusaineena oli käytetty teräskuonaa tai puun tuhkaa.

Kuiva-ainesadot olivat vuoden 1998 keväällä vain puolet vuoden 1997 sadoista. Korkein kuiva-ainesato saatiin, kun puun tuhkaa oli käytetty perustamisvaiheessa maanparannusaineena. Erot eivät kuitenkaan olleet suuria. Kasvuston kiven-

näisainepitoisuuksiin käsittelyillä ei ollut vaikutusta. Käsittelyjen typpipitoisuudet kuitenkin poikkesivat toisistaan. Erojen merkitys lienee kuitenkin käytännössä melko pieni ja on selitettävissä kasvustossa esiintyvällä vaihtelulla. Kevään 1998 kuiva-ainesadot ja analyysitulokset on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 12. Kalkituskokeen kuiva-ainesadot ja sadon analyysitulokset kevätkorjuussa vuonna 1997. Tilastollisesti merkitsevät erot on ilmoitettu yläindekseillä, testaus tehty Tukeyn testillä, $P < 0,05$. Keskiarvon keskivirhe (SEM) on ilmoitettu käsittelyille.

| | Ei kalkitusta | Mg-pitoinen kalkki 5 t/ha | Mg-pitoinen kalkki 10 t/ha | Teräskuona 10 t/ha | Veitsiluo- don tuhka 10 t/ha | Turve- tuhka 10 t/ha | Puun tuhka 10 t/ha | Järviruo'on tuhka 10 t/ha | SEM |
|---------------------------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|-------|
| Sato, kg ha ⁻¹ | | | | | | | | | |
| Kuiva-ainesato | 9340 | 9460 | 9690 | 10690 | 9770 | 9320 | 10860 | 9480 | 476,4 |
| Tuoresadossa, g kg ⁻¹ | | | | | | | | | |
| Kuiva-aine | 587 ^b | 849 ^{ab} | 811 ^{ab} | 851 ^{ab} | 879 ^a | 880 ^a | 864 ^{ab} | 864 ^{ab} | 14,7 |
| Kasvuston korkeus, cm | 157 | 158 | 158 | 154 | 154 | 153 | 153 | 157 | 2,3 |
| Kuiva-ainesadossa, g kg ⁻¹ | | | | | | | | | |
| N | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,06 |
| Ca | 0,8 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 0,9 | 0,08 |
| P | 0,56 | 0,55 | 0,52 | 0,51 | 0,53 | 0,53 | 0,50 | 0,63 | 0,05 |
| Mg | 0,51 ^{ab} | 0,62 ^a | 0,61 ^a | 0,43 ^{ab} | 0,38 ^b | 0,45 ^{ab} | 0,48 ^{ab} | 0,51 ^{ab} | 0,05 |
| K | 0,94 ^b | 1,04 ^{ab} | 1,53 ^a | 0,72 ^b | 0,75 ^b | 0,78 ^b | 1,01 ^b | 0,86 ^b | 0,10 |
| Na | 0,08 | 0,09 | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,09 | 0,01 |
| Kuitu | 504 | 493 | 493 | 502 | 495 | 500 | 498 | 494 | 7,9 |
| Tuhka | 18 ^c | 21 ^{bc} | 22 ^{abc} | 30 ^a | 26 ^{abc} | 20 ^c | 29 ^{ab} | 25 ^{abc} | 1,9 |

Taulukko 13. Kalkituskokeen kuiva-ainesadot ja sadon analyysitulokset kevätkorjuussa vuonna 1998. Tilastollisesti merkitsevät erot on ilmoitettu yläindekseillä, testaus tehty Tukeyn testillä, $P < 0,05$. Keskiarvon keskivirhe (SEM) on ilmoitettu käsittelyille.

| | Ei kalkitusta | Mg- pitoinen kalkki 5 t/ha | Mg- pitoinen kalkki 10 t/ha | Terä- kuona 10 t/ha | Veitsiluo- don tuhka 10 t/ha | Turve- tuhka 10 t/ha | Puun tuhka 10 t/ha | Järviruo'on tuhka 10 t/ha | SEM |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|-------|
| Sato, kg ha ⁻¹ | | | | | | | | | |
| Kuiva-ainesato | 4570 | 4740 | 4700 | 4020 | 4560 | 4220 | 4920 | 4320 | 483,4 |
| Tuoresadossa, g kg ⁻¹ | | | | | | | | | |
| Kuiva-aine | 882 | 880 | 878 | 879 | 892 | 880 | 880 | 882 | 5,1 |
| Kasvuston korkeus, cm | 96 | 109 | 112 | 108 | 120 | 100 | 117 | 104 | 8,9 |
| Kuiva-ainesadossa, g kg ⁻¹ | | | | | | | | | |
| N | 0,84 ^a | 0,68 ^{abc} | 0,68 ^{abc} | 0,69 ^{abc} | 0,61 ^{bc} | 0,76 ^{ab} | 0,6 ^c | 0,67 ^{bc} | 0,04 |
| Ca | 1,1 | 1,1 | 1,4 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 0,09 |
| P | 0,94 | 0,72 | 0,79 | 0,76 | 0,79 | 0,87 | 0,71 | 0,86 | 0,06 |
| Mg | 0,74 | 0,74 | 0,81 | 0,69 | 0,69 | 0,69 | 0,64 | 0,76 | 0,04 |
| K | 1,6 | 1,5 | 1,6 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 0,20 |
| Na | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,07 | 0,10 | 0,02 |
| Kuitu | 495 | 483 | 490 | 475 | 492 | 476 | 475 | 480 | 11,9 |
| Tuhka | 14 ^c | 16 ^c | 19 ^c | 30 ^{ab} | 17 ^c | 21 ^{bc} | 32 ^a | 16 ^c | 2,4 |

Neljäntenä vuonna maanparannusaineiden merkitys sadonmuodostuksessa tuli esiin, kun niitä verrattiin käsittelemättömään koejäseneen. Kuiva-ainesadot ja analyysitulokset vuonna 1999 on esitetty taulukossa 14. Puun tuhkan vaikutus oli selvästi paras, sillä sitä käytettäessä kuiva-ainesato oli 800 kg ha⁻¹ parempi kuin magnesiumipitoisen kalkkikivijauheen korkeammalla käyttömäärällä. Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä.

Runsas magnesiumipitoisen kalkkikivijauheen käyttö ja teräskuona tuottivat puun tuhkan jälkeen suurimman kuiva-ainesadon. Muut kokeen maanparannusaineet eivät enää neljäntenä vuonna poikenneet käsittelemättömästä koejäsenestä kuiva-ainesadon määrän suhteen. Maanparannusaineet eivät myöskään juuri vaikuttaneet enää neljäntenä vuonna sadon kivennäiskoostumukseen. Turvetuhkaa käytettäessä fosfori- ja magnesiumipitoisuudet olivat korkeampia kuin teräskuonaa käytettäessä. Ero ei kuitenkaan käytännössä liene erityisen merkitsevä. Maanparannusaineiden käyttö lisäsi myös kasvuston tuhkapitoisuutta. Ero käsittelemättömään koejäseneen verrattuna oli suurin, kun maanparannusaineena oli käytetty teräskuonaa, turvetai puun tuhkaa.

3.2 Lannoitus

3.2.1 Lannoituksen vaikutus satoon ja sadon koostumukseen

Lannoitus ei vaikuttanut keväällä 1997 korjattuihin ruokohelven kuiva-ainesatoihin. Sadot ja analyysitulokset on esitetty taulukossa 15. Kokeen kuiva-ainesadot olivat melko korkeita. Korkeammat kalium- ja fosforilannoitustasot nostivat ruokohelven kalium- ja fosforipitoisuutta. Typpilannoitus ei vaikuttanut ruokohelven kuiva-ainesatoon tai sadon typpipitoisuuteen. Runsa fosforin ja kaliumin käyttö lisäsi kasvuston tuhkapitoisuutta.

Syksyllä 1997 otetuissa kehikkonäytteissä kuiva-ainesadot olivat korkeita, mutta näytteenottotavan vuoksi myös hajonta oli erittäin suuri. Syksyllä 1997 otettujen näytteiden kuiva-ainesadot ja analyysitulokset on esitetty taulukossa 16. Pienen kehikon käyttö (0,25 m²) esti luotettavan sadon arvioinnin. Eri käsittelyjen kuiva-ainesadot ja typpipitoisuudet olivat samansuuruiset, ja typpisadoissa havaitut erot johtuivat kehikkonäytteiden satovaihtelusta. Keväällä tehdyllä fosfori- ja kaliumlannoituksella oli selvä vaikutus ruokohelven fosfori- ja kaliumipitoisuuteen.

Taulukko 14. Kalkituskokeen kuiva-ainesadot ja sadon analyysitulokset kevätkorjuussa vuonna 1999. Tilastollisesti merkitsevät erot on ilmoitettu yläindekseillä, testaus tehty Tukeyn testillä, P < 0,05. Keskiarvon keskivirhe (SEM) on ilmoitettu käsittelyille.

| | Ei kalkitusta | Mg-pitoinen kalkki 5 t/ha | Mg-pitoinen kalkki 10 t/ha | Teräskuona 10 t/ha | Veitsiluodon tuhka 10 t/ha | Turvetuhka 10 t/ha | Puun tuhka 10 t/ha | Järviruo'on tuhka 10 t/ha | SEM |
|---------------------------------------|--------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|-------|
| Sato, kg ha ⁻¹ | | | | | | | | | |
| Kuiva-ainesato | 2810 ^b | 2880 ^b | 3700 ^{ab} | 3360 ^{ab} | 2970 ^{ab} | 2280 ^b | 4530 ^a | 2640 ^b | 419,8 |
| Tuoresadossa, g kg ⁻¹ | | | | | | | | | |
| Kuiva-aine | 896 | 905 | 906 | 897 | 904 | 900 | 893 | 898 | 5,2 |
| Kasvuston korkeus, cm | 98 | 93 | 107 | 110 | 100 | 90 | 125 | 94 | 8,6 |
| Kuiva-ainesadossa, g kg ⁻¹ | | | | | | | | | |
| N | 0,64 | 0,46 | 0,54 | 0,45 | 0,47 | 0,52 | 0,44 | 0,50 | 0,04 |
| Ca | 0,8 | 1,1 | 1,0 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 0,10 |
| P | 0,80 ^{ab} | 0,68 ^{ab} | 0,69 ^{ab} | 0,61 ^b | 0,72 ^{ab} | 0,93 ^a | 0,65 ^{ab} | 0,74 ^{ab} | 0,07 |
| Mg | 0,46 ^{ab} | 0,50 ^{ab} | 0,48 ^{ab} | 0,42 ^b | 0,48 ^{ab} | 0,57 ^a | 0,46 ^{ab} | 0,50 ^{ab} | 0,03 |
| K | 1,1 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 1,0 | 0,8 | 0,12 |
| Na | 0,05 | 0,07 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,01 |
| Kuitu | 482 | 481 | 508 | 490 | 492 | 481 | 505 | 497 | 12,2 |
| Tuhka | 9 ^b | 10 ^{ab} | 10 ^{ab} | 21 ^a | 12 ^{ab} | 19 ^{ab} | 20 ^{ab} | 16 ^{ab} | 2,3 |

Vuonna 1998 lannoitus vaikutti selvästi ruokohelven kuiva-ainesatoon (Taulukko 17). Kaliumin ja fosforin runsas käyttö lisäsi kuiva-ainesadon määrää ja kasvuston korkeutta. Typpilannoituksen lisääminen tuotti myös selvän sadonlisäyksen. Typpilannoitustasojen (60, 90 ja 120 kg N ha⁻¹) välillä ei havaittu eroja kuiva-ainesadossa.

Kasvuston typpipitoisuuden lannoituksella ei ollut vaikutusta. Sen sijaan typpenottoon se vaikutti selvästi. Kaliumin ja fosforin runsas käyttö lisäsi typpisadon määrää. Typpellä lannoittamattomien koejäsenten typpisato oli selvästi pienempi kuin typpellä lannoitettujen koejäsenten. Eri typpitasojen (60, 90 ja 120 kg N ha⁻¹) välillä ei kuitenkaan havaittu eroja. Kuiva-ainesadon määrän lisääntyessä kasvustossa oli myös enemmän typpeä.

Fosforilannoitus vaikutti selvästi kasvuston fosforipitoisuuteen, sillä korkeampi fosforitaso nosti selvästi kasvuston fosforipitoisuutta. Typpilannoituksen lisääminen laski puolestaan kasvuston fosforipitoisuutta, koska se lisäsi kuiva-ainesatoa. Pieni kaliumin ja fosforin määrä nosti kasvuston magnesiumipitoisuutta. Edelleen kasvuston kaliumipitoisuus lisääntyi selvästi, kun ka-

liumlannoitusta annettiin enemmän.

Vuonna 1999 typpilannoitus lisäsi kuiva-ainesatoa selvästi. Vastaavasti lannoittamaton koejäsen oli kuiva-ainesadoltaan muita heikompi. Eri määrän fosfori- ja kaliumlannoitusta saaneiden kasvustojen kuiva-ainesadot eivät eronneet toisistaan. Sadot ja analyysitulokset on esitetty taulukossa 18.

Pienen kalium- ja fosforilannoituksen saaneiden koejäsenten typpipitoisuus oli korkeampi kuin korkeamman kalium- ja fosforilannoituksen saaneiden koejäsenten. Typpisadon määrään ne eivät kuitenkaan vaikuttaneet, koska korkeamman kalium- ja fosforilannoituksen saaneiden koejäsenten kuiva-ainesadot olivat korkeammat. Ilman typpilannoitusta olleiden koejäsenten typpisato oli muita koejäseniä pienempi. Syynä olivat typpellä lannoittamattomien koejäsenten heikommat kokonaissadot.

Sadon fosforipitoisuudet olivat korkeammat fosforilannoitusta saaneilla koejäsenillä. Kasvuston kaliumipitoisuus puolestaan kohosi selvästi, kun lannoituksessa käytettiin korkeampaa kaliumtasoa. Sadon kuitupitoisuus lisääntyi, kun typpilannoitusta lisättiin. Ilman typpilannoitusta olle-

Taulukko 15. Lannoituskokeen kuiva-ainesadot ja sadon analyysitulokset kevätkorjuussa vuonna 1997. Koekäsittelyt on testattu varianssianalyysillä. Tilastollisesti merkitsevien erojen p-arvot ilmoitettu lyhenteinä: *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05 ja NS = ei tilastollista merkitystä. Keskiarvon keskivirhe (SEM) on ilmoitettu pää- ja osaruudulle.

| | 80 K/40 P | | | | 160 K/80 P | | | | P-arvot | | | SEM | |
|---------------------------------------|-----------|------|------|-------|------------|------|------|-------|---------|----|-------|-------|-------|
| | 0 N | 60 N | 90 N | 120 N | 0 N | 60 N | 90 N | 120 N | P/K | N | P/K*N | P/K | N |
| Sato, kg ha ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | |
| Kuiva-ainesato | 7260 | 8510 | 8380 | 8140 | 8540 | 8970 | 7700 | 8550 | NS | NS | NS | 328,2 | 339,3 |
| N | 33 | 41 | 48 | 41 | 40 | 45 | 38 | 41 | NS | NS | NS | 4,6 | 4,9 |
| Typen hyväksikäyttö, % | | 12,6 | 17,0 | 12,6 | | 9,0 | -1,9 | 1,3 | | | | | |
| Tuoesadossa, g kg ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | |
| Kuiva-aine | 888 | 888 | 863 | 865 | 882 | 786 | 793 | 875 | NS | NS | NS | 19,8 | 22,9 |
| Kasvuston korkeus, cm | | | | | | | | | NS | NS | NS | 2,4 | 2,9 |
| Kuiva-ainesadossa, g kg ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | |
| N | 0,46 | 0,48 | 0,58 | 0,51 | 0,47 | 0,50 | 0,50 | 0,49 | NS | NS | NS | 0,05 | 0,05 |
| Ca | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,4 | 1,4 | 1,1 | NS | NS | NS | 0,04 | 0,05 |
| P | 0,39 | 0,31 | 0,38 | 0,33 | 0,50 | 0,54 | 0,52 | 0,32 | NS | NS | NS | 0,03 | 0,04 |
| Mg | 0,59 | 0,50 | 0,54 | 0,51 | 1,71 | 0,49 | 0,48 | 0,44 | NS | NS | NS | 0,24 | 0,32 |
| K | 0,71 | 0,68 | 0,75 | 0,68 | 0,84 | 0,92 | 0,87 | 0,77 | ** | NS | NS | 0,04 | 0,05 |
| Na | 0,08 | 0,08 | 0,14 | 0,09 | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,07 | NS | NS | NS | 0,01 | 0,01 |
| Kuitu | 435 | 441 | 441 | 449 | 450 | 502 | 465 | 460 | * | NS | NS | 6,5 | 8,6 |
| Tuhka | 3,2 | 3,1 | 3,1 | 3,5 | 4,2 | 3,6 | 3,4 | 3,3 | NS | NS | NS | 0,17 | 0,21 |

Taulukko 16. Lannoituskokeen kuiva-ainesadot ja sadon analyysitulokset syysnäytteissä vuonna 1997. Koekäsittelyt on testattu varianssianalyysillä. Tilastollisesti merkitsevien erojen p-arvot ilmoitettu lyhenteinä: *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05 ja NS = ei tilastollista merkitystä. Keskiarvon keskivirhe (SEM) on ilmoitettu pää- ja osaruudulle.

| | 80 K/40 P | | | | 160 K/80 P | | | | P-arvot | | | SEM | |
|---------------------------------------|-----------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|---------|----|-------|------|------|
| | 0 N | 60 N | 90 N | 120 N | 0 N | 60 N | 90 N | 120 N | P/K | N | P/K*N | P/K | N |
| Sato, kg ha ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | |
| Kuiva-ainesato | 10690 | 11060 | 12400 | 10920 | 11710 | 16230 | 16730 | 11860 | NS | NS | NS | 1356 | 1463 |
| N | 42 | 57 | 72 | 54 | 51 | 90 | 84 | 62 | NS | ** | NS | 6,9 | 8,0 |
| Typen hyväksikäyttö, % | | 24,8 | 32,9 | 10,0 | | 65,0 | 36,8 | 9,1 | | | | | |
| Tuoesadossa, g kg ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | |
| Kuiva-aine | 446 | 513 | 399 | 434 | 452 | 448 | 341 | 302 | NS | NS | NS | 23,2 | 32,9 |
| Kuiva-ainesadossa, g kg ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | |
| N | 0,39 | 0,51 | 0,64 | 0,49 | 0,44 | 0,55 | 0,51 | 0,55 | NS | NS | NS | 0,03 | 0,04 |
| Ca | 1,8 | 2,2 | 2,1 | 2,3 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,8 | * | NS | NS | 0,07 | 0,09 |
| P | 0,56 | 0,61 | 0,69 | 0,59 | 0,82 | 0,71 | 0,75 | 0,65 | NS | NS | NS | 0,04 | 0,05 |
| Mg | 1,3 | 1,6 | 2,4 | 1,5 | 1,0 | 0,9 | 1,1 | 1,1 | NS | NS | NS | 0,18 | 0,24 |
| K | 2,6 | 2,7 | 1,6 | 2,7 | 5,1 | 5,0 | 4,4 | 4,3 | * | NS | NS | 0,34 | 0,48 |
| Na | 0,03 | 0,12 | 0,07 | 0,07 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | NS | NS | NS | 0,01 | 0,02 |
| Kuitu | 520 | 517 | 514 | 512 | 491 | 502 | 508 | 514 | NS | NS | NS | 3,4 | 4,8 |
| Tuhka | 23 | 22 | 19 | 26 | 27 | 26 | 25 | 25 | * | NS | NS | 1,3 | 1,6 |

den koejäsenten kuitupitoisuus oli muita pienempi. Typpilannoitetut koejäsenet eivät eronneet toisistaan merkitsevästi kuitupitoisuuden suhteen. Sen sijaan fosfori- ja kaliumlannoitus ei vaikuttanut kuitupitoisuuteen.

Typpilannoitus pienensi sadon tuhkapitoisuutta, mutta fosfori- ja kaliumlannoituksen ei havaittu vaikuttavan siihen.

3.2.2 Typen hyväksikäyttö

Eri lannoituskäsittelyt saaneiden kasvustojen typpipitoisuudessa ei ollut keväisin eroja (Taulukot 15, 17 ja 18) ja se oli keskimäärin 0,5 g kg ka⁻¹. Syksyllä 1997 kasvustosta otettiin näytteet (Taulukko 16), joissa typpisato ja typen hyväksikäyttö olivat selvästi parempia verrattuna seuraavan kevään satoon (Taulukko 17). Kasvuston typpipitoisuudessa ei kuitenkaan ollut eroja syksyllä ja keväällä.

Hirvinevalla kasvuston typpipitoisuus oli keskimäärin 0,5 % kuiva-aineesta. Hirvinevan kokeessa näytteet otettiin nurmenkorjuukoneella korjatuista sadoista, jolloin sängin korkeus oli noin kahdeksan senttimetriä. Keskimääräinen näyte edusti kasvin

tyviosan yläpuolisia korsia ja lehtiä.

Ruokohelven lannoitetypen näennäinen hyväksikäyttö oli kevätkorjuussa keskimäärin 15 %, korkeammilla typpitasoilla hieinan vähemmän.

3.2.3 Lannoituksen vaikutus viljelyalustaan

Keväällä 1996 otettujen maanäytteiden kaliumin ja fosforin pitoisuudet olivat korkeita. Tämä näkyi selvästi myös kohonneena johtolukuna. Lannoitus ei muuten juuri vaikuttanut maan ravinnepitoisuuksiin. Maanalyyysien tulokset keväältä 1996 ovat taulukossa 19.

Keväällä 1997 otetuista näytteistä näkyi selvästi kalium- ja fosforilannoituksen vaikutus, sillä se lisäsi maan johtolukua (Taulukko 20). Runsas fosforin ja kaliumin käyttö näkyi selvästi maanäytteiden kohonneina ravinnepitoisuuksina. Muiden ravinteiden määriin lannoitus ei vaikuttanut. Typpilannoitus puolestaan vähensi maan fosforin määrää.

Vuonna 1998 korkeampi kalium- ja fosforitaso aiheutti maanäytteiden johtoluvun nousumisen. Maan pH:hon sillä ei ollut vai-

Taulukko 17. Lannoituskokeen kuiva-ainesadot ja sadon analyysitulokset kevätkorjuussa vuonna 1998. Koekäsittelyt on testattu varianssianalyysillä. Tilastollisesti merkitsevien erojen p-arvot ilmoitettu lyhenteinä: *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05 ja NS = ei tilastollista merkitystä. Keskiarvon keskivirhe (SEM) on ilmoitettu pää- ja osaruudulle.

| | 80 K/40 P | | | | 160 K/80 P | | | | P-arvot | | | SEM | |
|---------------------------------------|-----------|------|------|-------|------------|------|------|-------|---------|-----|-------|-------|-------|
| | 0 N | 60 N | 90 N | 120 N | 0 N | 60 N | 90 N | 120 N | P/K | N | P/K*N | P/K | N |
| Sato, kg ha ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | |
| Kuiva-ainesato | 4960 | 7040 | 6930 | 8250 | 6470 | 8280 | 8130 | 8300 | ** | *** | NS | 283,9 | 344,7 |
| N | 22 | 33 | 37 | 39 | 33 | 40 | 39 | 45 | * | *** | NS | 2,6 | 2,9 |
| Typen hyväksikäyttö, % | | 17,7 | 16,3 | 14,4 | | 12,0 | 9,3 | 9,9 | | | | | |
| Tuoesadossa, g kg ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | |
| Kuiva-aine | 873 | 882 | 887 | 885 | 884 | 887 | 878 | 878 | NS | NS | NS | 35,9 | 48,0 |
| Kasvuston korkeus, cm | 125 | 136 | 138 | 137 | 140 | 143 | 143 | 145 | NS | NS | NS | 1,9 | 2,7 |
| Kuiva-ainesadossa, g kg ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | |
| N | 0,45 | 0,47 | 0,54 | 0,48 | 0,50 | 0,48 | 0,48 | 0,54 | NS | NS | NS | | |
| Ca | 1,6 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,4 | 1,5 | 1,3 | 1,4 | NS | NS | NS | 0,06 | 0,06 |
| P | 0,59 | 0,46 | 0,53 | 0,48 | 0,72 | 0,64 | 0,61 | 0,53 | * | * | NS | 0,03 | 0,03 |
| Mg | 0,75 | 0,66 | 0,83 | 0,71 | 0,70 | 0,62 | 0,65 | 0,70 | NS | NS | NS | 0,05 | 0,06 |
| K | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 2,1 | 1,9 | 1,6 | 2,0 | * | NS | NS | 0,10 | 0,13 |
| Na | 0,05 | 0,05 | 0,08 | 0,05 | 0,08 | 0,04 | 0,03 | 0,04 | NS | NS | NS | 0,01 | 0,01 |
| Kuitu | 478 | 490 | 493 | 500 | 489 | 493 | 506 | 480 | NS | NS | NS | 5,0 | 6,7 |
| Tuhka | 36 | 32 | 29 | 29 | 37 | 33 | 28 | 28 | NS | *** | NS | 0,69 | 0,95 |

Taulukko 18. Lannoituskokeen kuiva-ainesadot ja sadon analyysitulokset kevätkorjuussa vuonna 1999. Koekäsittelyt testattiin varianssianalyysillä. Tilastollisesti merkitsevien erojen p-arvot ilmoitettu lyhenteinä: *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05 ja NS = ei tilastollista merkitystä. Keskiarvon keskivirhe (SEM) on ilmoitettu pää- ja osaruudulle.

| | 80 K/40 P | | | | 160 K/80 P | | | | P-arvot | | | SEM | |
|---------------------------------------|-----------|------|------|-------|------------|------|------|-------|---------|-----|-------|-------|-------|
| | 0 N | 60 N | 90 N | 120 N | 0 N | 60 N | 90 N | 120 N | P/K | N | P/K*N | P/K | N |
| Sato, kg ha ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | |
| Kuiva-ainesato | 3500 | 5220 | 4910 | 6470 | 3970 | 5540 | 6040 | 5500 | NS | *** | * | 160,3 | 226,7 |
| N | 16 | 27 | 28 | 35 | 18 | 28 | 28 | 29 | * | NS | NS | 1,7 | 2,0 |
| Typen hyväksikäyttö, % | | 17,7 | 13,6 | 16,1 | | 17,2 | 11,7 | 9,6 | | | | | |
| Tuoesadossa, g kg ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | |
| Kuiva-aine | 836 | 863 | 866 | 864 | 850 | 821 | 849 | 834 | NS | NS | NS | 19,5 | 17,2 |
| Kasvuston korkeus, cm | 100 | 149 | 141 | 185 | 113 | 158 | 173 | 157 | NS | NS | NS | 4,5 | 5,2 |
| Kuiva-ainesadossa, g kg ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | |
| N | 0,46 | 0,51 | 0,58 | 0,55 | 0,45 | 0,51 | 0,47 | 0,53 | * | NS | NS | 0,03 | 0,03 |
| Ca | 1,7 | 1,4 | 1,6 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | NS | NS | NS | 0,11 | 0,11 |
| P | 0,65 | 0,58 | 0,72 | 0,57 | 0,76 | 0,77 | 0,72 | 0,70 | NS | NS | NS | 0,05 | 0,05 |
| Mg | 0,53 | 0,54 | 0,57 | 0,47 | 0,44 | 0,42 | 0,45 | 0,44 | * | NS | NS | 0,02 | 0,02 |
| K | 1,1 | 1,0 | 1,1 | 0,9 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | NS | NS | NS | 0,08 | 0,08 |
| Na | 0,08 | 0,09 | 0,12 | 0,08 | 0,07 | 0,24 | 0,08 | 0,07 | NS | NS | NS | 0,03 | 0,04 |
| Kuitu | 459 | 478 | 473 | 478 | 467 | 485 | 484 | 488 | NS | ** | NS | 2,8 | 3,9 |
| Tuhka | 34 | 28 | 30 | 26 | 38 | 33 | 31 | 27 | NS | ** | NS | 1,2 | 1,7 |

kutusta. Maa-analyysien tulokset keväältä 1998 ovat taulukossa 21. Fosforipitoisuus oli korkeampi suuremman fosforilannoituksen saaneissa ruuduissa. Typpilannoituksen lisääminen pienensi puolestaan maa-

näytteiden fosforipitoisuuksia. Näin tapahtui varsinkin suuremmalla fosforimäärällä. Maanäytteiden magnesiumpitoisuuteen koekäsittelyt eivät vaikuttaneet. Suurempi kaliumin määrä erottui myös tilastollisessa

Taulukko 19. Maanäytteiden analyysitulokset keväältä 1996 ruokohelven kalium-, fosfori- ja typipilannoituskokeesta. Koekäsittelyt on testattu varianssianalyysillä. Tilastollisesti merkitsevien erojen p-arvot ilmoitettu lyhenteinä: *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05 ja NS = ei tilastollista merkitystä. Keskiarvon keskivirhe (SEM) on ilmoitettu pää- ja osaruudulle. Johtoluku on ilmoitettu lyhenteellä JL.

| | 80 K/40 P | | | | 160 K/80 P | | | | P-arvot | | | SEM | |
|------------------------|-----------|------|------|-------|------------|------|-------|-------|---------|----|-------|-------|-------|
| | 0 N | 60 N | 90 N | 120 N | 0 N | 60 N | 90 N | 120 N | P/K | N | P/K*N | P/K | N |
| JL | 1,4 | 1,6 | 1,6 | 1,3 | 1,6 | 2,1 | 2,2 | 1,8 | * | NS | NS | 0,09 | 0,13 |
| pH | 5,0 | 4,9 | 4,9 | 4,9 | 4,8 | 4,8 | 5,0 | 4,9 | NS | NS | NS | 0,09 | 0,11 |
| Ca, mg l ⁻¹ | 2060 | 1983 | 2070 | 1503 | 1668 | 1728 | 2365 | 1844 | NS | NS | NS | 194,5 | 247,4 |
| P, mg l ⁻¹ | 5,4 | 5,2 | 5,0 | 3,7 | 7,5 | 5,7 | 8,7 | 9,0 | * | NS | NS | 0,87 | 1,23 |
| Mg, mg l ⁻¹ | 97,1 | 94,3 | 94,2 | 92,5 | 92,6 | 93,5 | 102,3 | 94,2 | NS | NS | NS | 5,2 | 5,6 |
| K, mg l ⁻¹ | 25,9 | 24,6 | 27,0 | 25,7 | 38,7 | 45,7 | 47,6 | 43,3 | *** | NS | NS | 2,0 | 2,8 |
| B, mg l ⁻¹ | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | NS | NS | * | 0,02 | 0,02 |
| Cu, mg l ⁻¹ | 0,59 | 0,70 | 0,68 | 0,78 | 0,65 | 0,57 | 0,69 | 0,59 | NS | NS | NS | 0,03 | 0,04 |
| Mn, mg l ⁻¹ | 117 | 148 | 123 | 130 | 145 | 143 | 133 | 130 | NS | NS | NS | 9,5 | 9,4 |
| Zn, mg l ⁻¹ | 0,35 | 0,34 | 0,37 | 0,45 | 0,39 | 0,39 | 0,29 | 0,33 | NS | NS | NS | 0,03 | 0,04 |

Taulukko 20. Maanäytteiden analyysitulokset keväältä 1997 ruokohelven kalium-, fosfori- ja typipilannoituskokeesta. Koekäsittelyt on testattu varianssianalyysillä. Tilastollisesti merkitsevien erojen p-arvot ilmoitettu: *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05 ja NS = ei tilastollista merkitystä. Keskiarvon keskivirhe (SEM) on ilmoitettu pää- ja osaruudulle. Johtoluku on ilmoitettu lyhenteellä JL.

| | 80 K/40 P | | | | 160 K/80 P | | | | P-arvot | | | SEM | |
|------------------------|-----------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|---------|----|-------|-------|-------|
| | 0 N | 60 N | 90 N | 120 N | 0 N | 60 N | 90 N | 120 N | P/K | N | P/K*N | P/K | N |
| JL | 2,2 | 2,0 | 2,4 | 2,1 | 2,9 | 2,9 | 3,4 | 2,5 | * | NS | NS | 0,12 | 0,17 |
| pH | 5,4 | 4,9 | 5,1 | 5,4 | 5,3 | 5,4 | 5,3 | 5,2 | NS | NS | NS | 0,10 | 0,11 |
| Ca, mg l ⁻¹ | 2770 | 2120 | 2263 | 2855 | 2840 | 2618 | 2963 | 2255 | NS | NS | NS | 180,7 | 232,5 |
| P, mg l ⁻¹ | 6,2 | 4,0 | 4,9 | 6,1 | 10,6 | 11,0 | 11,0 | 5,0 | * | * | ** | 0,83 | 0,87 |
| Mg, mg l ⁻¹ | 111,1 | 102,6 | 102,5 | 109,7 | 110,0 | 102,4 | 114,8 | 100,4 | NS | NS | NS | 2,9 | 4,1 |
| K, mg l ⁻¹ | 49,5 | 41,6 | 48,3 | 51,9 | 58,1 | 77,1 | 53,1 | 67,0 | * | NS | NS | 5,4 | 7,7 |

Taulukko 21. Maanäytteiden analyysitulokset keväältä 1998 ruokohelven kalium-, fosfori- ja typipilannoituskokeesta. Koekäsittelyt on testattu varianssianalyysillä. Tilastollisesti merkitsevien erojen p-arvot ilmoitettu lyhenteinä: *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05 ja NS = ei tilastollista merkitystä. Keskiarvon keskivirhe (SEM) on ilmoitettu pää- ja osaruudulle. Johtoluku on ilmoitettu lyhenteellä JL.

| | 80 K/40 P | | | | 160 K/80 P | | | | P-arvot | | | SEM | |
|------------------------|-----------|------|------|-------|------------|-------|------|-------|---------|----|-------|-------|-------|
| | 0 N | 60 N | 90 N | 120 N | 0 N | 60 N | 90 N | 120 N | P/K | N | P/K*N | P/K | N |
| JL | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 1,7 | ** | NS | NS | 0,10 | 0,12 |
| pH | 5,3 | 5,3 | 5,4 | 5,4 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,2 | NS | NS | NS | 0,07 | 0,07 |
| Ca, mg l ⁻¹ | 1943 | 2395 | 2725 | 2963 | 3733 | 2953 | 2718 | 2198 | NS | NS | * | 308,0 | 339,2 |
| P, mg l ⁻¹ | 4,2 | 6,2 | 6,7 | 5,5 | 13,8 | 11,3 | 10,8 | 7,1 | NS | NS | ** | 1,6 | 1,3 |
| Mg, mg l ⁻¹ | 93,0 | 94,8 | 94,8 | 113,8 | 110,3 | 100,4 | 97,8 | 92,8 | NS | NS | NS | 4,9 | 7,0 |
| K, mg l ⁻¹ | 42,1 | 39,8 | 42,1 | 50,7 | 69,2 | 65,6 | 62,3 | 65,3 | ** | NS | NS | 3,1 | 3,9 |

testauksessa selvästi.

Vuonna 1999 korkeampi fosfori- ja kaliumlannoitustaso näkyi maanäytteistä tehdyissä analyysissä korkeampina fosfori- ja kaliumpitoisuuksina (Taulukko 22). Muuten lannoitus ei vaikuttanut keväällä otettuihin maanäytteisiin.

4 Tulosten tarkastelu

4.1 Maanparannusaineet

Maanparannusainekokeessa ruokohelven kuiva-ainesadot laskivat ensimmäisen satovuoden 10 000 kg:sta kuiva-ainetta vajaan 3000 kg:aan kuiva-ainetta. Typpilannoitus oli keskimäärin 80 kg N ha⁻¹. Lannoituskokeessa vastaava typpilannoitus riitti hyvin pitämään kuiva-ainesadon keskimäärin 8000 kg:ssa. Lannoituskokeessa satotaso laski myös kokeen aikana, mutta lasku ei ollut niin voimakas kuin maanparannusainekokeessa.

Maanparannusainekokeessa käytetty kaliumlannoitus ei ollut riittävä. Varsinkin toisen ja kolmannen vuoden sadolle sitä annettiin liian vähän. Vuosina 1997 ja 1998 kaliumia käytettiin vain 27 kg ha⁻¹. Virkajärvi ja Huhta (1994) tutkivat Tohmajärven Valkeasuolla timotein kasvatusta polttoturvesuon jättöalueella. He suosittelivat viljelyn aloitusvaiheessa 160 kg kaliumlannoitusta hehtaarille vuodessa. Turve- maissa ei luontaisesti ole kaliumia, ja ne pi-

dättävät heikosti sitä.

Puun tuhkan mukana perustettava kasvusto sai 320 kg K ha⁻¹. Saarela (1985) on kuitenkin todennut, että puun tuhkan runsas kalium ei vastaa kalisuolan liukoista kaliumia. Puun tuhka nosti maan kaliumpitoisuuden nelinkertaiseksi muihin koekäsittelyihin verrattuna ensimmäisenä vuotena. Puun tuhkaa saaneen maan kaliumpitoisuus laski koko tutkimusjakson ajan. Syynä tähän oli kasvuston kaliumin otto ja sen huuhtoutuminen. Muissa koekäsittelyissä maan kaliumluvut eivät muuttuneet tutkimuksen aikana, vaan olivat matalia koko ajan. Kokeen perustamisen yhteydessä tehty kaliumlannoitus nosti kuitenkin selvästi muiden käsittelyjen kaliumlukuja lähtötalanteeseen nähden.

Maanäytteiden fosforipitoisuudet olivat hyvin matalia lukuun ottamatta puun tuhkaa. Muiden maanparannusainekokeiden fosforipitoisuudet olivat keskimäärin 4 mg l⁻¹, eikä maanparannusaineilla ollut juuri vaikutusta maan fosforilukuihin. Käytettäessä maanparannusaineena puun tuhkaa fosforiluku kuitenkin laski tutkimusjakson aikana. Saarela (1985) totesi puun tuhkan olevan tehokas maan fosforitilan ylläpitäjä, vaikka sen vaikealiukoisen fosforin välitön vaikutus oli superfosfaattiin verrattuna heikko. Saarelan (1985) koesarjassa maan fosforiluku ei kuitenkaan noussut turve- maalla yhtä korkealle kuin savimaalla. Turvemaiden kyky pidättää fosforia onkin selvästi huonompi kuin karkeilla kivennäis- ja savimailla (Sippola & Saarela 1992). Turve-

Taulukko 22. Maanäytteiden analyysitulokset keväältä 1999 ruokohelven kalium-, fosfori- ja typpilannoituskokeesta. Koekäsittelyt on testattu varianssianalyysillä. Tilastollisesti merkitsevien erojen p-arvot on ilmoitettu lyhenteinä: *** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05 ja ns = ei tilastollista merkitystä. Keskiarvon keskivirhe (SEM) on ilmoitettu pää- ja osaruudulle. Johtoluku on ilmoitettu lyhenteellä JL.

| | 80 K/40 P | | | | 160 K/80 P | | | | P-arvot | | | SEM | |
|------------------------|-----------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|---------|----|-------|------|-------|
| | 0 N | 60 N | 90 N | 120 N | 0 N | 60 N | 90 N | 120 N | P/K | N | P/K*N | P/K | N |
| JL | 1,0 | 1,3 | 1,2 | 1,3 | 1,1 | 1,5 | 1,4 | 1,1 | NS | NS | NS | 0,08 | 0,11 |
| pH | 5,5 | 5,4 | 5,4 | 5,5 | 5,4 | 5,5 | 5,4 | 5,4 | NS | NS | NS | 0,07 | 0,08 |
| Ca, mg l ⁻¹ | 2150 | 1933 | 5153 | 2073 | 1978 | 2353 | 2043 | 2065 | NS | NS | NS | 98,7 | 134,1 |
| P, mg l ⁻¹ | 4,0 | 3,9 | 4,6 | 3,6 | 6,3 | 7,1 | 7,2 | 8,4 | *** | NS | NS | 0,53 | 0,72 |
| Mg, mg l ⁻¹ | 104,0 | 103,4 | 106,5 | 98,8 | 102,4 | 106,0 | 103,7 | 101,6 | NS | NS | NS | 4,1 | 4,4 |
| K, mg l ⁻¹ | 45,2 | 44,7 | 48,3 | 43,3 | 71,5 | 71,7 | 72,3 | 85,4 | ** | NS | NS | 4,0 | 4,2 |

maista huuhtoutuvan fosforin määrä voi olla monikymmenkertainen kivennäismaihin verrattuna (Kempainen 1995). Ilmeisesti melko suuri osa tuhkan sisältämästä fosforista huuhtoutui tutkimuksen aikana.

Puun tuhka, magnesiumipitoinen kalkkikivijauhe ja teräskuona olivat tehokkaimpia kalkitusaineita. Ne nostivat maan pH:ta tehokkaasti. Teräskuona vaikutti maan pH:hon hitaammin kuin magnesiumipitoinen kalkkikivijauhe ja puutuhka. Suurin syy tähän on teräskuonan karkeampi raekoko. Kolmantena vuotena teräskuona ei enää eronnut magnesiumipitoisesta kalkkikivijauheesta ja puutuhkasta. Jaakkola et al. (1985) totesivat saman ilmiön tekemissään tutkimuksissa, sillä puun tuhkan, magnesiumipitoisen kalkkikivijauheen ja teräskuonan vaikutus näkyi maa-analyyseissä selvästi vielä kokeen lopussa otetuissa näytteissä.

Maanparannusaineiden vaikutus kestää yleensä useiden vuosien ajan (Jaakkola et al. 1977, Jaakkola et al. 1985, Kempainen et al. 1993). Myös Veitsiluodon lipeäpoltton tuhka ja järviruo'on tuhka vaikuttivat maanparannusaineina, mutta heikommin kuin puun tuhka, magnesiumipitoinen kalkkikivijauhe ja teräskuona. Turvetuhka oli selvästi kokeen heikoin maanparannusaine.

4.2. Lannoituskoe

Fosforin varastolannoitus vaikutti kokeessa selvästi maan fosforilukuihin. Korkeimmillaan fosforiluvut olivat noin 11 mg l⁻¹. Fosforiluvut olivat korkeammallakin tasolla alempia kuin Sippolan ja Saarelan (1992) turvemaiden huuhtoutumisrajaksi esittämä (14 mg l⁻¹). Maanäytteet otettiin keväisin, joten fosforin huuhtoutumista on todennäköisesti tapahtunut ainakin jonkin verran syksyn aikana, jolloin fosforitaso oli ilmeisesti suurempi. Kokeesta ei kuitenkaan otettu syksyisin maanäytteitä, joten oletusta ei voitu testata.

Turvemaiilla tehdyissä kokeissa Huhta (1989) havaitsi fosforin huuhtoutuvan nur-

miviljelyssä etupäässä syksyllä. Fosforin kokonaishuuhtoutuminen jäi kokeessa kuitenkin keskimäärin vain 1,1 kg ha⁻¹ vuodessa (Huhta 1989). Alemmalla lannoitustasolla kokeen fosforiluvut pysyivät koko ajan matalina. Vuotuislannoituksessa oli 10 kg:n ero, sillä se oli 30 ja 40 kg P ha⁻¹ vuodessa. Virkajärvi ja Huhta (1993) totesivat timoteinurmien fosforitarpeen olevan viljelyn alkuvaiheessa 40–50 kg ha⁻¹. Myöhemmin maan fosforiluvun kohotessa fosforilannoitusta voidaan vähentää 10–20 kg ha⁻¹ satotason merkittävästi kärsimättä. Ylilannoituksesta ei ole hyötyä, vaan se vain lisää fosforin huuhtoutumista (Sippola & Saarela 1992, Kempainen 1995).

Kaliumlannoitus nosti selkeästi maan kaliumlukuja. Kaliumin korkeammilla käyttömäärillä kaliumluvut nousivat koko kokeen ajan hivenen vuosittain. Pienemmällä kaliumlannoituksella kaliumluvut pysyivät matalina. Kaliumluvut olivat pienemmällä lannoitustasolla samaa luokkaa kuin maanparannusainekokeessa. Kaliumin vuosittainen käyttömäärä oli kuitenkin kaksinkertainen pienemmälläkin tasolla verrattaessa maanparannusainekokeeseen, eikä satotasossa tapahtunut samanlaista romahdusta. Koikkalainen et al. (1990) sekä Virkajärvi ja Huhta (1994) päätyivät suosittelemaan timoteille vuotuislannoitusta turvemaiilla tekemissään kokeissa. Turvemaiden heikon kaliumin pidätyskyvyn vuoksi helppoliukoisilla ravinteilla ei voida kohottaa maan kaliumpitoisuutta (Koikkalainen et al. 1990, Virkajärvi & Huhta 1994). Lannoituskokeessa todennäköisesti suurin tekijä, joka vaikutti korkeampiin satoihin, oli nimenomaan kaliumin runsaampi vuotuisen käyttömäärä eikä varastolannoitus.

Typpilannoitus lisäsi kokeessa selvästi ruokohelven satoa verrattuna lannoittamattomiin koejäseniin. Ensimmäisenä sato vuonna lannoittamattomien ja lannoitettujen koejäsenten kuiva-ainesadossa ei ollut eroa. Tosin perustamisvuonna 1995 kaikki koejäsenet saivat saman typpilannoituksen 120 kg ha⁻¹, mikä epäilemättä vaikutti myös keväällä 1997 korjattuun ensimmäiseen satoon. Muina vuosina typpilannoite-

tujen koejäsenten kuiva-ainesadot olivat selvästi lannoittamattomien koejäsenten kuiva-ainesatoja suurempia. Pahkala et al. (1996) totesivat typpilannoituksen lisäävän ruokohelven kuiva-ainesatoa, mutta kevät-korjuussa sadon lisäys oli samaa luokkaa kuin Hirvinevankin kokeessa.

Pahkala et al. (1996) totesivat ruokohelven typpipitoisuuden olevan keväällä ta-
pahtuvassa korjuussa vain noin 0,6 % kuiva-aineesta. Määritykset tehtiin 0–5 cm:n ja 5–10 cm:n etäisyydeltä korren tyvestä. Typpipitoisuus oli 5–10 cm:n etäisyydeltä otetuissa näytteissä hieman pienempi kuin korren tyvellä. Kokeessa käytettiin typpi-tasoina 100 ja 200 kg hehtaarille.

Vuonna 1995 kevätkorjuussa ruokohelven typpipitoisuus kuiva-aineesta oli Vihdissä keskimäärin 0,6 % ja Jokioisilla 0,63 %. Hirvinevalla kasvuston typpipitoisuus oli keskimäärin 0,5 % kuiva-aineesta. Hirvinevan kokeessa näytteet otettiin nurmenkorjuukoneella korjatusta sadoista, jolloin sängin korkeus oli noin 8 cm. Keskimääräinen näyte edusti kasvin tyviosan yläpuolisia korsi- ja lehtiä. Pahkala et al. (1996) tulosten perusteella korren yläosassa voidaan olettaa olevan vähemmän typpiä kuin tyvessä. Kokeen analyysit tukevat hyvin tätä päätelmää.

Partala et al. (1999) tutkivat vuosina 1995–1998 ruokohelven typen hyväksikäyttöä ¹⁵N-merkityllä lannoitteella. He totesivat keväällä korjatussa ruokohelvessä olevan jäljellä enää 15 % annetusta typestä. Kasvuston typpipitoisuudessa ei kuitenkaan ollut eroja syksyllä ja keväällä. Tulos on yhdenmukainen aikaisempien tulosten kanssa (Pahkala et al. 1996). Typen tehokkaampi hyödyntäminen syksyllä selittyy kasvuston suuremmalla kuiva-ainesadolla. Partala et al. (1999) totesivat myös kasvuston typpipitoisuuden olevan kesällä korkeampi. Lannoitetypestä jopa 2/3 on kesällä versossa (Partala et al. 1999). Keväällä kasvuston kuiva-ainesato on pienempi lehtien karisemisen ym. hävikkien vuoksi, ja näin ollen myös keväinen typpisato ja typen näennäinen hyväksikäyttö ovat heikompia.

Ruokohelven typen näennäinen hyväk-

sikäyttö jäi kokeessa melko alhaiseksi. Se oli kevätsadossa keskimäärin vain 15 %. Tulos on kuitenkin samanlainen kuin aikaisemmissa tutkimuksissa (Partala et al. 1999).

5 Johtopäätökset

Ruokohelven viljelyssä kokeiltu puun tuhka sisälsi selvästi muita maanparannusaineita enemmän ravinteita. Tämän seurauksena maa-analyysien fosfori- ja kaliumpitoisuudet olivat korkeita koko tutkimusjakson ajan. Maanäytteiden kalsiumluvut sen sijaan pysyivät samansuuruisina kuin käytet-
täessä runsaasti magnesiumipitoista kalkkikivijauhetta ja teräskuonaa. Myös maan magnesiumipitoisuutta puun tuhka nosti eniten.

Puun tuhkaa saaneen koejäsenen kuiva-ainesato oli muita parempi kaikkina koevuosina. Viimeisenä vuonna tämän koejäsenen kuiva-ainesato oli selvästi korkein. Magnesiumipitoisen kalkkikivijauheen runsaan käytön ja teräskuonan välillä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa verrattuna puun tuhkaan, mutta niitäkin käytettäessä kuiva-ainesato oli 20 % pienempi viimeisenä koevuotena. Muita tuhkia käytettäessä kuiva-ainesato ei poikennut käsittelemättömästä koejäsenestä.

Puun tuhka vaikuttaa maanparannusaineena tehokkaasti maan happamuuteen. Se on myös kalkkikivijauheen ja teräskuonan veroinen kalkitusaine. Puun tuhkan sisältämillä ravinteilla voidaan lisäksi osittain korvata kasvien fosforin ja kaliumin tarvetta. Käytöstä poistetulla turvesuolla puun tuhkan sisältämät ravinteet eivät kuitenkaan riitä kasveille, vaikka niitä käytettäisiin runsaastikin (10 t ha⁻¹).

Veitsiluodon lipeäpoltton jätetuhkalla oli myös kalkitusvaikutusta, mutta se oli selvästi heikompi kuin puutuhkalla. Veitsiluodon tuhkan neutralointikyky oli kalsiumiksi laskettuna vain puolet puun tuhkasta, joten kalkitusvaikutuskin oli jo analyysien perusteella oletettavasti heikompi.

Turvetuhka ja järviruo'on tuhka olivat

maanparannusaineina heikkoja, mikä näkyi myös analyyseissä.

Ruokohelven varastolannoituksesta ei ole juuri hyötyä ravinteita heikosti pidättävillä turvemailla. Fosforilannoitukseksi riittää hyvin kokeessa käytetty matalampi taso eli perustamisvaiheessa 40 kg ha⁻¹ ja vuotuislannoituksena 30 kg ha⁻¹. Fosforin käyttömäärä voi olla viljelyn myöhemmässä vaiheessa vieläkin alhaisempi, esimerkiksi 20 kg ha⁻¹ vuodessa.

Kaliumin varastolannoitusta ei kannata antaa, vaan lannoitus on edullisempää tehdä vuosittain. Lannoituskokeessa vuosittaiset kaliumlannoitustasot olivat 60 ja 80 kg

K ha⁻¹. Vanhalla turvesuolla korkeampi kaliumin käyttömäärä näyttäisi olevan hyödyksi, mutta yli 80 kg:a ei kannattane antaa.

Turpeen orgaanisesta aineksesta vapautuu kasvukauden aikana liukoista tyyppiä kasvien käyttöön. Typpilannoitus lisäsi kokeessa selvästi ruokohelven kuiva-ainesatoa verrattuna ilman typpilannoitusta olleeseen koejäseneseen. Typpilannoituksen määräksi näyttää kokeen tulosten perusteella riittävän vuosittain 60–90 kg ha⁻¹. Yli 90 kg N ha⁻¹:n lannoituksella kokeessa ei saatu enää sadonlisäystä.

Kirjallisuus

Heikkilä, R. & Erviö, R. 1982. Polttoturvesoiden jälkikäyttö maatalousmaana. Koetoiminta ja käytäntö 39(23.11.1982): 60.

Huhta, H. 1989. Typen ja fosforin huuhtoutuminen turvemaan nurmesta ja viljapellosta. Koetoiminta ja käytäntö 46(20.6.1989): 47.

– 1996. Pikkuistukassipulia turvejätöalueille. Koetoiminta ja käytäntö 53(24.9.1996): 36.

Hänninen, P. 1993. Turvekentistä lintukeitaita. Metsästäjä 4: 16–17.

Jaakkola, A., Hakkola, H., Köylijärvi, J. & Simojoki, P. 1977. Effect of liming on phosphorous fertilizer requirement in cereals and ley. *Annales Agriculturae Fenniae* 16: 207–219.

–, **Hakkola, H., Hiivola, S-L., Järvi, A., Köylijärvi, J. & Vuorinen, M.** 1985. Terästeollisuuden kuonat kalkitusaineina. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 10/85. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 44 p.

Järvelä, J. 1995. Turvetuotantoalueiden jälkikäyttö – vaihtoehtona tekojärvet. *Vesitalous* 5: 33–35.

Kempainen, E. 1995. Naudan lietalannan ja ketun lannan ravinteiden huuhtoutuminen lysimetrikokeessa. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 16/94. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 46 p.

–, **Elonen, P. & Jaakkola, A.** 1993. Peltomaiden kalkitustarve ja kalkituksen vaikutus viljan ja nurmen satoon. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 15/93. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 44 p.

Koikkalainen, K., Huhta, H., Virkajärvi, P. & Heikkilä, R. 1990. Pitkäaikaisen säilörehunurmen kaliumlannoitus heikosti kaliumia pidättävillä mailla. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 9/90. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 59 p.

Kukkonen, S., Tiainen, H. & Uosukainen, M. 1997. Mansikan viljely turpeenotosta vapautuneella suopohjalla. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 28. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 21 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-498-0.

Leinonen, A. 1996. Puuntuhan käyttö metsien lannoitteena ja sen ympäristövaikutukset: kirjallisuusselvitys. Keski-Suomen ympäristökeskuksen julkaisu 10/96. Jyväskylä: Keski-Suomen ympäristökeskus. 36 p. ISBN- 951-53-0791-0.

Pahkala, K., Mela, T. & Laamanen, L. 1994. Agrokuidun tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa. Alustavan tutkimuksen loppuraportti 1990-1992. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 12/94. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 55 p.

–, **K., Mela, T., Hakkola, H., Järvi, A. & Virkajärvi, P.** 1996. Agrokuidun tuotanto ja käyttö Suomessa. Tutkimuksen loppuraportti, I osa. Agrokuitukasvien viljely. Viljelytoimenpiteiden ja lajikevalinnan vaikutus agrokuitukasvien satoon ja kivennäiskoostumukseen. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 3. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 68 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-468-9.

Partala, A., Mela, T., Esala, M. & Ketoja, E. 1999. The fate of 15N-labelled nitrogen applied to reed canary grass. In: Mela, T. et al. (eds.). *Alternative crops for sustainable agriculture : Research progress COST 814; Workshop held at BioCity, Turku, Finland, 13 to 15 June 1999.* Bryssel: European Commission. p. 198–204. (EUR 19227 EN).

Rautanen, J. 1996. Biopolttoaineiden tuhka hyötykäyttöön. *Teho* 2: 38.

Saarela, I. 1985. Tuhkien lannoitusarvo. *Koetoiminta ja käytäntö* 42(26.11.1985): 60.

Sippola, J. & Saarela, I. 1992. Suomen maalajien fosforinpidätysominaisuudet ja niiden merkitys ve-

sien kuormituksen kannalta. In: Rekolainen, S. & Kauppi, L. (eds.). *Maatalous ja vesien kuormitus. Yhteistutkimuksen tutkimusraportit. Vesi- ja ympäristökeskuksen monistesarja 359.* Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus p. 27–36. ISBN 951-47-5562-6.

Virkajärvi, P. 1994. Onnistuuko siirtonurmikon tuotanto turvesoilla? *Koetoiminta ja käytäntö* 51(28.6.1994): 25.

– & **Huhta, H.** 1993. Nurmen viljely polttoturvesoiden jättöalueilla – Timoteinurmen fosforilannoitus Tohmajärven valkeasuolla. Maatalouden tutkimuskeskus. *Tiedote* 7/93. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 27 p.

– & **Huhta, H.** 1994. Nurmen viljely polttoturvesoiden jättöalueilla – Timoteinurmen kaliumlannoitus Tohmajärven valkeasuolla. Maatalouden tutkimuskeskus. *Tiedote* 13/94. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 23 p.

– & **Huhta, H.** 1997. Siirtonurmikon tuotanto sujuu polttoturvesoiden jättöalueilla. *Puutarha et kauppa* 10: 4-5.

Julkaisija



31600 JOKIOINEN

| | | | |
|---|------------------------------|---|--------------|
| | | Julkaisun sarja ja numero Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 84 | |
| | | Julkaisuaika (kk ja vuosi) Lokakuu 2000 | |
| Tekijä(t) Riitta Salo (toim.) | | Tutkimushankkeen nimi | |
| | | Toimeksiantaja(t) Maatalouden tutkimuskeskus | |
| Nimike Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi Tutkimuksen loppuraportti, osa I, Ruokohelven jalostus ja viljely | | | |
| Tiivistelmä <p>Tässä raportissa käsitellään ruokohelven jalostusta ja viljelyä. Asiaa on selvitetty MTT:ssa vuonna 1996 käynnistyneessä tutkimuksessa, jonka nimi on "Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi" sekä aiemmissa biomass- ja agrokuitututkimuksissa. Näiden tutkimusten tavoitteena on ollut kehittää ruokohelvestä (<i>Phalaris arundinacea</i> L.) Suomen oloihin soveltuva viljelykasvi, jota paperiteollisuus ja energialaitokset voisivat käyttää raaka-aineekseen.</p> | | | |
| Avainsanat: ruokohelvi, viljely, lajikkeet, jalostus, kylvä, lannoitus, sato, kuidut, energia, sellu, varastointi, non food -tuotanto | | | |
| Toimintayksikkö | | | |
| ISSN 1238-9935 | ISBN 951-729-586-3 | <input type="checkbox"/> Tuloksia voi soveltaa luomuviljelyssä | |
| Myynti: MTT tietopalveluyksikkö, 31600 JOKIOINEN Puhelin (03) 4188 2327 Telekopio (03) 4188 2339 | | Sivuja 86 s. + 1 liite | Hinta |

Jyväskylän yliopistopaino 2000
ISBN 951-729-586-3
ISSN 1238-9935