



Typpilannoituksen ja kasvinsuojelua- aineiden käytön vaikutus mallas- ja rehuohranviljelyn taloudelliseen tulokseen

Lauri Juntti



MTT:n selvityksiä 40
51 s., 2 liitettä

Typpilannoituksen ja kasvinsuojeluaineiden käytön vaikutus mallas- ja rehuohranviljelyn taloudelliseen tulokseen

Lauri Juntti

ISBN 951-729-777-7 (Painettu)
ISBN 951-729-778-5 (Verkkajulkaisu)
ISSN 1458-509X (Painettu)
ISSN 1458-5103 (Verkkajulkaisu)
www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts40.pdf

Copyright

MTT

Lauri Juntti

Julkaisija ja kustantaja

MTT Taloustutkimus, Luutnantintie 13, 00410 Helsinki

www.mtt.fi/mttl

Jakelu ja myynti

MTT Taloustutkimus, Luutnantintie 13, 00410 Helsinki

Puhelin (09) 56 080, telekopio (09) 563 1164

sähköposti julkaisut@mtt.fi

Julkaisuvuosi

2003

Painopaikka

Data Com Finland Oy

Typpilannoituksen ja kasvinsuojeluaineiden käytön vaikutus mallas- ja rehuohranviljelyn taloudelliseen tulokseen

Lauri Juntti

MTT Taloustutkimus, Luutnantintie 13, 00410 Helsinki, lauri.juntti@mtt.fi

Tiivistelmä

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää typpilannoituksen ja kasvinsuojeluaineiden käytön vaikutusta ohrasadon määrään ja laatuun sekä viljelyn taloudelliseen tulokseen. Tutkimusaineistona käytettiin koesarjaa, jonka Kemira Agro ja Nylands Svenska Lantbrukssällskap toteuttivat yhteistyössä vuosina 1996-2000. Koepaikat olivat Kotkaniemen koetila Vihdissä, Västankvarnin koulutila Inkoossa sekä Suur-Sarvilahden kartano Pernajas-sa.

Kokeissa oli viisi typpilannoitustasoa: 0, 60, 90, 120 ja 160 kg typpeä/ha. Lisäksi jokaista lannoitustasoa kohden oli viisi kasvinsuojelukäsittelyä: käsittelemätön, rikkojen torjunta, rikkojen ja tautien torjunta, rikkojen ja laon torjunta sekä rikkojen, laon ja tautientorjunta. Aineistosta estimoitiin tuotantofunktiot koepaikoittain ja kasvinsuojelukäsittelyittäin. Lisäksi satunnaiskertoimisella regressiomallilla tutkittiin eroja, joita oli eri kasvinsuojelukäsittelyjä saaneita ja käsittelemättömiä koejäseniä kuvanneissa malleissa. Laatuominaisuuksista tarkastelun kohteena oli viljan valkuaispitoisuus. Sen riippuvuutta typpilannoituksesta tutkittiin regressioanalyysillä. Kasvinsuojeluaineiden vaikutusta jyväkokoön tutkittiin vertaamalla koejäsenten keskiarvoja tavoitearvoon.

Ohrasadot vaihtelivat koejaksolla jokaisella kasvinsuojelukäsittelyllä suuresti. Myös typpilannoituksen sekä biologiset että taloudelliset optimipisteet vaihtelivat vuosittain ja koepaikoittain paljon. Kasvinsuojelun avulla voitiin yleisesti nostaa satotasoa ja parantaa viljan laatua.

Vaikka kasvinsuojelulla voitiinkin nostaa sadon määrää, ei nousu riittänyt aina kattamaan kasvinsuojeluun tehdystä lisäpanostuksesta aiheutuneita kustannuksia. Tämä päti erityisesti pelkän rikkakasvien tai yhdistetyn rikkakasvien ja laon torjunnan saaneissa koejäsenissä. Näissä koejäsenissä ohran viljelyn taloudellinen ylijäämä jäi muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta pienemmäksi kuin käsittelemättömissä koejäsenissä. Kasvitautien torjunnan lisääminen edellisiin käsittelyihin paransi ohran viljelyn taloudellista lopputulosta. Näissä koejäsenissä satotason nousu riitti kattamaan kasvinsuojelutoimenpiteiden kustannukset melko usein, mutta ei aina. Eri kasvinsuojelukäsittelyillä saadut taloudelliset ylijäämät eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi käsittelemättömien koejäsenten taloudellisista ylijäämistä. Taloudellisesti parasta tuotantoteknologiaa ei tässä tutkimuksessa voitu yksiselitteisesti määrittää, sillä parhaan tuloksen antanut tuotantoteknologia vaihteli sään ja maan kasvukunnon mukaan.

Ohran biologisesti ja taloudellisesti optimaalisen typpilannoituksen suhde ympäristötuen ehtoihin oli vaihteleva. Biologiset typpioptimit olivat korkeita, mutta ympäristötuen ehdot rajoittivat huippusatojen tavoittelua vain muutamassa koepaikassa. Näissä paikoissa biologinen typpioptimi nousi yli 250 kilon hehtaaria kohti. Typpilannoituksen taloudelliset optimit vaihtelivat nollassa noin 130 kiloon hehtaarilla. Ympäristötuen ehdot eivät siten rajoittaneet taloudellisten optimisatojen tavoittelua.

Asiasanat: lannoitus, kasvinsuojelu, tuotantofunktio, panosoptimi, taloudellinen ylijäämä

Effect of nitrogen fertilisation and pesticides on the economic result of malt barley and feed barley cultivation

Lauri Juntti

MTT Economic Research, Agrifood Research Finland, Luutnantintie 13, FIN-00410 Helsinki, lauri.juntti@mtt.fi

Abstract

The purpose was to investigate the effects of nitrogen fertilisation and pesticides on the quantity and quality of barley yields and on the economic result of barley cultivation, using data from field trials carried out in three localities in Southern Finland in 1996-2000 by Kemira Agro and Nyland Svenska lantbrukssällskap.

The trials involved five levels of nitrogen fertilisation: 0, 60, 90, 120 and 160 kg nitrogen/ha, with five pesticide treatments per fertilisation level: no treatment, weed control, weed and disease control, weed and lodging control and weed, disease and lodging control. Production functions were estimated for each treatment, site and year, and the differences between the models for the pesticide treatments and that for the untreated case were assessed by a random coefficient method. Crop quality was evaluated by means of a regression analysis of the dependence of protein concentration on nitrogen fertilisation. The effect of pesticides on grain size was studied by comparing the averages for the test treatments with the target value.

The yield varied greatly during the trial period in every pesticide treatment, and both the biologically and economically optimum level of nitrogen fertilisation varied each year and quite markedly from one site to another. In general, it was possible to raise the crop level and improve its quality by means of plant protection, although the increase in yield was not always enough to cover the additional costs. This held true especially for the treatments involving weed control alone or combined with lodging control, where, with only a few exceptions, the economic surplus from the cultivation of the barley remained smaller than in the untreated cases. The addition of plant disease control to these treatments improved the final economic result, however, so that the increase in yield was enough to cover the additional costs fairly often, although not always. The economic surpluses obtained with the various treatments did not differ statistically significantly from those obtained without treatment, and it was not possible to determine unambiguously which production technology had given the best result economically, because this varied according to weather conditions and site.

The relation of the biologically and economically optimal nitrogen fertilisation levels to the conditions attached to the environment subsidy also varied. Although the biological nitrogen optima were high, the conditions placed on the environment subsidy restricted pursuit of the maximum yield only at a few sites where the nitrogen optimum exceeded 250 kg/ha. The economic optima for nitrogen fertilisation varied from zero to about 130 kilos per hectare, so that the environment subsidy conditions did not restrict pursuit of the economically optimum yield.

Index words: *nitrogen fertilisation, plant protection, production functions, economic surplus*

Sisällysluettelo

1	Johdanto	6
1.1	Tutkimuksen tausta	6
1.2	Tutkimuksen tavoite ja viitekehys	7
2	Kasvin sadonmuodostukseen vaikuttavat tekijät	8
2.1	Geneettiset tekijät	8
2.2	Ilmasto- ja maaperätekijät	9
2.3	Muut tekijät	10
3	Lannoitus ja kasvinsuojelu mallasohran tuotannossa	10
3.1	Lannoituksen vaikutus sadon määrään ja laatuun	10
3.1.1	Typpilannoitus	11
3.1.2	Fosfori- ja kaliumlannoitus	13
3.2	Kasvinsuojelun vaikutus sadon määrään ja laatuun	14
3.2.1	Rikkakasvien torjunta	14
3.2.2	Kasvitautilien torjunta	15
3.2.3	Kasvunsäätteet	16
4	Kasvinviljelyä kuvaavat tuotantofunktiot	17
4.1	Lähestymistavan valinta ja klassinen tuotantofunktio	17
4.2	Tuotantofunktion estimointi	18
4.2.1	Selittävien muuttujien ja funktion valinta	18
4.2.2	Parametrien estimointi ja testaus	19
5	Taloudellisen panosoptimin määrittäminen tuotantofunktioanalyysillä	21
6	Tutkimusaineisto- ja menetelmät	22
6.1	Tutkimusaineisto	22
6.2	Tutkimusmenetelmät	24
7	Tutkimustulokset	26
7.1	Kasvinsuojeluaineilla käsittelemättömät koejäsenet	27
7.2	Rikkakasvien torjunnan sisältäneet koejäsenet	29
7.3	Rikkakasvien ja kasvitautilien torjunnan sisältäneet koejäsenet	32
7.4	Rikkakasvien ja laon torjunnan sisältäneet koejäsenet	35
7.5	Rikkakasvien, kasvitautilien ja laon torjunnan sisältäneet koejäsenet	39
7.6	Yhdistetyt mallit	42
8	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	44
	Kirjallisuus	49
	Liitteet	

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Kasvinviljelyssä sato muodostuu annettujen panosten, kasvuympäristön ja kasvukauden säään yhteisvaikutuksen mukaan. Näiden sadonmuodostukseen vaikuttavien tekijöiden tunteminen on välttämätöntä sekä määrältään että laadultaan hyvän sadon tuottamisessa. Kasvu-prosessin tunteminen on tärkeää myös taloudellisesti parhaan panos–tuotossuhteen määrittämisessä. Nämä tekijät ovat nousseet voimakkaasti esille Euroopan unioniin liittymisen jälkeen, jolloin panosten ja tuotosten hintasuhteiden kehitys Suomessa on ohjannut tuotantoa ekstensiivisen viljelyn suuntaan. Tämän johdosta on keskustelu siirtymisestä näennäisviljelyyn yleistynyt. Näennäisviljelyllä tarkoitetaan kustannusten minimointia tukiehtojen rajoissa. Tuotettavan sadon pitää kuitenkin täyttää markkinoiden laatuvaatimukset, mikä edellyttää jonkinasteista panostusta viljelyyn. Täysin näennäisviljelyyn siirtyminen ei siten liene kannattavaa. Erityisen hankala tilanne on niiden kasvilajien viljelyssä, joissa laatuvaatimukset täyttävän sadon tuottaminen vaatii huolellisuutta ja monipuolista tuotantopanosten käyttöä. Eräs tällainen tuotannonmuoto on mallasohran viljely.

Mallasohran laatuvaatimukset ovat erittäin tiukat, jolloin kasvutekijöiden ja tuotantopanosten käytön vaikutukset lopputulokseen on tunnettava varsin tarkasti. Mallasohran hinta markkinoilla on rehuohran hintaa suurempi, jolloin viljelijälle on teoriassa olemassa kannustin panostaa viljelyyn ja siten tuottaa hyvälaatuista ohraa. Lisäksi mallasohralle maksetaan kansallista lisätukea, joka vuonna 2002 oli noin 84 €/ha (MMM 2002). Toisaalta hintaero ja tuki eivät kuitenkaan anna kovin suuria mahdollisuuksia sijoittaa viljelyyn lisäpanoksia, sillä esimerkiksi sääolojen suurta vaikutusta lopputulokseen ei voida täysin hallita. Näistä viljelijän hallitsemattomista satoon vaikuttavista tekijöistä johtuen tuotantopanoksilla ei varmuudella voida kohottaa satotasoa ja varmistaa laatuvaatimusten täyttymistä.

Viime vuosina kotimaisesta mallasohraksi tarkoitettusta viljasta vain osa on täyttänyt laatuvaatimukset. Yleisin hylkäysperuste on ollut ohran liian korkea valkuaispitoisuus, joka on monen tekijän summa. Viljelijä pystyy vaikuttamaan valkuaispitoisuuteen typpilannoituksella, mutta myös muilla tuotantopanoksilla on oma vaikutuksensa lopputulokseen. Lisäksi kasvupaikan ja kasvukauden olosuhteilla on huomattava vaikutus viljelyn lopputulokseen.

Tuotantopanos-tuotossuhdetta kuvataan usein tuotantofunktioilla. Niiden avulla voidaan määrittää panos-tuotossuhteet, joita voidaan hyödyntää mm. lannoitteiden optimikäytön

Tämä tutkimusraportti on lyhennelmä MMM Lauri Juntin tekemästä Helsingin yliopiston taloustieteen laitoksen maatalouden liiketaloustieteen pro gradu -tutkielmasta. Opinnäytetyössä ohjaajina ovat toimineet professori Matti Ylätaalo Helsingin yliopistosta ja tutkija Anna-Maija Heikkilä MTT/Taloustutkimuksesta.

Tekijä haluaa kiittää työn ohjaajia kommentista ja Kemira Agroa aineiston luovuttamisesta. Kiitokset myös MTT/Tietopalveluiden FM Lauri Jauhiaiselle tilastotieteellisistä neuvoista.

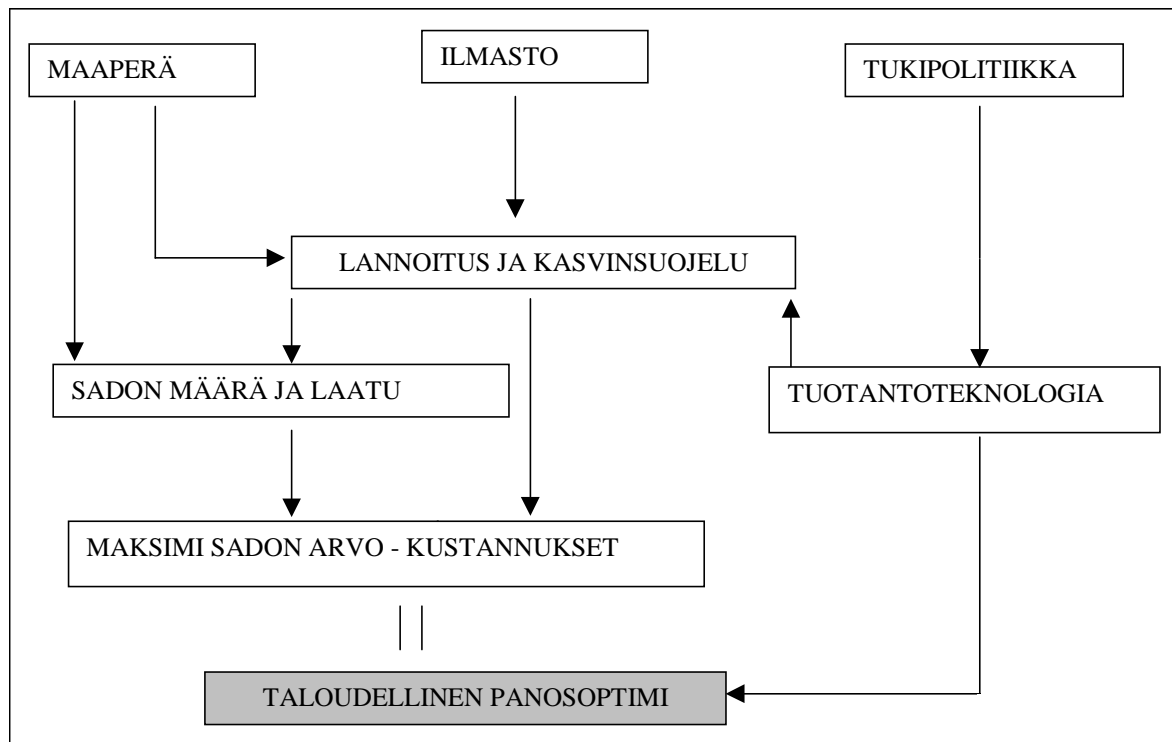
ratkaisemiseen. Sadonmuodostusta ovat Suomessa mallintaneet tuotantofunktioiden avulla mm. Heikkilä (1980), Laurila (1992), Sumelius (1993) ja Bäckman (1994, 1996). Näissä tutkimuksissa on tutkittu typpilannoituksen vaikutusta satoon ja viljelyn optimituotostasoon.

1.2 Tutkimuksen tavoite ja viitekehys

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kenttäkoeaineistosta estimoitujen tuotantofunktioiden avulla keskeisten viljelijän käytettävissä olevien tuotantopanosten, lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden, vaikutuksia ohran satoon ja laatuun sekä viljelyn tuottoihin ja kustannuksiin. Tutkimuksen päätavoitteena on määrittää kyseisille viljelijän valittavissa oleville tuotantoteknologioille taloudellisesti optimaaliset typpilannoitustasot nykyisillä tuotteiden ja tuotantopanosten hinnoilla, sekä löytää parhaan taloudellisen tuloksen antava teknologia sekä koepaikoittain että koko koeajanjaksolle. Teknologia on laaja käsite, mutta tässä tapauksessa sillä tarkoitetaan lannoitusta ja kasvinsuojelua. Tutkimuksen toisena tavoitteena on tutkia näiden panosten vaikutuksia viljan laatuun. Erityisesti tarkastellaan sitä, kuinka eri teknologiat mahdollistavat mallasohran laatuvaatimukset täyttävän viljan tuottamisen. Tutkimuksen kolmantena tavoitteena on verrata typpilannoituksen biologisten ja taloudellisten optimipisteiden suhdetta ympäristötuen ehtoihin. Tutkimuksen päätarkoitus on tuottaa viljelijälle tuotannon suunnittelua ja viljelyteknologian valintaa helpottavaa informaatiota.

Aikaisemmissa suomalaisissa tutkimuksissa satoa selittävinä tekijöinä on käytetty mm. lannoitusteknologioita (Sumelius 1993), vuosittaista säävaihtelua (Sumelius 1993, Bäckman 1996) ja lajikkeita (Bäckman 1996). Kasvinsuojelua ei ole aikaisemmin käytetty satoa selittävänä tekijänä. Syynä on saattanut olla sopivan aineiston puute, sillä esimerkiksi luotettavien usean eri tuotannon tekijän vaikutusta tutkivien kokeiden järjestäminen on vaativa ja kallis tehtävä.

Kuvassa 1 on esitetty taloudelliseen panosoptimiin vaikuttavat tekijät. Nämä tekijät voidaan jakaa kolmeen ryhmään: päätösmuuttujiin, edeltä määräytyviin muuttujiin ja epävarmoihin muuttujiin. Päätösmuuttujat ovat viljelijän valittavissa olevia muuttujia, joita kuvassa 1 ovat lannoite ja kasvinsuojeluaineet sekä tuotantoteknologia. Edeltä määräytyvät muuttujat ovat viljelijän tiedossa, mutta hän ei voi hallita niitä. Kuvassa 1 tällaisia muuttujia ovat maaperä ja tukipolitiikka. Viimeinen ryhmä sisältää epävarmat muuttujat, joita viljelijä ei voi hallita ja joiden määrää ei voi tietää päätöksenteko hetkellä. Kuvassa 1 tällainen muuttuja on ilmasto (Dillon & Anderson 1990, s. 117-118).



Kuva 1. Tutkimuksen teoreettinen viitekehys.

2 Kasvin sadonmuodostukseen vaikuttavat tekijät

2.1 Geneettiset tekijät

Kasvien kasvua ja siten myös kasvituotantoa säätelevät monet eri tekijät. Sadon lähtökohtana ovat aina siemenessä piilevät kasviyksilöiden perinnölliset, anatomiset ja fysiologiset tuotanto-ominaisuudet (Heinonen 1987, s. 11). Näitä ominaisuuksia kutsutaan sisäisiksi tekijöiksi. Niitä ovat siis kasvin geneettiset laji- ja lajikeominaisuudet. Esimerkkinä näistä ominaisuuksista ovat mm. kauran parempi maan happamuuden sietokyky ohraan verrattuna ja eri ohralajikkeiden erilaiset kasvuaikavaatimukset.

Sisäisillä tekijöillä on suuri merkitys kasvin kasvuprosessissa, sillä ne myös määräävät ne vähimmäisolosuhteet eli ulkoiset tekijät, joissa kasvin olemassaolo on mahdollista. Sisäisten kasvutekijöiden vaikutus jää helposti huomaamatta, jolloin kiinnitetään huomio pelkästään ulkoisiin tekijöihin, vaikka kasvien kasvu on aina perintötekijöiden ja ympäristötekijöiden yhteisvaikutuksen tulosta (Pulli 1976, s. 128). Katovuodet eivät siksi johdu pelkästään ulkoisista tekijöistä, sillä samana kasvukautena eri kasvit menestyvät eri tavalla. Paljon vettä tarvitsevat kasvit menestyvät paremmin sateisina kasvukausina kuin kuivan kasvu ympäristön vaativat kasvit.

2.2 Ilmasto- ja maaperätekijät

Kasvien kehitykseen vaikuttavat ulkoiset tekijät voidaan jakaa ilmastotekijöihin ja maaperätekijöihin (Heinonen 1978, s. 10). Ilmastollisten kasvutekijöiden vaikutukset kasvintuotantoon peltoviljelyssä ovat merkittäviä (Virkki 1987, s. 41). Ilmastotekijöistä tärkein on valona ja lämpönä ilmenevä auringon säteilyenergia. Kasvien kasvukehitys riippuu erittäin paljon lämpötilasta, minkä vuoksi kasvukauden kehitystä mitataan usein kasvukaudella kertyneellä lämpösummalla (Hårsmar 1991, s. 30). Lämpötila on yksi mallasohrankin laatuun eniten vaikuttavista tekijöistä. Merkittävää sadon laadun ja määrän kannalta on myös se, miten lämpötilan muutokset ajoittuvat ohran eri kehitysvaiheisiin. Lämmin kevät ja sopivat kosteusolot mahdollistavat aikaisen kylvön ja itämisen alkamisen. Runsaan sadon muodostumiselle on edullista viileä alkukesä, koska se edistää versomista ja vähentää pituuskasvua. Jyvän täyttymisvaiheessa kuuma ja kuiva sää lyhentää täyttymisaikaa, koska kasvin hengitys kiihtyy ja nettosadonmuodostus jää pieneksi (Seppälä & Kontturi 1987, s. 4).

Ilma sisältää todellisuudessa monta kasvutekijää. Näitä ovat typpi, happi ja hiilidioksidi. Vesi on myös kasvutekijä, jonka kierto luonnossa on ratkaisevasti riippuvainen ilmastosta. Mallasohrasadon määrän ja laadun kannalta on sateiden ajoittumisella vähintäänkin yhtä suuri merkitys kuin lämpötilasummalla (Maunula 1983, s. 15). Vedentarve on suurin ennen tähkimistä, joten kesäkuun sademäärällä on suuri vaikutus sadonmuodostuksessa. Jos kylvön ja tähkimisen välillä sataa melko paljon, mutta tasaisesti, saadaan alhainen valkuaispitoisuus. Runsaat sateet ennen ja jälkeen tähkimisen nostavat jyvän painoa (Seppälä & Kontturi 1987, s. 4). Tähkälletulon jälkeiset sateet pidentävät kasvukautta ja nostavat valkuaispitoisuutta (Maunula 1983, s. 15).

Maaperän vaikutus kasvin sadonmuodostuskykyyn on varsin merkittävä. Hyvän sadon syntymiseksi on kasvupaikan ominaisuuksien oltava sellaiset, että kasvilla on aina käytettävissä sen tarvitsemia kasvutekijöitä. Suurin osa näistä kasvutekijöistä on maaperästä lähtöisin. Maaperätekijöitä ovat mm: vesi, maan rakenne ja maan lämpötilous. Maaperätekijöihin kuuluvat myös maan happamuus ja suolapitoisuus, joilla on suuri merkitys maan ravinne- ja vesitalouteen. Maan happamuus vaikuttaa kasviravinteiden saatavuuteen. Hapan maa sitoo kasviravinteita, etenkin fosforia, liian tiukasti sekä häiritsee juurten kasvua ja ravinteiden ottoa. Haitallinen happamuus voidaan poistaa kalkituksella, joka parantaa mm. fosforin saantia kaikista maalajeista helpottamalla juurten kasvua sekä tehostamalla juurisolujen aktiivista ravinteiden ottoa maanesteestä (Saarela ym. 2000, s. 8). Ravinteiden parantuneen liukoisuuden takia kalkituksella voidaan korvata osa typpi- ja fosforilannoituksesta. Tämä on oleellista tietoa kasvinviljelyn panos-panossuhteista. Viljelijälle voi olla kannattavampaa korvata happamalla lohkoilla osa lannoitteista kalkilla ja saada silti parempia satoja kuin käyttämällä pelkkiä lannoitteita. Liiallinen kalkitus voi toisaalta vääristää ravinnesuhteita ja aiheuttaa mm. eräiden hivenaineiden puutetta.

2.3 Muut tekijät

Kasvien kasvu ja sadonmuodostus määräytyvät ensisijaisesti edellä lueteltujen sisäisten ja ulkoisten kasvutekijöiden perusteella. Soveltavissa kasvinviljelytutkimuksissa ja varsinkin maatalousekonomisissa tutkimuksissa muita tekijöitä käytetään kuitenkin kuvaamaan satoja varten tehtyjä uhrauksia. Nekin luonnollisesti perustuvat kasvutekijöihin, mutta niiden välistä suhdetta ei useinkaan määritellä (Junnila 1987, s. 11).

Näitä muita tekijöitä ovat erilaiset viljelytekniiset tekijät. Mela & Haapalainen (1976, s. 1-38) ovat selvittäneet hehtaarisatojen ja tärkeimpien satoihin vaikuttaneiden tekijöiden kehitystä Suomessa vuosina 1956-1975. He käyttivät satotasoon ja sen kehitykseen vaikuttavina tekijöinä lannoitusta, lannoitustekniikkaa, kasvinjalostusta, sadetusta, rikkakasvien torjuntaa, kasvunsäätettä, salaojitusta ja kalkitusta. Varsinkin pinalannoituksen vaihtuminen sijoituslannoitukseksi oli merkittävä viljelytekniinen muutos. Variksen (1976, s. 197) mukaan viljasatojen nousuun ovat vaikuttaneet eniten kasvinjalostus, lannoitus ja sadetus. Sadetuksen avulla saatava sadonlisä viljoilla on 25-50 % (Pärssinen 1988, s. 70). Myös kasvinsuojelulla ja salaojituksella on ollut selvä vaikutus satojen nousuun. Vaikka nämä tutkimukset ovatkin vanhoja, ovat ne silti edelleen ajankohtaisia. Tutkimuksissa mainitut tekijät selittävät vieläkin varsin hyvin satotason kohoamisen. Mainituista tekijöistä on nykyisin varsinkin kasvinsuojelun merkitys kasvintuotannossa aikaisempaa suurempi, sillä kasvinsuojeluaineiden tuotekehitys on ollut melkoisen nopeaa viimeisten vuosien ja vuosikymmenten aikana. Myös torjunta-aineiden käyttöajankohdan merkitys kasvin sadonmuodostukseen tunnetaan nykyisin paremmin kuin 1970-luvulla.

Myös salaojituksella on aikaisempaa suurempi merkitys satotasoon ja sen kehitykseen, sillä nykyiset sadontuottokyvyiltään hyvät lajikkeet ovat vaativia kasvupaikkansa suhteen, jolloin peruskuivatuksen merkitys viljelykokonaisuudessa korostuu. Merkittävää kehitystä on tapahtunut myös peltoviljelykoneissa. Koneiden käyttöominaisuudet ovat teknisen kehityksen myötä parantuneet, jolloin peltoviljelytyöt saadaan tehtyä aiempaa paremmin.

3 Lannoitus ja kasvinsuojelu mallasohran tuotannossa

3.1 Lannoituksen vaikutus sadon määrään ja laatuun

Kasvit tarvitsevat noin kahtakymmentä alkuainetta, jotta ne pystyvät muuntamaan auringon säteilyenergiaa yhteyttämisreaktiossa kemialliseksi energiaksi (Ting 1982, s. 342). Näitä alkuaineita kutsutaan kasviraivanteiksi. Ravinteet jaetaan kasvien tarvitsemien määrien perusteella makro- ja mikroravinteisiin. Makroravinteita kasvit ottavat 10-200 kg/ha ja mikroravinteita eli hivenaineita alle 1 kg/ha. Tärkeimmät makroravinteet ovat typpi, fosfori ja kalium. Muita makroravinteita ovat magnesium, kalsium ja rikki. Mikroravinteita ovat boori, mangaani, kupari, rauta, molybdeeni, sinkki ja kloori (Heinonen 1978, s. 16-21).

Kasviravinteiden keskinäisillä suhteilla on suuri merkitys kasvien sadonmuodostuksessa. Näiden suhteiden määrittämisessä ovat Liebigin ja Mitscherlichin lait historiallisesti erittäin merkittäviä. Liebigin "law of the minimum" oli ensimmäinen yritys määrittää peruseriaatteen ravinteiden ja sadon välisestä riippuvuussuhteista. Liebigin laki koostuu kolmesta osasta (Black 1993 ref. Ryhänen & Sipiläinen 1996, s. 47):

- 1) Välttämättömän ainesosan puuttuessa, vaikka kaikki muut ainesosat ovat käytettävissä, maa jää hedelmättömäksi niiden kasvien elämälle, jolle tämä ainesosa on välttämättömän tarpeellinen.
- 2) Samanlaisissa ilmasto-olosuhteissa kasvien sadot ovat suorassa suhteessa lannoitteissa annettaviin mineraaliravinteisiin.
- 3) Ravinnerikkaassa maassa pellolta saatavaa satoa ei voida suurentaa lisäämällä sinne samoja ainesosia.

Liebigin lain mukaan kasvin sato on suorassa suhteessa niukimmin käytettävissä olevaan ravinteeseen siten, että kasvua rajoittamattomien ravinteiden lisääminen ei vaikuta saadaan satoon. Tätä ilmiötä kutsutaan myös kasvutekijäin minimilainksi. Minimilain mukaan kasviravinteet eivät ole toistensa substituutteja, vaan ne ovat toistensa komplementteja. Tasapainoinen ravinteiden saanti on siten kasveille tärkeää, sillä ravinnepuutokset vaikuttavat merkittävästi sadon määrään ja laatuun.

Mitscherlichin laki poikkeaa Liebigin laista siten, että tuotos ei muutu lineaarisesti panoksen käytön muuttuessa. Mitscherlichin lain mukaan panosten käyttöä lisättäessä sato lähestyy tasoa (maksimituotosta), jonka jälkeen tuotos ei enää kasva panoksen käyttöä lisättäessä. Empiiristen tutkimusten mukaan Mitscherlichin lain mukaan estimoitu tuotantofunktio kuvaa tuotantoa lineaarisia funktioita loogisemmin (Ryhänen & Sipiläinen 1996, s. 49).

Lannoitepanoksen käyttö on yhtä kuin kasviravinteiden antamista tuotettaville kasveille (Ryhänen & Sipiläinen 1996, s. 41). Lannoitustarve voidaan selvittää luotettavasti viljavuustutkimuksella. Tämä pätee erityisesti fosforilannoituksen kohdalla, sillä fosforin lannoitusvaikutus vaihtelee maan fosforitilan mukaan. Lannoituksen suunnitteluun voidaan käyttää myös kasveista tehtyjä ravinneanalyysejä. Esimerkiksi 4 000 kg vehnää (jyvät ja oljet) sisältää 80 kg typpeä, 12 kg fosforia ja 40 kg kaliumia. Vastaavan suuruinen ohrasato sisältää 70 kg typpeä, 12 kg fosforia ja 30 kg kaliumia (Cooke 1972, s. 3).

3.1.1 Typpilannoitus

Kasviravinteiden merkityksen tunteminen sadon laatuominaisuuksiin on myös tärkeää tuotettaessa satoa tiettyyn tarkoitukseen. Hyvänä esimerkkinä tästä on typpilannoitus. Ensinnäkin riittävä typpilannoitus on runsaan sadon perusedellytys. Kasveissa typpi sitoutuu mm. aminohappoihin, joista muodostuu erilaisia valkuaisaineita. Valkuaisella taas on suuri

merkitys sadon käyttötarkoitukseen. Esimerkiksi leipävehnän pitää sisältää riittävästi valkuaisista, jotta sen leipoutuvuus olisi hyvä. Mallasohran valkuaispitoisuuden taas tarvitsee olla riittävän alhainen mallastuksen onnistumiseksi. Typpilannoitus onkin mallasohranviljelyn keskeisimpiä tekijöitä. Somersalon (1998, s. 37) mukaan typpilannoituksen oikea määrä on viljelyteknisesti tehokkain tapa vaikuttaa mallasohran satoon. Typpi on avainasemassa nimenomaan sadon määrän ja jyvän valkuaispitoisuuden kehittämisessä. Olutmallasohran lannoituksen tavoitteena on runsaan tärkkelyssadon tuottaminen ja jyvän valkuaispitoisuuden pitäminen kohtuullisena (Seppälä & Kontturi 1987, s. 11). Mallasohran korkea valkuaispitoisuus on kuitenkin ollut viimevuosien yleisin hylkäysperuste, mikä on selkeä osoitus typpilannoituksen merkityksestä mallasohran viljelyssä.

Typpilannoitustarvetta määritettäessä on otettava huomioon monta eri tekijää. Maan tuestä valtaosa, useita tuhansia kiloja hehtaarilla, on sitoutuneena eloperäisessä aineksessa. Kasveille käyttökelpoisen mineraalitypen määrä maassa vaihtelee eri vuosina. Tähän vaikuttavat maan ominaisuudet, viljelyolot ja sää. Maan ominaisuuksista tärkeimmät ovat maalaji, happamuus, maan lämpötila, humuspitoisuus ja ilmanvaihto (Ylärinta & Mäntylähti 1981, s. 29). Eloperäisten maiden typpipitoisuus on yleensä huomattavasti suurempi kuin kivennäismaiden. Sippolan (1985, s. 19) tekemissä kokeissa vuosien välinen vaihtelu maan mineraalitypen määrässä samalla koepaikalla oli kasvukausien alussa vähäistä. Määrät olivat pienimmät savimailla ja suurimmat turvemaidella. Sen vuoksi eloperäisiä maita ei suositella mallasohran viljelyyn.

Runsas maan mineraalitypen määrä tulee ottaa huomioon typpilannoituksessa, koska muutoin mallasohran laatu heikkenee, ja typpilannoituksella ei saada sadonlisäystä. Mineraalitypen määrään maassa vaikuttavat myös esikasvi ja sen lannoitus. Maassa saattaa olla huomattavia määriä edelliseltä viljelykasviltä käyttämättä jäänyttä tyyppiä, joka sitten on ohran käytettävissä. Viljakasvien jälkeen tyyppiä on vähemmän kuin esimerkiksi sokerijuurikkaan ja vihannesten jälkeen, mikä tulee ottaa huomioon lannoitustasoa määritettäessä. Maan kosteudella on ratkaiseva vaikutus viljan typensaantiin ja typenottoon. Kuivassa maassa typpi ei liiku juurten ulottuville, vaikka kasvi saisikin vettä tavanomaista syvemmistä maakerroksista (Seppälä & Kontturi 1987, s. 5). Maan kosteusolot taas riippuvat pitkälti kesän sateista, joiden määrää ei keväällä kylvöaikaan voida vielä tietää. Suomalaiselle kasvukaudelle on tyypillistä kuiva kevät ja alkukesä. Alkukesästä säteilymäärät ovat suuria, jolloin haihdunta on usein suurempi kuin sademäärä (Somersalo 2000, s. 9). Tämä vaikeuttaa osaltaan oikean lannoitustason valintaa.

Mineraalitypen määrää maassa voidaan myös mitata. Mikäli maan mineraalityppivarat ovat korkeat, ei tällaisella paikalla kannata viljellä mallasohraa. Suomessa mittaaminen ei tosin näytä perustellulta, sillä tavanomaisia typpimääriä käytettäessä viljelykasvit ottavat maasta mineraalimuodossa olevan liukoisen typen niin tarkkaan, että syksyllä maassa olevat määrät ovat verraten vähäiset. Syksyn ja talven aikana liukoisen typen määrän muutokset ovat pieniä maan kylmenemisestä johtuen (Seppälä & Kontturi 1987, s. 11). Lisäksi Leppäsen &

Esalan (1999, s. 24) mukaan keväinen mineraalitypen määrittäminen viljavuustutkimuksia tekevissä laboratorioissa olisi vaikeaa, koska tulosta ei saataisi viljelijän käyttöön riittävän nopeasti. Pikamääritysmenetelmien kehittäminen olisi siten ainoa järkevä ratkaisu.

3.1.2 Fosfori- ja kaliumlannoitus

Fosfori on ravinne, joka lannoitusta lisättäessä lisää satoa tasaisesti ja varmasti, ellei maan fosforitila ole jo entuudestaan hyvä. Kasvit tarvitsevat fosforia etenkin yhteyttämiseen, yhteyttämistuotteiden siirtoon ja tärkkelyksen muodostumiseen.

Kasvien fosforinotto on tehokkainta kasvukauden alkupuolella. Fosforilla on suuri vaikutus juuriston kehitykselle (Seppälä & Kontturi 1987, s. 13). Fosforia kulkeutuu kasvien juuriin vain aivan niiden pinnan lähellä olevasta, kosteasta maasta. Fosforin saannin riittävyys riippuu maan viljavuuden ohella paljolti juurten yhteispituuden suhteesta fosforin tarpeeseen. Nuorten kasvien pienen juuriston sekä alkukesän alhaisten lämpötilojen ja kuivuuden takia orasvaihe on Suomen oloissa viljan fosforin saannin kannalta kriittisin (Saarela ym. 1999, s. 42).

Riittävä fosforin saanti on mallasohran laadulle erittäin tärkeä tekijä. Fosfori edistää jyvänkasvua lisäten jyvän tärkkelyspitoisuutta ja alentaen näin jyvän valkuaispitoisuutta. Saarelan ym. (1995, s. 89) kokeissa fosforilannoitus paransi ohran laatua enemmän kuin muiden viljojen laatua. Fosforilannoituksella pystytään siten vähentämään typpilannoituksen negatiivisia vaikutuksia (Seppälä & Kontturi 1987, s. 13).

Kasvi tarvitsee kaliumia lähes yhtä paljon kuin typpeä. Savimaissa on yleensä runsaasti kasveille käyttökelpoista kaliumia, mutta karkeissa kivennäismaissa ja turvemaissa sitä on niukasti. Viljojen olkien mukana maahan jää enemmän kaliumia kuin mitä jyväsadon mukana poistuu (Lampinen 1983, s. 32). Keväällä kaliumtilanne voi kuitenkin olla heikko, koska kalium on sitoutuneessa muodossa, eikä ole näin kasvien käytettävissä. Kasvukauden kuluessa osa sitoutuneesta kaliumista muuttuu kasveille käyttökelpoiseen liukoiseen muotoon (Seppälä & Kontturi 1987, s. 13). Kalium käyttäytyy siten hieman mineraalitypen tavoin.

Kaliumia tarvitaan kasvin typpiaineenvaihdunnassa ja yhteyttämistuotteiden siirrossa. Se on keskeinen ravinne vesitalouden säätelyssä. Lisäksi kaliumin puute heikentää kasvin kylmänkestävyyttä ja vastustuskykyä sienitauteja vastaan (Steineck & Haeder 1978, ref. Seppälä & Kontturi 1987, s. 14; Saarela ym. 1999, s. 44). Kaliumin saanti määrää tehokkuuden, jolla vilja pystyy hyödyntämään käytettävissä olevan typen sadonmuodostukseen. Kasvi pystyy käyttämään typpeä tehokkaasti vain silloin, kun kaliumia on riittävästi. Kaliumlannoituksella voidaan siten jonkin verran vähentää suurien typpilannoitusmäärien haitallisia vaikutuksia. Tämä pätee tosin vain silloin, kun kaliumista on puutetta (Seppälä & Kontturi 1987, s. 13-14). Ohra hyötyy muita viljoja enemmän lisäystä kaliumista. Nämä edellä mainitut tekijät on siten hyvä ottaa huomioon mallasohran viljelyssä. Toisaalta kaliumia kertyy

kasveihin helposti tarvetta suurempi määrä, mikä voi vaikeuttaa muiden ravinteiden käyttöä ja heikentää kasvua (Saarela ym. 1999, s. 44-45).

3.2 Kasvinsuojelun vaikutus sadon määrään ja laatuun

Kasvinsuojelu on olennainen osa nykyaikaista viljelytekniikkaa. Tasapainoista kasvinsuojelua tarvitaan kaikissa viljelymenetelmissä. Kasvinsuojelun pitää kokonaisuudessaan toimia, jotta saadaan niin laadultaan kuin määrältään kunnollisia satoja. Vain pieni osa kasvinsuojelusta on kasvinsuojeluaineiden käyttöä. Oikein käytettynä kasvinsuojeluaine varmentaa monessa tapauksessa tuotteiden laadun ja mahdollistaa viljelyn kannattavuuden pitkällä aikavälillä (Ansalehto ym. 2000, s. 2). Kasvinsuojelun merkitystä kuvaa hyvin mm. Köpän (1980, s. 9) arvio rikkakasvien, tuhoeläinten ja kasvitautien aiheuttamasta 15-35 %:n satotappiosta. Tuhojen suuruus riippuu viljelyalueen maantieteellisestä sijainnista. Esimerkiksi Ruotsissa rikkakasvien torjunnasta saatu hyöty on paljon pienempi kuin Suomessa. Kasvinsuojelu on moniulotteinen asia, sillä siihen kuuluu kasvinsuojeluaineiden käytön lisäksi myös monia muita toimenpiteitä, kuten mm. viljelykierto, jonka avulla pystytään torjumaan esimerkiksi kasvitauteja.

3.2.1 Rikkakasvien torjunta

Rikkakasvilla tarkoitetaan viljelysmailla esiintyvää yleensä taloudellista tai muuta vahinkoa aiheuttavaa haitallista kasvia (Köppä 1980, s. 11). Rikkakasvit kilpailevat kasvustossa viljan kanssa ravinteista ja elintilasta ja pienentävät sen vuoksi viljasatoa. Tanskalaisten tutkimusten mukaan yksi gramma rikkakasvien kuivapainoa neliömetrillä pienensi ohrasatoa 4,7 kg/ha. Raatikaisen ja Raatikaisen (1979, s. 18) mukaan peltojen rikkakasvikartoituksessa löydettiin neliömetriltä yli 300 rikkakasviyksilöä, joiden kuiva-ainesato oli lähes 800 kg/ha. Tällainen määrä rikkakasveja kuluttaa jo huomattavasti vettä ja ravinteita, jolloin viljasato laskee. Jallin ym. (2000, s. 7) mukaan rikkakasvien siementuotanto on suoraan verrannollinen rikkakasvien painoon. Painon lisääntyessä lisääntyy myös rikkojen siementuotanto, joka vaikuttaa edelleen rikkakasvien määrään tulevaisuudessa. Rikkakasvit paitsi alentavat satoa, niin myös heikentävät sadon laatua.

Cousen ym. 1985 (ref. Jalli ym. 2001, s. 10) mukaan rikkakasvit voivat heikentää viljelyn kannattavuutta kolmella eri tavalla. Ensiksi rikkakasvit voivat lisätä korjuukustannuksia laakoonnuttamalla kasvuston ja estämällä sadon kuivumisen. Toiseksi rikkakasvit voivat saastuttaa korjattavan sadon. Jyväsadon joukossa olevat rikkakasvin siemenet alentavat sadon arvoa ja lisäävät puhdistustarvetta. Kolmanneksi kannattavuutta heikentäväksi tekijäksi on nimetty sadon aleneminen. Useimmiten kaksi ensimmäistä perustetta riittävät ylittämään taloudellisen torjuntakynnyksen, mutta torjunnan perusteena käytetään sadon alenemistä.

Kenttäkokeissa rikkakasvien torjunnan huono kannattavuus voi johtua koepaikan vuosittaisesta vaihtumisesta, jolloin torjunnan pitkäaikaisvaikutukset jäävät huomioimatta. Pitkä-

aikaisissa kokeissa käsittelemättömillä alueilla rikkakasvien määrä tulee todennäköisesti kasvamaan huomattavasti, jolloin torjunnan kannattavuus paranee. Päätös kemialliseen torjuntaan ryhtymiseen on hyvin monimutkainen. Torjunta-aika sijoittuu kasvukauden alkupuolelle, jolloin oikean satovaikutusarvion tekeminen on vaikeaa. Tätä epävarmuutta ei esimerkiksi sääolojen vaikean ennustettavuuden takia voida täysin poistaa. Päätöksentekoa voidaan helpottaa käyttämällä hyväksi muutamia viljelyksen perustietoja, kuten rivivälejä, kylvöaikaa ja rikkakasvien taimettumisaikoja (Wilkerson & Bennett 2000 ref. Jalli ym. 2001, s.11).

3.2.2 Kasvitautilien torjunta

Kasvitaudit voidaan jakaa kahteen ryhmään: tarttumattomiin ja tarttuviin kasvitauteihin. Tarttumattomia kasvitauteja aiheuttavat epäedulliset kasvuolosuhteet, kuten liika kosteus, ravinnepuutokset tai liian alhainen lämpötila (Köppä 1980, s. 63). Nämä taudit ovat siten kasvupaikkakohtaisia. Joitakin näistä tekijöistä viljelijä voi muuttaa kasveille edullisiksi, esimerkiksi parantamalla pellon kuivatusta ja muuttamalla lannoitusta.

Tarttuvien kasvitautilien esiintymiselle on tyypillistä epidemiat. Sopivissa olosuhteissa tarttuvat taudit lisääntyvät ja leviävät nopeasti. Ohranviljelyssä mm. viljelytekniset ratkaisut, kuten kevytmuokkaus, sekä viljelyn monokulttuuri ovat lisänneet tautien esiintymistä (Aikasalo 1998 ref. Somersalo 1998, s. 48). Kasvitauteja voi tulla ilmavirtausten mukana ulkomailtakin. Tautien vaikutus sadonmuodostukseen vaihtelee kasvilajeittain. Viljantuotannossa varsinkin lehtilaikkutaudit aiheuttavat vahinkoa tuhoamalla yhteyttävää lehtipinta-alaa, jolloin viljasadot alenevat. Viljoilla ja nurmikasveilla tautien vaikutus satoon ei kuitenkaan ole kaikista kasveista suurin, vaikka voimakkaassa lehtilaikkutautilien saastunnassa viljan sato tappiot voivat nousta jopa 40 %:iin (Erkkola 2000, s. 48). Kestävyys kasvitauteja vastaan vaihtelee myös lajikkeiden välillä. Viljan tuotannossa sato alenee, koska sairas kasvi ei pysty tuottamaan niin paljon ja niin suuria jyviä kuin terve kasvi.

Ohran tärkeimmät taudit ovat verkkolaikku ja rengaslaikku. Kummankin taudin leviämistä edistävät kosteat ja lämpimät olosuhteet. Sateisina kasvukausina verkko- ja rengaslaikkuepidemioiden riski on siten suurempi kuin kuivina kasvukausina. Sekä verkkolaikku että rengaslaikku siirtyvät kasvukaudesta toiseen joko siemenen mukana tai talvehtien maassa olevissa kasvijätteissä. Lehtilaikkutautilien aiheuttamia satotappioita voi parhaiten välttää käyttämällä sertifioitua puhdasta siementä (Somersalo 1998, s. 50-52). Myös viljelykierrolla ja lajikevalinnoilla voidaan pienentää tautien aiheuttamia tappioita. Kasvukauden olosuhteet saattavat kuitenkin aiheuttaa niin suuren tautiuhan, että laikkutauteja pitää torjua myös ruiskutuksin.

Mallasohran viljelyssä eräs sadon laatuominaisuuksien päätavoite on suuri jyväkoko. Suuressa jyvässä on enemmän tärkkelystä kuin pienessä jyvässä. Suuri tasalaatuinen jyvä takaa tasaisen mallastumisen ja hyvän uutensaannon. Viimevuosina suomalaisessa mallasohrassa

on havaittu jyväkoon pienenemistä. Tähän on todennäköisesti ollut osasyllisenä lisääntyneet laikkutautiepidemiat. Laikkutautien yleistymisen syynä saattaa olla viljelijöiden käyttämän kylvösiemenen heikko laatu. Suomessa kylvösiemenestä vain noin neljännes on sertifioitua ja tilasiemenen käyttö on yleistä. Tämä lisää kasvitautien riskiä (Lampinen 1998, ref. Somersalo 1998, s. 56).

Nykyisin on kehitetty erilaisia ennustemalleja, joiden avulla voidaan arvioida mm. sademäärien ja lämpösummien perusteella kasvitautien esiintymisen todennäköisyyksiä ja torjuntatarvetta. Tautien jo iskettyä kasvustoon satoa ei voida enää pelastaa.

3.2.3 Kasvunsäätet

Viljanviljelyssä käytettyjen kasvunsäätelien päätarkoituksena on laon torjuminen (Erviö ym. 1995, s. 7). Kasvunsäätelillä voidaan parhaassa tapauksessa pelastaa koko sato, sillä pahasti lakoontuneessa kasvustossa sadon määrä ja erityisesti sadon laatu saattavat kärsiä huomattavasti. Tärkein kasvunsäätelyn tarvetta mittaava lajikeominaisuus on korren pituus. Pitkäkortiset lajikkeet ovat yleensä myös heikkokortisia, jolloin kasvunsäädäkäsittely voi olla varsin tarpeellinen toimenpide. Lakoutumisongelma on pienentynyt kasvinjalostuksen kehittäessä yhä lujakortisempia lajikkeita. Silti Suomessa tarvitaan enemmän laon torjuntaa kemiallisin keinoin kuin meitä eteläisemmissä oloissa. Tämä johtuu Suomen valo-olosuhteista, joiden johdosta vilja pyrkii kasvamaan suoraan ylöspäin. Tällöin korsi muodostuu hennoksi ja helposti lakoutuvaksi (Lampinen 2000, s. 31).

Laonestovaikutuksen ohella on joissakin tutkimuksissa käynyt ilmi kemiallisten kasvuaineiden merkitys viljakasvustojen kehityksen ja sadonmuodostuksen säätelijänä (Woolley 1981, Karpenstein & Scheffer 1984 sekä Jung ym. 1987 ref. Erviö ym. 1995, s. 7). Lippulehtivaiheessa tehty kasvunsäädäruiskutus lyhentää viimeistä solmuväliä tähkän ja lippulehden välillä. Viljan varhaisella kasvuasteella tehdyllä kasvunsäädäkäsittelyllä saatetaan edistää juuriston kehitystä ja lisätä viljan versoutumista, jolloin sato kasvaa. Kasvunsäätelien toiminta riippuu kuitenkin paljon kasvuolosuhteista. Mikäli kasvi kärsii äärimmäisistä kasvuoloista johtuvasta stressistä, voi kasvunsäätelillä olla satoa alentava vaikutus. Sadonalennuksen todennäköisyys on kuitenkin pieni, jos kasvunsäädä estää lakoontumisen. Lisäksi korjuukustannukset ovat pystyssä kasvustossa pienemmät kuin pahasti lakoontuneessa kasvustossa. Kasvunsäätelystä saatava hyöty riippuu myös lajikkeesta. Myös runsasta typpilannoitusta käytettäessä lakoontumisen riski kasvaa, jolloin kasvunsäätelien käyttö saattaa olla tarpeellista.

4 Kasvinviljelyä kuvaavat tuotantofunktiot

4.1 Lähestymistavan valinta ja klassinen tuotantofunktio

Tuotanto- ja kustannusteoreettisessa tutkimuksessa on perinteisesti käytetty primaalilähestymistapaa. Sen lähtökohdan muodostavat biologis-fyysiset ja tekniset tekijät. Nämä tekijät määräävät toteutettavissa olevat panos - tuotokombinaatiot, eli tuotantomahdollisuuksien joukon (Ryhänen 1996, s. 10). Sen joukon rajapintaa kuvataan usein tuotantofunktiolla. Tuotantofunktio ilmaisee siten kyseisellä tuotantoteknologialla saatavan panosten ja niitä vastaavan maksimaalisen tuotoksen välisen fyysisen yhteyden. Se osoittaa suhteen, jolla tietty panosmäärä muuttuu tehokkaasti tuotokseksi. Tuotantofunktion teoreettinen tarkastelu tapahtuu yleensä ns. klassisen tuotantofunktion avulla. Tuotantofunktio kirjoitetaan yleisessä muodossa seuraavasti:

$$(4.1) \quad Y = f(x),$$

missä Y on tuotos ja x on panos (Debertin 1986, s. 15). Tuotannon määrään vaikuttaa kuitenkin aina monta tekijää, jolloin funktio voidaan esittää muodossa:

$$(4.2) \quad Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

missä Y on tuotos (TPP, total physical product), esimerkiksi viljasato, ja $x_1 \dots x_n$ ovat panoksia (lannoite, siemen, maan kosteus jne.), joilla Y tuotetaan (Heady & Dillon 1972, s. 74-75, Laurila 1992, s. 14). Yleensä esitystä havainnollistetaan kaksiulotteisessa avaruudessa, jossa kerralla muutetaan vain yhtä eksogeenista tekijää. Tarkasteltavana on tällöin yhden muuttuvan panoksen vaikutus yhden tuotteen tuotantoon, kun muiden panosten määrän oletetaan pysyvän vakiona. Tällöin tuotantofunktio kirjoitetaan muotoon:

$$(4.3) \quad Y = f(x_1 | x_2, x_3, \dots, x_n),$$

joka kiinnittää huomion yhden muuttuvan panoksen x_1 , kasvintuotannossa esimerkiksi lannoitteen, tuotantovaikutukseen. Viljelijä muuttaa lannoitteen määrää, samalla kun muut panokset (x_2, \dots, x_n) oletetaan määrältään vakioksi.

Tuotantofunktion parametrit kuvastavat tuotannon teknologiaa. Teknologinen muutos muuttaa tuotantofunktion parametreja. Teknologian muutos aiheuttaa siten muutoksia jonkin tai joidenkin tuotantotekijöiden tuottavuudessa. Teknologinen muutos on yhtä kuin tuotantofunktion siirtymä (Niitamo 1969, ref. Ylätaalo 1987, s. 13). Klassisen tuotantofunktion yhteydessä tukeudutaan kahteen oletukseen. Ensimmäinen oletus on panosten ja tuotosten jaettavuus. Jaettavuus on edellytys sille, että tuotantofunktio voidaan piirtää jatkuvaksi käyräksi. Lisäksi kaikilla panoksilla oletetaan olevan sama tuotantovaikutus, eli panokset ja tuotokset ovat homogeenisia. Tämä tarkoittaa sitä, että tuotoksen vaihtelu ei johdu panoksen laatueroista. Samoin tuotetut erät ovat samanarvoisia (Doll & Orazem 1984, s. 30). Typpilannoite

ja vilja täyttävät nämä vaatimukset hyvin. Typen tuotantovaikutus on todistettu, molemmilla on tunnetut markkina-arvot ja molemmat ovat homogeenisia ja helposti jaettavia (Laurila 1992, s. 16).

Tuotantofunktiosta johdetaan kaksi tuotantoekonomialle tärkeää tunnuslukua: APP (average physical product) ja MPP (marginal physical product). APP eli keskimääräinen tuotos mittaa keskimääräistä suhdetta, jolla panos muuttuu tuotteeksi. MPP eli rajatuotos mittaa, paljonko tuotos (TPP) muuttuu, kun panoksen määrää muutetaan yhden yksikön verran.

Klassinen tuotantofunktio voidaan jakaa kolmeen vyöhykkeeseen. Kuvassa 2 alueella I rajatuotos on suurempi kuin keskimääräinen tuotos. Keskimääräistuotos on kasvava ja saavuttaa maksiminsa alueen I lopussa, joten tuotantoa kannattaa lisätä vähintään alueen II alkuun. Alueella II rajatuotos on aleneva ja pienempi kuin keskimääräinen tuotos, mutta suurempi kuin nolla. Rationaalisesti toimiva tuottaja toimii siten alueella II. Tuotantoon käytettävän muuttuvan panoksen optimimäärä tiedetään vasta, kun analyysiin otetaan mukaan panoksen ja tuotoksen hinnat. Alueella III rajatuotos on negatiivinen, eli panosmäärän lisäys kääntää tuotetun määrän laskuun. Tuotanto ei ole siten järkevää tällä alueella (Doll & Orazem 1984, s. 31-35, 37-39).

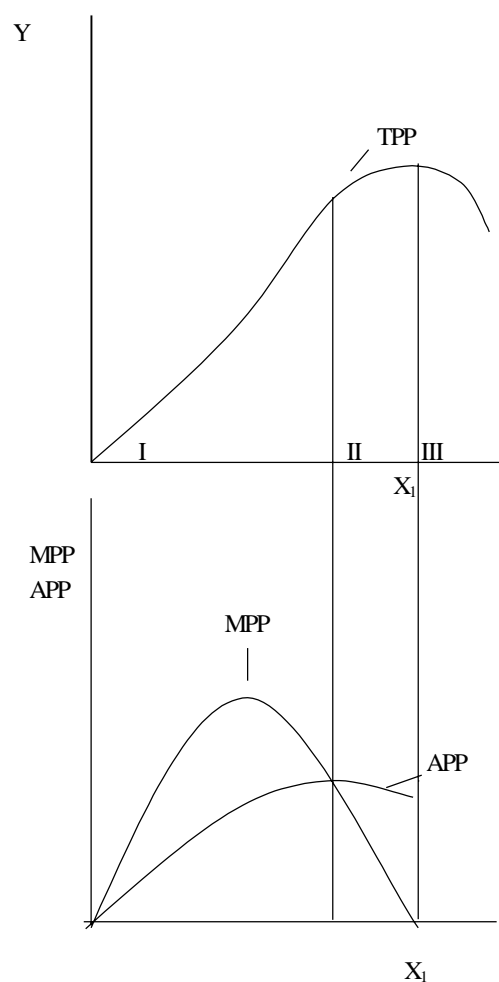
4.2 Tuotantofunktion estimointi

4.2.1 Selittävien muuttujien ja funktion valinta

Selittävien muuttujien valinta on vaativa tehtävä, sillä funktion edustavuus todellisuuden kuvaajana on suoraan verrannollinen sadon määrään vaikuttavien muuttujien lukumäärän kanssa (Dillon & Anderson 1990, s. 72). Ongelmana on usein se, että kaikkia haluttuja selittäviä muuttujia ei voida puutteellisen aineiston vuoksi ottaa mukaan malliin. Teoria antaa kuitenkin usein selkeät ohjeet tutkimuksessa käytettävien muuttujien valinnasta. Tilastotieteellisistä menetelmistä selittävien muuttujien valintaan voidaan käyttää regressioanalyysiä. Teorian hyödyntäminen ja looginen päättely auttavat soveltavaa tutkijaa muuttujien valinnassa.

Funktion valintaan ei ole yleispätevää keinoa. Maataloustuotannossa ilmenevä vähenevän rajatuotoksen laki merkitsee sitä, että myös käytettävän funktiomuodon on annettava aleneva rajatuotos (Doll & Orazem 1984, s. 37). Tämä ehto rajaa lineaarisen tuotantofunktion tarkastelun ulkopuolelle (Laurila 1992, s. 13). Empiirisissä tutkimuksissa on usein käytetty epälineaarisia funktiomuotoja, kuten neliöjuuri-, neliö-, Cobb-Douglas- ja Mitscherlich-funktioita.

Heikkilä (1980, s. 22) käytti tutkimuksessaan neliöfunktioita. Hän päätyi tähän ratkaisuun, koska funktion kuvaaja näytti kulkevan varsin hyvin havaintopisteiden kautta. Sumeilius (1993, s. 465) päätyi Mitscherlich-funktioon kuvatessaan typpilannoituksen vaikutusta ohran satoon. Samassa tutkimuksessa kevätvehnän tuotantoon ei mikään funktiomuoto osoittautunut muita paremmaksi. Bäckman (1994, s. 48) tutki typpilannoituksen vaikutusta



Kuva 2. Klassinen tuotantofunktio ja sen kolme aluetta (Doll & Orazem 1984, s. 38).

kevätehnän satoon käyttäen LRP-, Mitscherlich- ja neliöfunktioita. Funktiomuotojen välille ei löytynyt tilastollisia eroja, mutta funktioiden antamat typen käytön optimimäärät vaihtelivat LRP-funktion antaman 100 kg/ha ja neliöfunktion antaman 162 kg/ha välillä. Tämä on konkreettinen esimerkki käytettävän funktiomuodon vaikutuksesta panoskäytön optimimäärään.

Perinteisesti mallien hyvyyden vertaamiseen ja mallien valintaan on käytetty selitystasetta R^2 . Tämän mittarin käyttö ei ole ongelmattonta, koska selitystaseseen vaikuttavat monet eri tekijät kuten se, miten kokeessa tuotantopanoset on jaoteltu eri panosmäärille.

4.2.2 Parametrien estimointi ja testaus

Tuotantoa kuvaavan funktiotyypin ja muuttujien valinnan jälkeen voidaan estimoida yhtälö, ja saada arvot tuntemattomille parametreille. Yleisesti käytetty menetelmä on pienimmän neliösumman menetelmä (Ordinary least squares, OLS). Muut menetelmät, kuten pienimmän neliösumman yleistetty muoto ja suurimman uskottavuuden menetelmä, antavat periaatteellisista eroistaan huolimatta useissa tapauksissa samat estimaatit (Vasama & Vartia 1973, s. 443, Sumelius 1998, s. 24). Regressiokertoimien estimaattien hyvyttä voidaan

mitata Studentin t-testillä. T-arvo saadaan, kun regressiokertoimen estimaatti jaetaan keski-
virheen arvolla. T-testillä selvitetään, poikkeako regressiokerroin merkittävästi nolasta
(Johnston 1972, s. 37).

Autokorrelaatio tarkoittaa sitä, että peräkkäiset aikasarjahavainnot korreloivat. Korrelaatiota
voi ilmetä regressiomallissa muuttujien sekä virhetermien välillä (Heady & Dillon 1972,
s. 131-134; Öller 1987, s. 24). Autokorrelaatiota voidaan mitata mm. Durbin-Watson testil-
lä, jonka testiarvo d ilmaisee jäännöstermien autokorrelaation. Ohjeellisena d -arvona voi-
daan pitää arvoa kaksi, jolloin tarkastellaan, eroako kyseinen arvo huomattavasti ohjeelli-
sesta arvosta (Johnston 1972, s. 250-252). Autokorrelaatio voidaan havaita myös tekemällä
residuaalista graafinen kuva (Sumelius 1998, s. 73).

Regressiomallin muuttujien ollessa toistensa lineaarikombinaatioita on kyseessä muuttujien
välinen multikollinearisuus. Multikollinearisuutta selittävien muuttujien välillä voidaan
tutkia korrelaatiomatriisin avulla. Täydellinen multikollinearisuus tai sen täydellinen puut-
tuminen ovat harvinaisia. Seoslannoitteita käytettäessä täydellisen multikollinearisuuden
esiintyminen on kuitenkin tavallista. Tällöin ravinteiden käyttösuhde on vakio (Ryhänen
1996a, s. 12). Ainoa mahdollisuus on pudottaa pois kaksi selittävää muuttujaa joukosta N , P
ja K . Lannoitusaineistosta estimoiduissa funktioissa on yleensä käytetty selittävänä muuttu-
jana typpilannoitusta, koska fosfori- ja kaliumlannoitteiden responsia on vaikeampi määrit-
tää. Tämä johtuu siitä, että fosfori- ja kaliumlannoitteiden vaikutus riippuu paljon maan ra-
vinnetilasta. Typpilannoituksella on vähäisempi vaikutus kasvukausien yli kuin fosfori- ja
kaliumlannoituksella. Muuttujien välisen korrelaatiokertoimen ollessa itseisarvoltaan suu-
rempi kuin 0,8 tulisi eniten korreloiva muuttuja jättää regressioanalyysin ulkopuolelle
(Heady & Dillon 1972, s. 134-136).

Tuotantofunktion estimoinnissa voidaan käyttää joko kokeiden tuloksia tai käytännön vilje-
lyksiltä kerättyä aineistoa. Koeolosuhteissa panoskäyttöä voidaan ohjata myös taloudellises-
ti kannattamattoman tuotannon alueelle, kun taas maatiloilta kerätty aineisto on keskittynyt
kapealle panoskäytön alueelle. Panosmäärän vaihtelun ollessa pientä estimoitu funktio ku-
vaa vain tuotantofunktion jotain osaa ja saattaa siten antaa virheellisen kuvan panos-tuotos-
suhteesta. Tämän vuoksi koeaineistot ovat yleensä käyttökelpoisempia tuotantofunktion
määrittämiseen kuin tila-aineistot.

Kenttäkokeissa satotaso on yleensä korkeampi kuin normaaleilla maataloilla, koska koeolo-
suhteet ovat normaalia maataloutta homogeenisemmat ja työnkäyttö pinta-alaa kohti on nor-
maalia suurempaa. Koepaikat sijaitsevat alueellisesti keskimääräistä paremmissa tuotanto-
ympäristöissä (Dillon & Anderson 1990, s. 162). Kokeissa kiinnitetään myös paljon huomio-
ta työn laatuun, mikä osaltaan lisää koeaineiston ja tila-aineiston eroja (Heikkilä 1980, s. 43).
Huolellisella työllä kuitenkin pystytään vähentämään muiden kuin selittävien tekijöiden vai-
kutusta lopputulokseen, mikä parantaa tulosten luotettavuutta.

5 Taloudellisen panosoptimin määrittäminen tuotantofunktioanalyysillä

Tuotanto- ja kustannusteorian kehittämisessä on keskeinen oletus optimointikäyttäytyminen. Rationaalisesti toimivan viljelijän tavoitteena on siten voiton maksimointi ja/tai kustannusten minimointi (Doll & Orazem 1984, s. 7-8). Kasvintuotannossa alenevasta rajatuotoksesta johtuen satotason maksimointi on harvoin taloudellisesti järkevää, koska viimeisten lisäkilojen tuottaminen vaatii kohtuuttoman paljon lisäpanoksia (Laurila 1992, s. 21). Taloudellinen optimi riippuu siten panoksen ja tuotoksen välisestä hintasuhteesta.

Kasvintuotantoon sisältyy myös tuotantoriskejä, jotka vaikuttavat tuotostasoon, joiden määriä ei voida tietää etukäteen ja joihin viljelijä ei voi vaikuttaa. Suurin tällainen tekijä on sääolot. Sään aiheuttamien tuotantoriskien määrä on kuitenkin vuosien mittaan vähentynyt mm. tarkentuneiden sääennustusten ansiosta (Sonkkila 2002, s. 17). Tutkimuksissa on havaittu, että maatalousyrittäjät ovat riskinkarttajia (Dillon & Anderson 1990, s. 123-129). Tämä merkitsee sitä, että muuttuvien panosten optimikäyttömäärät ovat riskejä sisältävässä toimintaympäristössä riskitöntä ympäristöä alempia (Ryhänen 1996a, s. 21).

Tuotantofunktio osoittaa vain biologis-fyysisen panos-tuotossuhteen, joten se ei sisällä taloudellista informaatiota. Estimoidusta tuotantofunktioista johdettujen tuotto- ja kustannusfunktioiden avulla voidaan määrittää taloudellinen optimipiste. Tuotto- ja kustannusfunktioiden määrittäminen edellyttää panosten ja tuotosten hintojen tuntemista. Voiton maksimi on siinä tuotannon määrässä, jossa kokonaistuoton ja -kustannusten erotus on suurin. Voiton maksimissa panosten käyttö ja tuotettu määrä ovat optimikohdassa (Doll & Orazem 1984, s. 63). Lyhyen aikavälin tarkastelussa kiinteät panokset ja tuotantoteknologia ovat vakioita, jolloin voitto määräytyy muuttuvien panosten käyttömäärän perusteella. Pitkän aikajänteen voiton kasvattamiseksi yrittäjän on pystyttävä alentamaan kiinteitä yksikkökustannuksia. Lyhyen aikavälin voittofunktio voidaan kirjoittaa seuraavasti:

$$(5.1) \quad \pi = py - wx_1 - c_f + S,$$

missä π on voitto, p on tuotteen y hinta, w on panoksen x_1 hinta, c_f on kiinteä kustannus ja S on suora tulotuki. Suora tulotuki S ja kiinteä kustannus c_f eivät vaikuta lyhyellä aikajänteellä panoksen käytön optimiin, joten ne voidaan jättää lyhyen aikavälin tarkastelun ulkopuolelle. Näin esimerkiksi typpilannoitteen optimiin, joten ne voidaan jättää lyhyen aikavälin tarkastelun ulkopuolelle. Näin esimerkiksi typpilannoitteen optimaalinen käyttömäärä ratkaistaan pelkästään typpilannoitteen ja kasvituotteen hintasuhteen w/p perusteella. Tällöin optimipiste voidaan ratkaista maksimoimalla lyhyen aikajänteen ylijäämä Ψ seuraavasta yhtälöstä (Ryhänen & Sipiläinen 1996, s. 56):

$$(5.2) \quad \Psi = py - wx.$$

Taloudellisesti mitattuna tuotannon kohottaminen kannattaa niin kauan, kun panosten lisäyksellä saadun tuotoksen lisäyksen arvo on suurempi kuin panosten lisäyksen arvo (Debertin 1986, s. 58-60). Taloudellisesti optimaalinen lannoitustaso voidaan siten ratkaista kaavasta:

$$(5.3) \quad \text{VMP} = P_x,$$

missä VMP on rajatuotto ja P_x on lannoitteen hinta. VMP saadaan kertomalla rajatuotos tuotteen hinnalla P_y , jolloin taloudellisesti optimaalinen lannoitustaso voidaan kirjoittaa muotoon :

$$(5.4) \quad P_y * \text{MPP} = P_x.$$

Hintasuhteet vaikuttavat taloudelliseen optimiin siten, että tuotteiden hintojen kohotessa tai panosten hintojen laskiessa taloudellinen optimi sijaitsee aiempaa voimaperäisemmällä tuotannon alueella. Tuotteiden hintojen laskiessa tai panosten hintojen noustessa vastaavasti panosten käyttöä kannattaa laskea (Junnila 1987, s. 19). Tuotteiden hintakehitys on ollut Euroopan unionin jäsenyyden aikana laskevaa, mikä on ohjannut viljelijöitä alentamaan panosten käyttöä. Varsinkin lannoituksen vähentäminen on ollut taloudellisesti järkevää. Alentuneiden tuottajahintojen lisäksi lannoituksen vähentämiseen on kannustanut ympäristötukijärjestelmä. Ympäristötuen ehtojen lannoitusrajoitukset saattavat joissakin oloissa rajoittaa taloudellisten optimisatojen tavoittelua vallitsevilla hintasuhteilla. Tuottaja voi jopa joutua toimimaan kuvassa 2 esitetyllä alueella I, mutta silti ympäristötuki riittää kompensoimaan eron rajoittamattomaan satotasoon nähden.

6 Tutkimusaineisto- ja menetelmät

6.1 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineistona tässä tutkimuksessa käytetään Kemira Agron ja Nylands Svenska Lantbrukssällskapin yhteistyönä vuosina 1996-2000 tehdyn koesarjan tuloksia. Kokeita järjestettiin Kotkaniemen koetilalla Vihdissä, Västankvarnin koulutilalla Inkoossa sekä Suur-Sarvilahden kartanossa Pernajassa. Kokeessa tutkittiin lannoituksen ja kasvinsuojeluaineiden vaikutuksia ohran satoon.

Kokeessa oli viisi tyypilannoitustasoa: 0, 60, 90, 120 ja 160 kg typpeä/ha. Lannoitus annettiin Pellon Typpi Y- seoslannoitteena. Lisäksi kokeessa oli jokaista lannoitustasoa kohden seuraavat kasvinsuojelukoejäsenet:

1. Käsittelemätön
2. Rikkakasvien torjunta.

3. Rikkakasvien ja kasvitautien torjunta
4. Rikkakasvien ja laon torjunta.
5. Rikkakasvien, kasvitautien ja laon torjunta.

Kaikissa rikkakasvien torjunnan sisältävissä koejäsenissä käytettiin torjunta-aineena Express 50T-valmistetta 1,5 tablettia/ha ja lisäksi Super-kiinnitettä 0,2 l/ha. Kasvitautien torjunta-aine vaihtui lähes vuosittain, käytetty aine oli joko koeaine tai Kemira Agro Oy:n uusin markkinoilla ollut tuote. Kasvunsäätteenä sisältävissä koejäsenissä käytettiin Cerone -valmistetta 0,3 l/ha.

Koepaikat olivat vuosittain seuraavat:

1996 Västankvarn, Sarvilahti ja Kotkaniemi.

1997 Västankvarn, Sarvilahti ja Kotkaniemi.

1998 Västankvarn.

1999 Sarvilahti ja Kotkaniemi.

2000 Sarvilahti.

Ohralajikkeina kokeissa käytettiin vuosina 1996 - 1998 Kymppiä ja vuosina 1999 - 2000 Saanaa. Siemen oli sertifioitua ja peitattua. Koealue sijoitettiin pellolle siten, että alue oli mahdollisimman tasainen, se ei sisältänyt maalajin muutoksia, metsän varjostuksia eikä kalkituksen tai esikasvin eroja. Koepaikka vaihteli vuosittain, joten viljelyn pitkäaikaisvaikutuksia ei voida tutkia. Kokeessa oli kolme kerrannetta / paikka ja vuosi. Koeruutuja oli jokaisessa kasvinsuojelukäsittelyä kohden yhteensä 145 kappaletta, jolloin jokaista yksittäistä panoskombinaatiota kohden ruutuja oli 29 kappaletta. Koeruudut olivat melko pieniä, koska suurta ruutukokoa käytettäessä koealue ei olisi mahtunut järjelliselle alueelle. Suuri koealue saattaa kasvattaa kentän aiheuttamaa vaihtelua ja aiheuttaa epätasaisuutta¹. Kokeen järjestelyt on siten tehty tilastotieteellisestä näkökulmasta katsoen oikein².

Koealueiden maalajit olivat lieju-, hiue- tai hietasavea. Osasta koepaikoista tehtiin myös maa-analyysi. Näillä paikoilla viljavuusluvut olivat hyvät, jolloin esimerkiksi hivenaineiden puute ei rajoittanut sadonmuodostusta. Koevuosien sääolot olivat vaihtelevia, sillä koejaksolle sisältyi mm. yksi erittäin sateinen ja yksi erittäin kuiva koevuosi. Vuonna 1998 toukoelokuun sademäärä oli lähes kaksinkertainen verrattuna vuosien 1961-1990 keskimääräiseen sademäärään. Vuonna 1999 koepaikkojen sademäärät jäivät Sarvilahdessa kolmanneksen ja

¹Saara Salonen, Kemira Agro Oy. Kirjallinen tiedonanto 15.2.2001.

²Aki Niemi, Helsingin yliopisto. Suullinen tiedonanto 14.3.2001.

Kotkaniemessä liki puolet normaalia alemmiksi. Muiden koevuosien sääolot olivat lähempänä pitkän ajan keskiarvoja.

Satovaihtelu oli koejaksolla suurta. Suurin selittäjä satotason vaihteluun lienee sääolot. Tähän tulokseen on helppo päätyä, koska muut kokeeseen vaikuttaneet tekijät pysyivät koejaksolla miltei muuttumattomina. Satohavaintojen suurta vaihtelua selittää varmasti myös koepaikkojen suuri kasvukunnon vaihtelu. Esimerkiksi lannoittamattomien ja käsittelemättömien ruutujen sadot vaihtelivat noin 500 kg/ha ja yli 7 000 kg/ha välillä.

6.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmänä käytetään tuotantofunktioanalyysiä. Aineistosta estimoidaan tuotantofunktiot käyttäen tyypilannoitusta selittävänä muuttujana. Kasvinsuojelun tasot erotetaan toisistaan estimoimalla funktiot jokaiselle käsittelylle erikseen. Lannoituksessa oletetaan muiden ravinteiden paitsi typen tarpeen olevan aina täytetty. Lisäksi kasvitautilien torjunta-aineiden välillä ei oleteta olevan tehokkuuseroja.

Satotasojen suuren vuotuisvaihtelun vuoksi tuotantofunktiot estimoidaan erikseen jokaiselle vuodelle ja koepaikalle, jolloin jokaista kasvinsuojelukäsittelyä kohden saadaan kymmenen tuotantofunktioita. Tällä menettelyllä pyritään minimoimaan muiden kuin tutkittavien muuttujien vaikutus sadonmuodostukseen. Näin pystytään myös paremmin selvittämään lannoituksen ja kasvinsuojelun merkitystä erilaisina kasvukausina. Aineiston jakamisen huono puoli on siinä, että havaintojen vähyys lisää satunnaista vaihtelua.

Ympäristötuen ehtojen rajoituksia ei sisällytetä malleihin. Tämä menettely on edellytyksenä sille, että funktio voidaan estimoida täysin biologis-fyysisin perustein. Ympäristötuen ehdot karsisivat suurimman tyypitason havainnot kokonaan pois, jolloin funktion luotettavuus kärsisi.

Tutkimus aloitetaan estimoimalla tuotantofunktiot usealla eri funktiomuodolla, joista pyritään löytämään lopulliseen tarkasteluun tuotantoa parhaiten kuvaava funktiomuoto. Empiirisissä tutkimuksissa on usein käytetty epälineaarista funktiomuodoista neliö- ja Mitscherlich-funktioita, jotka ovat muotoa:

$$(6.1) \quad Y = a + bx + cx^2$$

$$(6.2) \quad Y = A_{\text{Max}} (1 - b \cdot e^{-c \cdot x})$$

Tutkimukseen valitaan näistä paremmin tuotantoa kuvaava funktiomuoto. Estimoinnissa käytetään pienimmän neliösumman menetelmää ja suurimman uskottavuuden menetelmää. Mallien paremmuuden vertaamiseen ja mallien valintaan käytetään selitystasetta R^2 . Lisäksi funktion valintaan vaikuttaa se, kuinka estimoitujen funktioiden kuvaajat kulkevat suhteessa havaintopisteisiin.

Tuotantofunktio ei sisällä taloudellista informaatiota. Typpilannoitteen lyhyen aikavälin taloudellinen optimikäyttömäärä ratkaistaan pelkästään typpilannoitteen ja kasvituotteen hintasuhteen w/p perusteella (vrt. kaava 5.2), missä Ψ on lyhyen aikajänteen ylijäämä, p on tuotteen y hinta ja w on panoksen x hinta. Taloudellinen optimi voidaan määrittää myös tuotantofunktioista johdetun rajatuotoksen (MPP) avulla, kuten liitteessä 1 on esitetty.

Taloudellisesti parhaan tuotantoteknologian ratkaiseminen edellyttää tuotantoteknologioiden muuttamista vertailukelpoisiksi. Vertailukelpoisuus saavutetaan vähentämällä kasvinsuojelusta aiheutuvat kustannukset taloudellisen lannoitusoptimin antamasta ohran viljelyn ylijäämästä. Kasvinsuojelun kustannukset muodostuvat ainekustannuksista ja ruiskutusku-
stannuksista. Koska ruiskutusku-
stannukset vaihtelevat tilakohtaisesti, käytetään kustannus-
perusteena urakoitsijaveloitusta. Rikkakasvien torjunnan sisältäneestä koejäsenessä ruisku-
tuskustannus vähennetään ylijäämästä kerran, muista kasvinsuojeluaineita sisältäneiden
koejäsenten ylijäämästä kaksi kertaa. Saatuja taloudellisia ylijäämiä sekä biologisesti että
taloudellisesti optimaalisia satotasoja verrataan toisiinsa t-testillä.

Typpilannoitteen hinta johdetaan kokeessa käytetyn seoslannoitteen hinnasta. Typen hinnan johtaminen seoslannoitteesta on perusteltu tapa, koska Suomessa lannoitussuositukset perustuvat seoslannoitteiden käyttöön (Ryhänen & Sipiläinen 1996, s. 56). Seoslannoitteen ja kasvinsuojeluaineiden hintoina käytetään vuoden keskihintoja. Lannoitteen hintaan on lisätty rahtikustannus. Ohran hinta riippuu viljan laadusta. Mallasohran ja rehuohran hintoina käytetään tutkimuksen tekoajankohtana vallinneita Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskuksen Maataloustilastollisen kuukausikatsauksen markkinahintoja, joista on vähennetty rahtikustannus. Mahdollisia sadon laadusta johtuvia hintojen korjauksia ei oteta laskelmissa huomioon. Laskelmissa käytetyt hinnat on esitetty liitteessä 2.

Viljan laatua kuvaavista ominaisuuksista typen vaikutusta sadon valkuaispitoisuuteen tutkitaan regressioanalyysillä. Regressioanalyysi tehdään jokaista koepaikkaa ja kasvinsuojelukäsittelyä kohden. Analyysin avulla määritellään suurin mahdollinen typpilannoitustaso, jolla valkuaispitoisuus jää alle mallasohran maksimivaatimuksen, 11,5 %:n. Regressioyhtälö on muodoltaan lineaarinen:

$$(6.3) \quad Y = a + bx, \text{ jossa}$$

Y on sadon valkuaispitoisuus %, a ja b yhtälön parametreja ja x muuttuja, typpilannoite. Jyväkokoja tutkitaan laskemalla koejäsenkohtaiset keskiarvot suurimmasta lajitteluasteesta, $>2,5$ mm. Laatuongelmat ovat johtaneet siihen, että laatuominaisuuksia on löyhennetty edellämainitusta, mutta sitä ei tässä tutkimuksessa oteta huomioon. Regressioanalyysin tulosten ja keskiarvojen avulla saadaan määriteltyä ohran laatu riittävän tarkasti, jolloin koejäsenten sato voidaan jakaa joko mallasohraksi tai rehuohraksi. Lajitteluastetuloksia ei ole käytettävissä kaikista koejäsenistä, jolloin niiden laadunmääritys tehdään pelkästään valkuaispitoisuuden perusteella.

Satunnaiskertoimisella regressiomallilla tutkitaan lisäksi eri käsittelyjä saaneiden mallien eroja käsittelemättömien malliin. Neliöfunktioille satunnaiskertoiminen regressiomalli on muotoa:

$$(6.4) \quad y_{ij} = \alpha + a_i + \beta x + b_i x - cx^2, \text{ jossa}$$

y_{ij} ovat havaittuja arvoja kokeessa i . α ja β ovat keskimääräiset vakiotermin ja lineaarisen termin kertoimet. a_i kertoo, paljonko kokeessa i vakioeroin eroaa keskimääräisestä vakiosta α . Vastaavasti b_i kertoo paljonko lineaarisen termin kerroin eroaa β :sta. Tutkimus tehdään yli vuosien ja koepaikkojen. Malli perustuu siihen, että parametreille on olemassa keskimääräiset tasot, jotka hyväksyvät jokaiselle koepaikalle ja vuodelle omat funktionsa. Tässä aineistot käsitellään yhtä aikaa ja hyväksytään parametrien vaihtelu käsittelyltä toiselle. Tarkastelussa käytetään dummy-muuttujia, jolloin tulokset antavat kahden käsittelyn eron ja sen tilastollisen merkitsevyyden³.

7 Tutkimustulokset

Tässä kappaleessa esitetään tutkimustulokset kasvinsuojelukäsittelyittäin. Tuotantofunktiot estimoitiin SPSS 10,0-ohjelmalla. Funktiomuodoksi valittiin neliöfunktio, koska se kuvasi parhaiten ohran tuotantofunktiota. Funktiomuotojen välillä ei kuitenkaan ollut suuria eroja

Taulukosta 1 voidaan todeta, että selitysasteet vaihtelivat paljon, 0,01:stä 0,97:ään. Suurin osa selitysasteista on korkeita. Huonoihin selitysasteisiin ei ollut syynä väärä funktiomuoto, vaan se, että lannoituksella ei juuri ollut vaikutusta sadonmuodostukseen.

Taulukko 1. Kasvinsuojeluaineilla käsittelemättömän koejäsenen tuotantofunktiot, selitysasteet ja havaintojen lukumäärät.

Koepaikka	Ohran tuotantofunktio	Selitysaste	Havaintojen lukumäärä
KN 96	$y = 2226 + 45,736x - 0,1292x^2$	$R^2 0,88$	$n = 15$
SS 96	$y = 6280 + 7,5766x - 0,0661x^2$	$R^2 0,28$	$n = 10$
VK 96	$y = 4829 + 28,361x - 0,1874x^2$	$R^2 0,67$	$n = 15$
KN 97	$y = 1441 + 56,353x - 0,1722x^2$	$R^2 0,94$	$n = 15$
SS 97	$y = 3444 + 24,249x - 0,0837x^2$	$R^2 0,81$	$n = 15$
VK 97	$y = 3068 + 33,738x - 0,1102x^2$	$R^2 0,94$	$n = 15$
VK 98	$y = 3265 + 2,6723x - 0,0156x^2$	$R^2 0,01$	$n = 15$
KN 99	$y = 695 + 16,981x - 0,0568x^2$	$R^2 0,79$	$n = 15$
SS 99	$y = 1046 + 2,1601x - 0,0074x^2$	$R^2 0,07$	$n = 15$
SS 00	$y = 2680 + 42,215x - 0,0767x^2$	$R^2 0,97$	$n = 15$

³ Lauri Jauhiainen. MTT Tutkimuspalvelut. Sähköpostiviesti 4.11.2002.

Taulukoissa koepaikat lyhennetään seuraavasti: Kotkaniemi, KN, Suur-Sarvilahti, SS ja Västankvarn, VK. Numerot lyhenteiden perässä ovat vuosilukuja (1996 = 96 jne.). Tuotantofunktioissa y on selitettävä muuttuja eli sato ja x on selittävä muuttuja eli typpilannoite. Laatu selittävässä regressioanalyysissä on valkuaispitoisuus ja x typpilannoite.

7.1 Kasvinsuojeluaineilla käsittelemättömät koejäsenet

Kasvinsuojeluaineilla käsittelemättömiä koejäseniä oli yhteensä kymmenen kappaletta. Taulukossa 1 on esitetty käsittelemättömien koejäsenten tuotantofunktiot ja selityksasteet.

Ohrasadot vaihtelivat vuosien välillä suuresti. Myös biologisesti optimaaliset typpilannoitustasot vaihtelivat vuosittain varsin paljon, 57 kilosta 275 kiloon. Jopa samana vuotena koepaikkojen välillä oli suuria eroja. Esimerkiksi vuonna 1996 biologinen typpioptimi oli Suur-Sarvilahdessa 57 kg/ha ja Kotkaniemessä 177 kg/ha. Edellä mainitut korkeimmat typpilannoituspisteet saattavat olla erittäin harhaisia, koska aineiston suurin typpilannoitustaso oli 160 kg/ha. Biologisesti optimaaliset satotasot koevuosien sisällä vaihtelevat vähemmän kuin biologiset typpioptimit. Esimerkiksi vuonna 1996 typpioptimin suuresta vaihtelusta huolimatta biologisesti optimaaliset satotasot vaihtelivat vain muutamia satoja kiloja, 5 900 kilon ja 6 500 kilon välillä. Biologisten optimipisteiden laskentamenetelmät on esitetty liitteessä 2. Taulukossa 2 on esitetty kasvinsuojeluaineilla käsittelemättömien koejäsenen biologisesti optimaaliset typpilannoitustasot ja niillä saavutetut satotasot.

Viljan laatu vaihteli satotason lailla melko paljon. Mallasohralaadun saavuttaminen oli erittäin vaikeaa varsinkin lajitteluasteen osalta. Tutkituista lajitteluasteista vain kolme täytti ilman lajittelua minivaatimuksen, joka on 85 % yli 2,5 mm suuruisia jyviä. Myös ohran valkuaispitoisuus vaihteli varsin paljon. Esimerkiksi vuonna 1996 typen käytöllä ei ollut vaikutusta sadon valkuaisen muodostuksessa. Vuosina 1998 ja 1999 sadon valkuaispitoisuudet nousivat paikoin mallasohran vaatimusta korkeammiksi ilman lannoitusta. Vain kahdessa koepaikassa viljan laatu täytti tietyin edellytyksin molemmat laatuvaatimukset.

Taulukko 2. Kasvinsuojeluaineilla käsittelemättömien koejäsenten biologisesti optimaalinen typpilannoitus ja sato.

Koepaikka	Biologisesti optimaalinen typpilannoitus (kg/ha)	Biologisesti optimaalinen ohran satotaso (kg/ha)
KN 96	koealueen ulkopuolella	----
SS 96	57	6497
VK 96	76	5902
KN 97	koealueen ulkopuolella	----
SS 97	145	5200
VK 97	153	5650
VK 98	86	3379
KN 99	149	1964
SS 99	146	1204
SS 00	koealueen ulkopuolella	----

Taulukko 3. Kasvinsuojeluvälineillä käsittelemättömien koejäsenten valkuaispitoisuutta kuvaavat regressioyhtälöt, mallasohran typpirajoitteet, yli 2,5 mm jyvien osuus koko jyväsadosta sekä sadon käyttötarkoitus.

Koepaikka	Regressioyhtälö	N-lannoitus, jolla valkuainen < 11,5%	> 2,5 mm:n jyvien %-osuus	Sadon käyttötarkoitus
KN 96	$y = 6,7027 + 0,0162x$ $R^2 0,44$	ei koealueella	74	rehu
SS 96	$y = 11,025 - 0,0027x$ $R^2 0,02$	ei rajoitetta	71	rehu
VK 96	$y = 11,074 - 0,0027x$ $R^2 0,02$	ei rajoitetta	63	rehu
KN 97	$y = 8,7447 + 0,0126x$ $R^2 0,79$	ei koealueella	77	rehu
SS 97	$y = 9,963 + 0,0155x$ $R^2 0,47$	99	77	rehu
VK 97	$y = 9,2475 + 0,0191x$ $R^2 0,92$	117	76	rehu
VK 98	$y = 12,795 + 0,0049x$ $R^2 0,21$	ei mahdollista	49	rehu
KN 99	$y = 10,682 + 0,0266x$ $R^2 0,81$	31	86	mallas
SS 99	$y = 14,429 + 0,0128x$ $R^2 0,60$	ei mahdollista	86	rehu
SS 00	$y = 10,727 + 0,0129x$ $R^2 0,53$	60	---	mallas

Taulukon 3 tulosten perusteella voitiin määrittää jokaisen koejäsenen sadolle arvo. Jaottelu tehtiin suoraan tulosten perusteella. Lajittelemalla voitaisiin huonoja lajitteluasteita saada paremmiksi, jolloin nyt rehuksi määritelty ohra voisi täyttää mallasohran lajitteluvaatimukset, mutta tätä vaihtoehtoa ei oteta huomioon. Taulukossa 4 on esitetty taloudellisesti optimaaliset typpilannoitustasot, sadon käyttötarkoitus, taloudellisesti optimaaliset satotasot sekä niillä saatava taloudellinen ylijäämä (sadon arvo – lannoitekustannus) vuoden 2002 hinnoilla. Taloudellisten optimipisteiden laskentamenetelmät on esitetty liitteessä 2. Kotkanien vuoden 1999 ja Sarvilahden vuoden 2000 sadot täyttivät sekä mallas- että rehuohran laatuvaatimukset, jolloin niistä laskettiin molemmat ylijäämät. Taulukossa 4 on esitetty näistä paremman taloudellisen ylijäämän antava vaihtoehto, joka kummassakin tapauksessa on mallasohran antama ylijäämä.

Ohran taloudellisesti optimaalinen typpilannoitus vaihteli vuosien ja koepaikkojen välillä melko paljon (0-133 kg/ha). Taulukossa 4 kolmella koepaikalla taloudelliseksi typpioptimiksi on merkitty 0 kg/ha, vaikka mallin mukaan taloudellisesti optimaaliset typpimäärät olivat näissä tapauksissa negatiivisia lukuja. Koska sellainen lannoittaminen ei käytännössä ole mahdollista, taloudelliseksi typpioptimiksi on näissä tapauksissa merkitty 0 kg/ha.

Taloudellisesti optimaaliset ohrasadot vaihtelivat niin ikään melko paljon. Taloudellisesti ja biologisesti optimaalisten ohrasatojen erot olivat kuitenkin aika pienet vuotta 2000 lukuun ottamatta, vain muutamia satoja kiloja. Vuonna 2000 valkuaisrajoite rajasi taloudellisen typpioptimin kuuteenkymmeneen kiloon, jolloin satoero biologiseen optimiin nousi yli 3 500 kiloon hehtaarilla. Rehuohrana taloudellinen typpioptimi oli vuonna 2000 221 kg/ha, jolloin sato oli 8 260 kg/ha. Rehuohrana taloudellinen ylijäämä oli sen mallasohraa suuremmasta satotasosta huolimatta 500 €/ha, mikä oli 23 €/ha pienempi kuin mallasohran taloudellinen ylijäämä.

Taulukko 4. Kasvinsuojeluaineilla käsittelemättömien koejäsenten taloudelliset typpilannoitus- ja sato-optimit sekä ylijäämät.

Koepaikka	Taloudellinen typpioptimi (kg/ha)	Taloudellinen sato-optimi (kg/ha)	Taloudellinen ylijäämä (€/ha)
KN 96	133	6023	392
SS 96	0	6280	546
VK 96	45	5729	454
KN 97	131	5863	381
SS 97	95	4990	495
VK 97	101	5356	366
VK 98	0	3265	284
KN 99	31	1167	107
SS 99	0	1046	91
SS 00	60	4937	523

7.2 Rikkakasvien torjunnan sisältäneet koejäsenet

Rikkakasvien torjunnan saaneita koejäseniä oli käsittelemättömien koejäsenten tapaan yhteensä kymmenen kappaletta. Taulukossa 5 on esitetty rikkakasvien torjunnan saaneiden koejäsenten tuotantofunktiot, selitysasteet ja havaintojen lukumäärät.

Rikkakasvien torjunnan saaneiden koejäsenten tuotantofunktioiden selitysasteet vaihtelivat melko paljon, välillä 0,01 – 0,96. Useimmat selitysasteet olivat melko korkeita ja vain yksi selitysaste jäi todella alhaiseksi. Käsittelemättömän koejäsenen tapaan tässäkin alhaiseen selitysasteeseen ei ollut syynä väärä funktiomuoto, vaan se, että lannoituksen lisäämisellä ei voitu nostaa satotasoa.

Taulukko 5. Rikkakasvien torjunnan saaneiden koejäsenten tuotantofunktiot, selitysasteet ja havaintojen lukumäärät.

Koepaikka	Ohran tuotantofunktio	Selitysaste	Havaintojen lukumäärä
KN 96	$y = 2126 + 53,825x - 0,1935x^2$	$R^2 0,88$	n = 15
SS 96	$y = 6215 + 3,9814x - 0,0258x^2$	$R^2 0,01$	n = 10
VK 96	$y = 5641 + 14,369x - 0,1155x^2$	$R^2 0,36$	n = 15
KN 97	$y = 1339 + 55,573x - 0,1704x^2$	$R^2 0,89$	n = 15
SS 97	$y = 3561 + 27,049x - 0,0953x^2$	$R^2 0,89$	n = 15
VK 97	$y = 3184 + 26,443x - 0,0683x^2$	$R^2 0,83$	n = 15
VK 98	$y = 2437 + 15,758x - 0,0579x^2$	$R^2 0,35$	n = 15
KN 99	$y = 1052 + 15,138x - 0,0542x^2$	$R^2 0,77$	n = 15
SS 99	$y = 1223 + 6,2494x - 0,0279x^2$	$R^2 0,62$	n = 15
SS 00	$y = 2611,7 + 48,905x - 0,1076x^2$	$R^2 0,96$	n = 15

Taulukko 6. Rikkakasvien torjunnan saaneiden koejäsenten biologiset typpilannoitus- ja sato-optimit sekä näiden koejäsenten ja vastaavien käsittelemättömien koejäsenten biologisten typpilannoitus- ja sato-optimien erot.

Koepaikka	Biologinen typpioptimi (kg/ha)	Ero käsittelemättömään (kg/ha)	Biologinen sato-optimi (kg/ha)	Ero käsittelemättömään (kg/ha)
KN 96	139	-38	5869	-405
SS 96	77	20	6369	-128
VK 96	62	-14	6088	186
KN 97	ei koealueella	----	----	----
SS 97	142	-3	5480	280
VK 97	ei koealueella	----	----	----
VK 98	136	50	3509	130
KN 99	140	-9	2109	145
SS 99	112	-34	1573	369
SS 00	ei koealueella	----	----	----

Ohrasadot vaihtelivat myös rikkakasvit torjutuilla koejäsenillä suuresti. Esimerkiksi Suur-Sarvilahdessa biologinen sato-optimi oli vuonna 1999 1 573 kiloa hehtaarilla, kun vuotta myöhemmin se oli samassa paikassa 8 169 kiloa hehtaarilla. Myös biologinen typpioptimi vaihteli varsin paljon. Alhaisin biologinen typpioptimi oli Västankvarnissa vuonna 1996 62 kg/ha ja korkein Suur-Sarvilahdessa vuonna 2000 227 kg/ha. Biologinen typpilannoitusoptimi nousi kolmessa koepaikassa koealueen suurinta lannoitustasoa (160 kg/ha) suuremmaksi. Nämä pisteet voivat olla erittäin harhaisia, joten ne on jätetty pois taulukossa 6 esitetyistä tuloksista.

Taulukossa 6 on esitetty rikkakasvien torjunnan saaneiden koejäsenten biologiset typpi- ja sato-optimit. Lisäksi taulukossa esitetään, miten nämä optimit eroavat vastaavissa paikoissa käsittelemättömiltä koejäseniltä saaduista biologisista typpilannoitus- ja sato-optimeista.

Viljan laatu vaihteli kasvinsuojeluaineilla käsittelemättömän koejäsenen tapaan melko paljon. Mallasohran laatuvaatimusten täyttäminen oli vaikeaa, sillä ainoastaan kahdessa koepaikassa kymmenestä laatuvaatimukset voitiin täyttää sekä valkuaisen että lajitteluasteen osalta. Taulukossa 7 on esitetty rikkakasvien torjunnan saaneiden koejäsenten valkuaisen muodostumista kuvaavat regressioyhtälöt, mallasohran typpirajoitteet ja yli 2,5 mm jyvien prosentuaaliset osuudet. Taulukosta voi havaita, kuinka paljon typpi vaikuttaa valkuaisen muodostumiseen eri vuosina. Vuonna 1996 Suur-Sarvilahdessa ja Västankvarnissa typpilannoitus ei käytännössä vaikuttanut valkuaispitoisuuteen, kun vuotta myöhemmin vaikutus samoilla paikoilla oli melko voimakas.

Myös lajitteluasteet vaihtelivat vuosien välillä. Esimerkiksi vuonna 1998 yli 2,5 mm jyviä oli vain 44 %, kun vuotta myöhemmin niitä oli 85 %. Kokeessa käytetty ohralajike vaihtui näitten vuosien välillä, joten eroon vaikutti monta tekijää, joiden täsmällinen erotteleminen on mahdotonta.

Taulukko 7. Rikkakasvien torjunnan saaneiden koejäsenten valkuaisista kuvaavat regressioyhtälöt, mallasohran typpirajoitteet, yli 2,5 mm jyvien osuus koko jyväsadosta sekä sadon käyttötarkoitus.

Koepaikka	Regressioyhtälö	N-lannoitus, jolla valkuainen < 11,5 %	> 2,5 mm jyvien %-osuus	Sadon käyttötarkoitus
KN 96	$y = 7,0813 + 0,0165x$ $R^2 0,73$	ei koealueella	64	rehu
SS 96	$y = 10,891 - 0,0004x$ $R^2 0,00$	ei rajoitetta	69	rehu
VK 96	$y = 10,79 - 0,0007x$ $R^2 0,00$	ei rajoitetta	60	rehu
KN 97	$y = 8,8688 + 0,0136x$ $R^2 0,80$	ei koealueella	69	rehu
SS 97	$y = 9,0918 + 0,0228x$ $R^2 0,93$	106	81	rehu
VK 97	$y = 9,2461 + 0,02x$ $R^2 0,90$	113	68	rehu
VK 98	$y = 12,264 + 0,0045x$ $R^2 0,08$	ei mahdollista	44	rehu
KN 99	$y = 11,239 + 0,027x$ $R^2 0,89$	10	85	mallas
SS 99	$y = 14,327 + 0,0118x$ $R^2 0,61$	ei mahdollista	85	rehu
SS 00	$y = 10,87 + 0,0124x$ $R^2 0,53$	51	----	mallas

Taulukon 7 tulosten perusteella voitiin määrittää kunkin koejäsenen sadolle arvo taloudellisia laskelmia varten. Taulukossa 8 on esitetty rikkakasvien torjunnan sisältäneiden koejäsenten taloudellisesti optimaaliset typpilannoitustasot, niitä vastaavat sadot ja taloudelliset ylijäämät hehtaaria kohti. Lisäksi taulukossa esitetään miten nämä lannoitus- ja satotasot sekä taloudelliset ylijäämät eroavat vastaavilta käsittelemättömiltä koejäseniltä saaduista taloudellisista typpilannoitus- ja sato-optimeista sekä ylijäämistä.

Taloudellista ylijäämää laskettaessa on otettu huomioon rikkakasvien torjunnasta aiheutuvat kustannukset. Rikkakasvien torjunnasta aiheutuvat kustannukset ovat yhteensä 25 €/ha, josta torjunta-aineen osuus on 13,40 €/ha ja urakoitsijaveloituksen osuus on 11,60 €/ha.

Taloudellinen typpioptimi vaihteli välillä 0-130 kg/ha. Kotkaniemen vuoden 1999 ja Suur-Sarvilahden sato täytti sekä mallas- että rehuohran laatuvaatimukset, joten niistä laskettiin taloudelliset ylijäämät kummallekin vaihtoehdolle. Kotkaniemessä valkuaispitoisuuden nopea kasvu lannoituksen myötä rajasi mallasohran suurimmaksi mahdolliseksi typpitasoksi 10 kg/ha. Tällä typpimäärällä sato jäi niin alhaiseksi, että rehuohran ilman rajoitteita lasketun taloudellisen optimipisteen antama taloudellinen ylijäämä nousi kolme euroa suuremmaksi. Myös Sarvilahdessa mallasohran sato jäi vuonna 2000 valkuaisrajoitteen vuoksi rehuohraa alhaisemmaksi. Siitä huolimatta mallasohran korkeampi hinta nosti sen antaman taloudellisen ylijäämän seitsemän euroa rehuohran antamaa ylijäämää suuremmaksi, ollen 494 €/ha. Rikkakasvien torjunnan sisältäneen koejäsenen antama taloudellinen ylijäämä ei ollut yhdessäkään koejäsenessä paras tutkituista käsittelyvaihtoehdoista.

Rikkakasvien torjunnan sisältäneiden koejäsenten taloudelliset sato-optimit eroavat hieman vastaavista käsittelemättömistä optimipisteistä. Useimmissa tapauksissa taloudellinen ylijäämä jäi käsittelemättömältä alemmaksi. Suurimmillaan taloudellinen ylijäämä jäi käsittelemättömän ylijäämää pienemmäksi Suur-Sarvilahdessa vuonna 1997, jolloin eroksi jäi

Taulukko 8. Rikkakasvien torjunnan sisältäneiden koejäsenten taloudelliset typpiannoitus- ja sato-optimit sekä ylijäämät, sekä näiden koejäsenten ja vastaavien käsittelemättömien koejäsenten taloudellisten optimipisteiden erot.

Koepaikka	Taloudellinen typpi-optimi(kg/ha)	Ero käsittelemättömään(kg)	Taloudellinen sato-optimi (kg/ha)	Ero käsittelemättömään (kg)	Taloudellinen ylijäämä(€/ha)	Ero käsittelemättömään (€)
KN 96	110	-3	5702	-321	362	-30
SS 96	0	0	6215	-65	516	-30
VK 96	13	-32	5808	79	467	13
KN 97	130	-1	5680	-183	341	-40
SS 97	82	5	5141	327	341	-154
VK 97	110	9	5269	87	433	67
VK 98	38	38	2950	-315	160	-124
KN 99	38	7	1547	-107	72	-35
SS 99	0	0	1223	177	81	-10
SS 00	51	-9	4826	-111	494	-29

154 €/ ha. Samana vuotena Västankvarnissa rikkakasvien torjunnan antama taloudellinen ylijäämä taas oli 67 €/ha käsittelemättömää suurempi.

7.3 Rikkakasvien ja kasvitautien torjunnan sisältäneet koejäsenet

Rikkakasvien ja kasvitautien torjunnan saaneita koejäseniä oli aiemmin esitettyjen koejäsenten tapaan yhteensä kymmenen kappaletta. Taulukossa 9 on esitetty rikkakasvien- ja kasvitautien torjunnan saaneiden koejäsenten tuotantofunktiot ja selitysasteet.

Rikkakasvien ja kasvitautien torjunnan saaneiden koejäsenten tuotantofunktioiden selitysasteet vaihtelevat vähemmän verrattuna käsittelemättömien ja pelkän rikkakasvien torjunnan saaneiden koejäsenten tuotantofunktioiden selitysasteet. Alimmillaan tämän koejäsenen selitysaste jäi 0,13:aan vuonna 1996 Suur-Sarvilahdessa. Syy tähän on sama kuin kahdessa aikaisemmassakin tapauksessa, eli lannoituksella ei ollut vaikutusta satotasoon. Tämä voidaan hyvin havaita tarkastelemalla liitteessä 5 esitettyjä tuotantofunktioiden kuvaajia. Niistä voidaan myös havaita lannoituksen voimakas vaikutus sadonmuodostukseen Kotkaniemessä vuosina 1996 ja 1997 sekä Suur-Sarvilahdessa vuonna 2000. Näiden kolmen tuotantofunktioiden selitysasteet olivat korkeita, 0,92, 0,94 ja 0,98.

Taulukko 9. Rikkakasvien ja kasvitautien torjunnan saaneiden koejäsenten tuotantofunktiot, selityksasteet ja havaintojen lukumäärät.

Koepaikka	Ohran tuotantofunktio	Selityksaste	Havaintojen lukumäärä
KN 96	$y = 1886 + 65,974x - 0,2283x^2$	$R^2 0,94$	n = 15
SS 96	$y = 7314 + 2,9982x - 0,0374x^2$	$R^2 0,13$	n = 10
VK 96	$y = 6048 + 18,557x - 0,1401x^2$	$R^2 0,34$	n = 15
KN 97	$y = 1110 + 72,62x - 0,243x^2$	$R^2 0,92$	n = 15
SS 97	$y = 3653 + 19,464x - 0,0491x^2$	$R^2 0,80$	n = 15
VK 97	$y = 3851 + 28,762x - 0,096x^2$	$R^2 0,56$	n = 15
VK 98	$y = 3745 + 13,212x - 0,0497x^2$	$R^2 0,50$	n = 15
KN 99	$y = 897 + 26,681x - 0,1029x^2$	$R^2 0,57$	n = 15
SS 99	$y = 1365 + 4,1655x - 0,0155x^2$	$R^2 0,52$	n = 15
SS 00	$y = 2878 + 48,55x - 0,0899x^2$	$R^2 0,98$	n = 15

Taulukossa 10 on esitetty rikkakasvien ja kasvitautien torjunnan saaneiden koejäsenten biologiset optimipisteet. Taulukon luvuista huomataan, että typpi-optimi oli alimmillaan Kotkaniemessä vuonna 1996 eli 33 kiloa vastaavaa käsittelemättömän typpi-optimia pienempi. Biologiset sato-optimi ovat typpi-optimista poiketen jokaisessa koepaikassa vastaavaa käsittelemättömyyden suurempia. Pienimmillään ero oli 355 kg/ha Västankvarnissa vuonna 1997. Suurimmillaan ero oli samassa paikassa vuotta myöhemmin 1 244 kg/ha. Biologiset typpilannoitus-optimi nousivat koeluetta suuremmiksi Suur-Sarvilahdessa vuosina 1997 ja 2000. Nämä optimi voivat olla harhaisia ja ne jätettiin pois.

Viljan laatuanalyysit poikkeavat hieman käsittelemättömyyden ja pelkän rikkakasvien torjunnan saaneista koejäsenistä. Kasvitautien torjunnalla voitiin parantaa lajitteluasteita siinä

Taulukko 10. Rikkakasvien ja kasvitautien torjunnan saaneiden koejäsenten biologiset typpilannoitus- ja sato-optimi sekä näiden koejäsenten ja vastaavien käsittelemättömien koejäsenten biologisten typpilannoitus- ja sato-optimien erot.

Koepaikka	Biologinen typpi-optimi (kg/ha)	Ero käsittelemättömyyden (kg/ha)	Biologinen sato-optimi (kg/ha)	Ero käsittelemättömyyden (kg/ha)
KN 96	144	-33	6652	378
SS 96	40	-17	7374	877
VK 96	66	-10	6662	760
KN 97	149	-15	6536	485
SS 97	ei koelueella	----	----	----
VK 97	150	-3	6005	355
VK 98	133	47	4623	1244
KN 99	130	-19	2627	663
SS 99	134	-12	1645	441
SS 00	ei koelueella	----	----	----

Taulukko 11. Rikkakasvien ja kasvitautien torjunnan saaneiden koejäsenten valkuaispitoisuutta kuvaavat regressioyhtälöt, mallasohran typpirajoitteet, yli 2,5 mm jyvien osuus koko jyväsadosta sekä sadon käyttötarkoitus.

Koepaikka	Regressioyhtälö		N-lannoitus, jolla valkuainen < 11,5%	> 2,5 mm jyvien %-osuus	Sadon käyttötarkoitus
KN 96	$y = 7,15 + 0,0134x$	$R^2 0,55$	ei koealueella	82	rehu
SS 96	$y = 10,823 - 1E-04x$	$R^2 0,00$	ei rajoitetta	79	rehu
VK 96	$y = 10,757 - 0,0009x$	$R^2 0,00$	ei rajoitetta	78	rehu
KN 97	$y = 9,01 + 0,0087x$	$R^2 0,36$	ei koealueella	85	mallas
SS 97	$y = 9,1017 + 0,0229x$	$R^2 0,97$	105	85	mallas
VK 97	$y = 8,8363 + 0,0234x$	$R^2 0,86$	114	80	rehu
VK 98	$y = 11,276 + 0,0117x$	$R^2 0,63$	19	70	rehu
KN 99	$y = 11,261 + 0,0243x$	$R^2 0,79$	10	86	mallas
SS 99	$y = 14,27 + 0,0129x$	$R^2 0,79$	ei mahdollista	86	rehu
SS 00	$y = 10,414 + 0,0138x$	$R^2 0,56$	79	---	mallas

määrin, että vuonna 1997 sekä Kotkaniemen että Suur-Sarvilahden sadot kelpaavat mallasohraksi rajoitetulla typpilannoituksella. Lajitteluasteet vaihtelivat vuosien välillä vähemmän verrattuna käsittelemättömässä tai pelkän rikkakasvien torjunnan saaneissa koejäsenissä. Mallasohran valkuaispitoisuus vaatimukset täyttävän typpilannoituksen taso vaihteli tässäkin koejäsenessä erittäin paljon käsittelemättömän ja pelkän rikkakasvien torjunnan saaneiden koejäsenten tapaan.

Taulukon 11 tulosten perusteella määriteltiin kunkin koejäsenen sadolle arvo taloudellisia laskelmia varten. Määrittelyssä käytettiin samoja perusteita kuin edellä mainituissa koejäsenissä. Myös rikkakasvien- ja kasvitautien torjunnan sisältäneiden koejäsenten taloudellisesti optimaaliset typpilannoitustasot vaihtelivat vuosittain melko paljon. Alimmillaan optimipiste on Suur-Sarvilahdessa vuosina 1996 ja 1999, jolloin taloudellinen optimi oli nolla kiloa. Ylimmillään optimipiste oli Kotkaniemessä 132 kg/ha vuonna 1997. Valkuaisrajoite määräsi taloudellisen typpioptimin Suur-Sarvilahdessa vuosina 1997 ja 2000 sekä Kotkaniemessä vuonna 1999. Taulukossa 12 on esitetty rikkakasvien ja tautien torjunnan sisältäneiden koejäsenten taloudellisesti optimaaliset typpilannoitustasot, niitä vastaavat sadot ja taloudelliset ylijäämät hehtaaria kohti. Lisäksi taulukossa esitetään näitten kaikkien pisteiden ero vastaviin käsittelemättömien koejäsenten pisteisiin.

Taulukosta 12 havaitaan, että taloudellisesti optimaalinen typpilannoitustaso eroaa vastaavasta käsittelemättömän optimista huomattavasti. Typpioptimi oli suurimmillaan 43 kg/ha käsittelemättömästä suurempi Kotkaniemessä vuonna 1999. Västankvarnissa vuonna 1996 vastaava optimipiste oli 19 kiloa vastaavaa käsittelemättömästä pienempi. Taloudellinen sato-optimi oli jokaisessa paikassa käsittelemättömästä suurempi. Pienimmillään ero oli Västankvarnissa 312 kg/ha vuonna 1997. Suurimmillaan ero oli Suur-Sarvilahdessa vuonna 2000, jolloin satoero oli 1 215 kg/ha.

Taulukko 12. Rikkakasvien ja kasvitautien torjunnan sisältäneiden koejäsenten taloudelliset typpi-lannoitus- ja sato-optimit sekä ylijäämät sekä näiden koejäsenten ja vastaavien käsittelemättömien koejäsenten taloudellisten optimipisteiden erot.

Koepaikka	Taloudellinen typpioptimi (kg/ha)	Ero käsittelemättömään (kg/ha)	Taloudellinen sato-optimi (kg/ha)	Ero käsittelemättömään (kg/ha)	Taloudellinen ylijäämä (€/ha)	Ero käsittelemättömään (€/ha)
KN 96	120	-13	6510	487	366	-26
SS 96	0	0	7314	1034	554	8
VK 96	26	-19	6431	702	452	-2
KN 97	132	1	6463	600	550	169
SS 97	105	28	5155	341	422	-73
VK 97	91	-10	5668	312	321	-45
VK 98	18	18	3972	707	263	-21
KN 99	74	43	2312	1145	45	-62
SS 99	0	0	1365	319	37	-54
SS 00	79	19	6152	1215	566	43

Vaikka rikkakasvien ja kasvitautien torjunnalla voitiin nostaa satotasoa, ei tämä ero kuitenkaan useimmissa tapauksissa riittä kattamaan kasvinsuojelutoimenpiteistä syntyviä kustannuksia, jotka muodostuivat ainekustannuksista (yhteensä 58,90 €/ha) sekä urakoitsijaveloituksesta (yhteensä 23,2 €/ha). Suurimmillaan taloudellinen ylijäämä jäi 73 €/ha käsittelemättömää pienemmäksi Suur-Sarvilahdessa vuonna 1997. Samana vuonna Kotkaniemessä taloudellinen ylijäämä nousi peräti 169 €/ha käsittelemättömää suuremmaksi. Tähän oli syynä se, että näillä kasvinsuojelukäsittelyillä ohran lajitteluaste parani niin paljon, että sato kelpasi mallasohraksi. Mallasohran korkeampi hinta nosti taloudellisen ylijäämän käsittelemättömää suuremmaksi. Rikkakasvien- ja kasvitautien antama taloudellinen ylijäämä oli paras Suur-Sarvilahdessa vuosina 1996 ja 2000.

7.4 Rikkakasvien ja laon torjunnan sisältäneet koejäsenet

Rikkakasvien ja laon torjunnan saaneita koejäseniä oli aiemmin esitettyjen koejäsenten tapaan yhteensä kymmenen kappaletta. Taulukossa 13 on esitetty rikkakasvien- ja kasvitautien torjunnan saaneiden koejäsenten tuotantofunktiot, selitysasteet ja havaintojen lukumäärät.

Rikkakasvien ja laon torjunnan saaneiden koejäsenten tuotantofunktioiden selitysasteet vaihtelevat vuosien ja paikkojen välillä melko paljon. Alimmillaan tämän koejäsenen selitysaste jäi 0,17:aan vuonna 1998 Västankvarnissa. Syinä alhaiseen selitysasteeseen ovat havaintopisteiden suuri hajonta sekä lannoituksen pieni vaikutus satotasoon. Korkeimmillaan selitysaste nousi 0,97:ään Suur-Sarvilahdessa vuonna 2000. Silloin lannoituksella oli voimakas vaikutus sadonmuodostukseen.

Taulukko 13. Rikkakasvien ja laon torjunnan saaneiden koejäsenten tuotantofunktiot, selityksasteet ja havaintojen lukumäärät

Koepaikka	Ohran tuotantofunktio	Selityksaste	Havaintojen lukumäärä
KN 96	$y = 2086,5 + 46,876x - 0,1495x^2$	R^2 0,90	n = 15
SS 96	$y = 6667,7 + 8,1154x - 0,0685x^2$	R^2 0,49	n = 10
VK 96	$y = 5503,2 + 18,862x - 0,1529x^2$	R^2 0,61	n = 15
KN 97	$y = 1141,4 + 62,937x - 0,2055x^2$	R^2 0,95	n = 15
SS 97	$y = 3719,4 + 15,927x - 0,0399x^2$	R^2 0,83	n = 15
VK 97	$y = 3277,7 + 30,301x - 0,0869x^2$	R^2 0,91	n = 15
VK 98	$y = 3140,1 + 5,9765x - 0,0173x^2$	R^2 0,17	n = 15
KN 99	$y = 1025,3 + 18,208x - 0,0587x^2$	R^2 0,87	n = 15
SS 99	$y = 1289,8 + 6,2864x - 0,0307x^2$	R^2 0,69	n = 15
SS 00	$y = 2785,3 + 48,151x - 0,0917x^2$	R^2 0,97	n = 15

Biologiset typpi-optimi vaihtelivat käsittelemättömien optimipisteiden molemmin puolin. Suurimmat erot olivat Västankvarnissa vuonna 1998 ja Suur-Sarvilahdessa vuonna 1999. Vuonna 1996 sato-optimi jäi Kotkaniemessä 513 kiloa käsittelemättömästä pienemmäksi eli 5 761 kiloon. Vuotta myöhemmin sato-optimi jäi samassa paikassa 91 kiloa käsittelemättömästä pienemmäksi, 5 690 kiloon. Suurimmillaan sato-optimi nousi käsittelemättömästä suuremmaksi Suur-Sarvilahdessa vuonna 2000, jolloin optimi oli 617 kiloa käsittelemättömästä suurempi eli peräti 9 106 kg/ha. Vuotuinen satovaihtelu oli tässäkin koejäsenessä varsin suurta. Esimerkiksi Suur-Sarvilahdessa biologinen sato-optimi oli vuonna 1999 vain 1 611 kg/ha, kun se seuraavana vuotena oli lähes kuusinkertainen, 9 106 kg/ha. Biologiset typpilannoituksen optimipisteet nousivat yhteensä neljässä koepaikassa koealueen suu-

Taulukko 14. Rikkakasvien ja laon torjunnan saaneiden koejäsenten biologiset typpilannoitus- ja sato-optimi sekä näiden koejäsenten ja vastaavien käsittelemättömien koejäsenbiologisten typpilannoitus- ja sato-optimien erot.

Koepaikka	Biologinen typpi-optimi (kg/ha)	Ero käsittelemättömään (kg)	Biologinen sato-optimi (kg/ha)	Ero käsittelemättömään (kg)
KN 96	157	-20	5761	-513
SS 96	59	2	6907	410
VK 96	62	-14	6085	183
KN 97	153	-11	5960	-91
SS 97	ei koealueella	----	----	----
VK 97	ei koealueella	----	----	----
VK 98	ei koealueella	----	----	----
KN 99	155	6	2437	473
SS 99	102	-44	1611	407
SS 00	ei koealueella	----	----	----

Taulukko 15. Rikkakasvien ja laon torjunnan saaneiden koejäsenten valkuaispitoisuutta kuvaavat regressioyhtälöt, mallasohran typpirajoitteet, yli 2,5 mm jyvien osuus koko jyväsadosta sekä sadon käyttötarkoitus.

Koepaikka	Regressioyhtälö	N-lannoitus, jolla valkuainen < 11,5%	> 2,5 mm jyvien %-osuus	Sadon käyttötarkoitus
KN 96	$y = 7,1468 + 0,0145x$ R^2 0,50	ei koealueella	73	rehu
SS 96	$y = 10,881 - 0,0022x$ R^2 0,02	ei rajoitetta	75	rehu
VK 96	$y = 10,787 - 0,0019x$ R^2 0,01	ei rajoitetta	65	rehu
KN 97	$y = 9,3709 + 0,0089x$ R^2 0,38	ei koealueella	75	rehu
SS 97	$y = 9,5195 + 0,0214x$ R^2 0,83	93	90	mallas
VK 97	$y = 9,3128 + 0,0184x$ R^2 0,88	119	77	rehu
VK 98	$y = 11,806 + 0,0103x$ R^2 0,48	ei mahdollista	52	rehu
KN 99	$y = 11,155 + 0,0235x$ R^2 0,83	15	85	mallas
SS 99	$y = 14,072 + 0,013x$ R^2 0,87	ei mahdollista	85	rehu
SS 00	$y = 10,699 + 0,0114x$ R^2 0,44	70	----	mallas

rimman typpilannoitustason (160 kg/ha) yläpuolelle. Nämä optimipisteet voivat olla harhaisia, joten ne on jätetty tarkastelun ulkopuolelle.

Tämänkin koejäsenen osalta kaikkien mallasohran laatuvaatimusten täyttäminen oli hankalaa. Valkuaispitoisuus vaatimus voitiin täyttää lähes poikkeuksetta. Poikkeukset olivat Västankvarn vuonna 1998 ja Suur-Sarvilahti vuonna 1999, jolloin valkuaispitoisuudet nousivat liian korkeiksi ilman lannoitustakin.

Valkuaispitoisuusvaatimusta vaikeampaa oli lajitteluastevaatimuksen täyttäminen. Jyvät jäivät yleisesti liian pieniksi. Mallasohran minivaatimuksen, 85 prosenttia yli 2,5 mm:n jyviä, täytti ainoastaan kolme tutkituista koepaikoista, Suur-Sarvilahti vuosina 1997 ja 1999 sekä Kotkaniemi vuonna 1999. Suur-Sarvilahdessa vuonna 1999 taas valkuainen nousi niin korkeaksi, että se ei kelpannut mallasohraksi. Näin ollen mallasohraksi kelpasi vain kaksi sellaista paikkaa, joista voitiin tutkia nämä molemmat ominaisuudet. Lisäksi mallasohraksi laskettiin Suur-Sarvilahden vuoden 2000 sato, josta analyysi tehtiin vain valkuaispitoisuuden pohjalta.

Taulukon 15 tulosten perusteella määritettiin kunkin koepaikan sadolle arvo taloudellisia laskelmia varten. Määrittelyssä käytettiin samoja perusteita kuin aikaisemmissakin koejäsenissä. Myös rikkakasvien ja laon torjunnan sisältäneiden koejäsenten taloudellisesti optimaaliset typpilannoitustasot vaihtelivat vuosittain melko paljon. Alimmillaan optimipiste on Suur-Sarvilahdessa vuosina 1996 ja 1999 sekä Västankvarnissa vuonna 1998, jolloin taloudellinen optimi oli nolla kiloa. Ylimmillään optimipiste oli Kotkaniemessä 125 kg/ha vuonna 1997. Valkuaisrajoite määräsi taloudellisen typpioptimin Kotkaniemessä vuonna 1999 ja Suur-Sarvilahdessa vuonna 2000. Taulukossa 16 on esitetty rikkakasvien torjunnan sisältäneiden koejäsenten taloudellisesti optimaaliset typpilannoitustasot, niitä vastaavat sadot ja taloudelliset ylijäämät hehtaaria kohti.

Taulukko 16. Rikkakasvien ja laon torjunnan sisältäneiden koejäsenten taloudelliset tyypilannoitus- ja sato-optimiit sekä ylijäämät, sekä näiden koejäsenten ja vastaavien käsittelemättömien koejäsenten taloudellisten optimipisteiden erot.

Koe- paikka	Taloudellinen tyypioptimi (kg/ha)	Ero käsittele- mättö- mään (kg)	Taloudellinen sato-optimi (kg/ha)	Ero käsittele- mättö- mään (kg)	Taloudellinen ylijäämä (€/ha)	Ero käsittele- mättö- mään (€)
KN 96	119	-14	5544	-479	313	-79
SS 96	0	0	6667	387	498	-48
VK 96	24	-21	5873	144	435	-19
KN 97	125	-6	5802	-61	329	-52
SS 97	94	17	4867	53	429	-66
VK 97	109	8	5652	296	322	-44
VK 98	0	0	3140	-125	221	-63
KN 99	15	-16	1285	118	85	-22
SS 99	0	0	1289	243	60	-31
SS 00	70	10	5706	769	552	29

Rikkakasvien ja laon torjunnan sisältäneiden koejäsenten taloudelliset sato-optimiit olivat Kotkaniemeä vuosina 1996 ja 1997 sekä Västankvarnia vuonna 1998 lukuun ottamatta vastaavia käsittelemättömiä suurempia. Lisäsadosta saatu lisätulo ei riittänyt kattamaan kasvin-
suojelutoimenpiteistä aiheutuvia kustannuksia muualla kuin Suur-Sarvilahdessa vuonna 2000. Tässä koejäsenessä kustannukset olivat yhteensä 51,8 €/ha, joka muodostuu kaksinkertaisesta urakointiveloituksesta 23,2 €/ha ja ainekustannuksista 28,6 €/ha. Rikkakasvien ja laon torjunnan antama taloudellinen ylijäämä ei ollut korkein yhdessäkään koepaikassa.

Taulukko 17. Rikkakasvien, kasvitautien ja laon torjunnan saaneiden koejäsenten tuotantofunktiot, selitysasteet ja havaintojen lukumäärät

	Ohran tuotantofunktio	Selitysaste	Havaintojen lukumäärä
KN 96	$y = 2513,1 + 51,062x - 0,1631x^2$	$R^2 0,90$	n = 15
SS 96	$y = 7038,1 + 8,354x - 0,0695x^2$	$R^2 0,47$	n = 10
VK 96	$y = 6545,2 + 6,687x - 0,0656x^2$	$R^2 0,16$	n = 15
KN 97	$y = 1140,8 + 81,167x - 0,2917x^2$	$R^2 0,94$	n = 15
SS 97	$y = 3888,7 + 19,133x - 0,0507x^2$	$R^2 0,78$	n = 15
VK 97	$y = 3310,2 + 43,751x - 0,1437x^2$	$R^2 0,90$	n = 15
VK 98	$y = 4177,2 + 12,221x - 0,0619x^2$	$R^2 0,24$	n = 15
KN 99	$y = 1086,5 + 16,006x - 0,0347x^2$	$R^2 0,59$	n = 15
SS 99	$y = 1274,1 + 6,44x - 0,0233x^2$	$R^2 0,72$	n = 15
SS 00	$y = 3046,9 + 45,923x - 0,0774x^2$	$R^2 0,96$	n = 15

7.5 Rikkakasvien, kasvitautien ja laon torjunnan sisältäneet koejäsenet

Rikkakasvien, kasvitautien ja laon torjunnan saaneet koejäsenet olivat kaikkein monipuolisimmin käsitellyt koejäsenet. Näistäkin koejäsenistä estimoitiin aiemmin esitettyjen koejäsenten tapaan yhteensä kymmenen tuotantofunktiota. Taulukossa 17 on esitetty rikkakasvien, kasvitautien ja laon torjunnan saaneiden koejäsenten tuotantofunktiot, havaintojen lukumäärät ja selitysasteet.

Tämänkin koejäsenen tuotantofunktioiden selitysasteet vaihtelivat melko paljon. Heikoin selitysaste oli Västankvarnissa vuonna 1996, jolloin R^2 oli 0,16. Syynä huonoon selitysasteeseen oli jälleen se, että lannoituksen lisäyksellä ei ollut vaikutusta satotasoon. Samanlaisia piirteitä voidaan havaita myös Suur-Sarvilahdessa vuonna 1996 ja Västankvarnissa vuonna 1998. Korkeimmillaan selitysasteet nousivat yli 0,90:n Kotkaniemessä vuosina 1996 (R^2 0,90) ja 1997 (R^2 0,94), Västankvarnissa vuonna 1997 (R^2 0,90) ja Suur-Sarvilahdessa vuonna 2000, jolloin selitysaste oli 0,96.

Biologiset typpilannoituksen optimipisteet vaihtelivat varsin paljon. Alimmillaan biologinen typpioptimi oli 51 kg/ha ja suurimmillaan 297 kg/ha. Optimipisteet erosivat näidenkin koejäsenten osalta vastaaviin käsittelemättömiin nähden jokaisessa koepaikassa. Pienimmillään ero on vain muutamia kiloja suuntaan tai toiseen. Suurimmillaan ero oli Kotkaniemessä vuonna 1999, jolloin optimipiste oli 82 kiloa käsittelemättömää suurempi eli 231 kg/ha. Taulukossa 18 on esitetty rikkakasvien, kasvitautien ja laon torjunnan saaneiden koejäsenten biologiset optimipisteet sekä näiden pisteiden erot vastaaviin käsittelemättömien koejäsenten optimipisteisiin.

Taulukko 18. Rikkakasvien, kasvitautien ja laon torjunnan saaneiden koejäsenten biologiset typpilannoitus- ja sato-optimi sekä näiden koejäsenten ja vastaavien käsittelemättömien koejäsenten biologisten typpilannoitus- ja sato-optimien erot.

Koepaikka	Biologinen typpioptimi (kg/ha)	Ero käsittelemättömään (kg)	Biologinen sato-optimi (kg/ha)	Ero käsittelemättömään (kg)
KN 96	157	-20	6510	236
SS 96	60	3	7289	792
VK 96	51	-25	6715	813
KN 97	139	-25	6786	735
SS 97	ei koealueella	----	----	----
VK 97	152	-1	6640	990
VK 98	99	13	4780	1401
KN 99	ei koealueella	----	----	----
SS 99	138	-8	1719	515
SS 00	ei koealueella	----	----	----

Taulukko 19. Rikkakasvien, kasvitautien ja laon torjunnan saaneiden koejäsenten valkuaispitoisuutta kuvaavat regressioyhtälöt, mallasohran typpirajoitteet, yli 2,5 mm jyvien osuus koko jyväsadosta sekä sadon käyttötarkoitus.

Koepaikka	Regressioyhtälö	N-lannoitus, jolla valkuainen < 11,5 %	> 2,5 mm jyvien %-osuus	Sadon käyttötarkoitus
KN 96	$y = 6,8943 + 0,0187x$ $R^2 0,81$	ei koealueella	81	rehu
SS 96	$y = 11,067 - 0,0017x$ $R^2 0,01$	ei rajoitetta	82	rehu
VK 96	$y = 10,926 - 0,002x$ $R^2 0,01$	ei rajoitetta	72	rehu
KN 97	$y = 8,4722 + 0,0144x$ $R^2 0,68$	ei koealueella	85	mallas
SS 97	$y = 9,6984 + 0,0207x$ $R^2 0,88$	87	89	mallas
VK 97	$y = 8,8535 + 0,021x$ $R^2 0,90$	126	87	mallas
VK 98	$y = 11,15 + 0,0115x$ $R^2 0,69$	30	71	rehu
KN 99	$y = 11,913 + 0,0193x$ $R^2 0,72$	ei mahdollista	85	rehu
SS 99	$y = 14,375 + 0,0104x$ $R^2 0,76$	ei mahdollista	85	rehu
SS 00	$y = 10,637 + 0,0127x$ $R^2 0,52$	68	---	mallas

Biologisten sato-optimien vuotuinen vaihtelu oli suurta. Pienimmillään biologinen sato-optimi oli Suur-Sarvilahdessa 1 719 kg/ha vuonna 1999. Suurimmillaan sato-optimi oli samassa paikassa vuonna 2000, peräti 9 858 kg/ha. Rikkakasvien, kasvitautien ja laon torjunnan saaneiden koejäsenten biologiset sato-optimit olivat jokaisessa koepaikassa vastaavia käsittelemättömiä korkeampia. Pienimmillään satoero oli Kotkaniemessä vuonna 1996, jolloin biologinen sato-optimi oli 236 kiloa käsittelemätöntä suurempi eli 6 510 kg/ha. Rikkakasvien, kasvitautien ja laon torjunnan saaneista koejäsenistä tehtiin samanlaiset laatuanalyysit talouslaskelmien pohjaksi kuin muillekin koejäsenille. Mallasohran laatuvaatimusten täyttäminen samanaikaisesti sekä valkuaisen että lajitteluasteiden osalta oli yhtä vaikeaa kuin muissakin koejäsenissä. Taulukossa 19 on esitetty rikkakasvien, kasvitautien ja laon torjunnan saaneiden koejäsenten laatuanalyysit.

Taulukon 19 tulosten perusteella mallasohran valkuaisvaatimus oli mahdollista täyttää Kotkaniemeä ja Suur-Sarvilahtea lukuun ottamatta kaikissa koepaikoissa vuonna 1999. Suurin mahdollinen typpimäärä tosin vaihteli varsin paljon. Alimmillaan typpilannoitus mallasohralaadun saavuttamiseksi jäi Västankvarnissa vuonna 1998, jolloin tyyppiä olisi voinut antaa vain 30 kg/ha. Kyseisenä vuotena pieni jyväkoko pudotti sadon rehuohraksi. Vuonna 1996 Suur-Sarvilahdessa ja Västankvarnissa typpilannoitus ei rajoittanut mallasohran laatuvaatimusten täyttämistä, mutta lajitteluasteet jäivät näissäkin paikoissa liian huonoiksi. Vuonna 1997 jokaisella koepaikalla saavutettiin varsin hyvät lajitteluasteet, sillä yli 2,5 mm jyvien osuus nousi 85-89 %. Typpilannoituskin sai olla varsin korkea, 87-210 kg/ha, ilman että valkuainen olisi noussut yli 11,5 %:n.

Taulukon 19 tulosten perusteella määriteltiin kunkin koepaikan sadolle arvo taloudellisia laskelmia varten. Taulukossa 20 on esitetty rikkakasvien torjunnan sisältäneiden koejäsenten taloudellisesti optimaaliset typpilannoitustasot, niitä vastaavat sadot ja taloudelliset ylijää-

mät hehtaaria kohti. Lisäksi taulukossa esitetään näitten kaikkien pisteiden ero vastaaviin käsittelemättömien koejäsenten pisteisiin

Rikkakasvien, kasvitautien ja laon torjunnan sisältäneiden koejäsenten taloudellisesti optimaaliset typpilannoitustasot vaihtelivat vuosittain muiden koejäsenten tapaan melko paljon. Alimmillaan taloudellisesti optimaalinen lannoitus jäi nolnaan kiloon Suur-Sarvilahdessa vuosina 1996 ja 1999 sekä Västankvarnissa vuonna 1996. Korkein taloudellisesti optimaalinen typpilannoitustaso oli 125 kg/ha Kotkaniemessä vuonna 1997.

Taloudellisesti optimaaliset typpilannoitustasot erosivat vastaaviin käsittelemättömien koejäsenten optimipisteisiin nähden lähes jokaisessa koepaikassa. Suurimmillaan ero oli Västankvarnissa vuonna 1996, jolloin ero oli 45 kg/ha. Suur-Sarvilahdessa vuosina 1996 ja 1999 taloudellinen optimilannoitus oli sama kuin käsittelemättömissä, 0 kg/ha. Taloudelliset sato-optimit olivat jokaisessa koepaikassa vastaavia käsittelemättömiä suurempia. Suurimmillaan satoero oli 1 162 kg/ha Västankvarnissa vuonna 1997. Pienin ero oli Suur-Sarvilahdesavuonna 1999, 228 kg/ha. Suurin osa satoeroista oli suuruusluokaltaan 800 kilon molemminpuolin. Satotason nousu ei aina riittänyt kattamaan kasvinsuojelusta aiheutuneita kustannuksia. Parhaimmat tulokset saavutettiin vuonna 1997. Silloin rikkakasvien-, kasvitautien- ja laon torjunnan saaneiden koejäsenten sadot täyttivät mallasohran laatuvaatimukset, kun taas käsittelemättömien koejäsenten sadot olivat laadultaan rehuviljaa. Lisäkiloista ja laadun paranemisesta saadut lisätuotot olivat niin suuret, että taloudelliset ylijäämät nousivat 84-192 €/ha vastaavia käsittelemättömiä suuremmiksi. Vuoden 1997 lisäksi vain Västankvarnissa vuonna 1996 taloudellinen ylijäämä oli käsittelemättömiä suurempi. Kaikissa edellä mainituissa paikoissa rikkakasvien-, kasvitautien- ja laon torjunnan sisältäneiden koejäsenten antama taloudellinen ylijäämä oli kaikkein suurin. Kaikissa muissa paikoissa rikkakasvien-,

Taulukko 20. Rikkakasvien, kasvitautien ja laon torjunnan sisältäneiden koejäsenten taloudelliset typpilannoitus- ja sato-optimit sekä ylijäämät sekä näiden koejäsenten ja vastaavien käsittelemättömien koejäsenten taloudellisten optimipisteiden erot.

Koe- paikka	Taloudellinen typpioptimi (kg/ha)	Ero käsitte- lemättömään (kg)	Taloudellinen sato-optimi (kg/ha)	Ero käsitte- lemättömään (kg)	Taloudellinen ylijäämä (€/ha)	Ero käsitte- lemättömään (€)
KN 96	122	-11	6311	288	331	-61
SS 96	0	0	7038	758	515	-31
VK 96	0	-45	6545	816	472	18
KN 97	125	-6	6726	863	573	192
SS 97	87	10	5169	355	427	84
VK 97	123	22	6518	1162	550	184
VK 98	7	7	4257	992	266	-18
KN 99	67	36	1999	832	11	-96
SS 99	0	0	1274	228	14	-77
SS 00	68	8	5811	874	521	-2

Taulukko 21. Satunnaiskertoiminen regressiomalli, jossa kaikki käsiteltyjen koejäsenten parametrit eroavat käsittelemättömän koejäsenen parametrissa, parametrien keskivirheet, vapausasteet, t-arvot ja merkitsevyystasot.

Parametri	Estimaatti	Keskivirhe	Vapausaste	T-arvo	Merkitsevyys
A	2902,88	488,12	9	5,95	0,0002
Rikat	45,1945	121,50	683	0,37	0,7100
Rikat+taudit	354,71	121,50	683	2,92	0,0036
Rikat+lako	158,65	121,50	683	1,31	0,1921
Rikat+lako+taudit	495,98	121,50	683	4,08	<0,0001
B	25,9467	6,7028	9	3,87	0,0038
Rikat	0,8748	3,2481	683	0,27	0,7878
Rikat+taudit	4,3923	3,2481	683	1,35	0,1767
Rikat+lako	0,1465	3,2481	683	0,05	0,9640
Rikat+lako+taudit	3,1492	3,2481	683	0,97	0,3326
C	-0,09018	0,02309	9	-3,91	0,0036
Rikat	-0,00254	0,01954	683	-0,13	0,8966
Rikat+taudit	-0,01616	0,01954	683	-0,83	0,4087
Rikat+lako	0,000467	0,01954	683	0,02	0,9810
Rikat+lako+taudit	-0,00777	0,01954	683	-0,40	0,6912

kasvitautilien- ja laon torjunnan saaneiden koejäsenten ylijäämät jäivät käsittelemättömien koejäsenten ylijäämiä pienemmiksi.

Pienimmillään ero oli Suur-Sarvilahdessa vuonna 2000, jolloin ylijäämä oli vain kaksi euroa vastaavaa käsittelemättömän ylijäämää pienempi eli 521 €/ha. Suurimmillaan ero oli Kotkaniemessä vuonna 1999, jolloin ero käsittelemättömän ylijäämään oli 96 €/ha.

7.6 Yhdistetyt mallit

Aieistosta estimoitiin kolme satunnaiskertoimista regressiomallia, joissa jokin kasvinsuojelukäsittelyistä oli yhdistetty käsittelemättömän kanssa samaan analyysiin. Regressiomallilla tutkittiin, eroavatko käsiteltyjen koejäsenten tuotantofunktioiden vakioparametri a ja kerroinparametrit b ja c tilastollisesti merkitsevästi käsittelemättömän koejäsenen parametreista. Ensimmäisessä mallissa oletettiin, että kaikki parametrit eroavat kokeesta toiseen. Taulukossa 21 on esitetty käsittelemättömien koejäsenten funktion parametrit sekä käsiteltyjen koejäsenten parametrien erot käsittelemättömiin, niiden keskivirheet, vapausasteet, t-arvot sekä merkitsevyystasot.

Taulukosta 21 voidaan havaita muutamia varsin merkittäviä asioita. Ensinnäkin rikkakasvien-, kasvitautilien- ja laon torjunnan sisältäneen koejäsenen vakioparametri (parametri A) eroaa tilastollisesti erittäin merkitsevästi käsittelemättömän parametrissa. Rikkakasvien- ja tautien torjunnan sisältäneen koejäsenen vakioparametri eroaa käsittelemättömästä tilastolli-

Taulukko 22. Satunnaiskertoiminen regressiomalli, jossa vain vakioparametrin arvo poikkeaa käsitteleyden välillä, parametrien keskivirheet, vapausasteet, t-arvot ja merkitsevyystasot.

Parametri	Estimaatti	Keskivirhe	Vapausaste	T- arvo	Merkitsevyys
A	2809,36	483,87	9	5,81	0,0003
Rikat	94,1655	55,3711	691	1,70	0,0895
Rikat+taudit	565,41	55,3711	691	10,21	< 0,0001
Rikat+lako	176,08	55,3711	691	3,18	0,0015
Rikat+lako+taudit	686,50	55,3711	691	12,40	< 0,0019
B	27,6592	6,3810	9	4,33	0,0019
C	-0,09538	0,01950	9	-4,89	0,0009

sesti merkitsevästi. Pelkän rikkakasvien torjunnan tai yhdistetyn rikkakasvien- ja laontorjunnan sisältäneiden koejäsenten vakioparametrit eivät eroa tilastollisesti merkitsevästi käsittelemättömästä. Parametrit B ja C taas eivät eroa missään käsittelyssä tilastollisesti merkitsevästi käsittelemättömästä koejäsenestä.

Edellisten tulosten perusteella estimoitiin malli, jossa parametri C oli vakio jokaisessa koejäsenessä, mutta parametrien A ja B oletettiin vaihtelevan käsittelyjen välillä. Tässä mallissa tilanne pysyi edellisen mallin kaltaisena. Parametri A:lla vaihtelu oli paikoin tilastollisesti erittäin merkitsevä, mutta parametri B ei edelleenkään eronnut tilastollisesti merkitsevästi käsittelemättömästä missään käsittelyssä koejäsenessä.

Näiden tulosten pohjalta estimoitiin kolmas malli, jossa parametrien B ja C oletettiin pysyvän vakiona jokaisessa käsittelyssä ja ainoastaan vakioparametrin A oletettiin vaihtelevan kasvinsuojelukäsittelyiden välillä. Taulukossa 22 on esitetty tämän mallin mukaiset käsittelemättömän koejäsenen vakioparametrin arvo, käsiteltyjen koejäsenten vakioparametrien erot käsittelemättömään parametriin nähden sekä kaikille koejäsenille yhteiset lineaarisen ja toisen asteen termien parametrit. Lisäksi taulukossa esitetään näiden parametrien keskivirheet, vapausasteet, t-arvot ja merkitsevyystasot.

Verrattaessa taulukon 22 tuloksia taulukon 21 tuloksiin voidaan havaita tiettyjä eroja. Taulukon 22 tulosten perusteella rikkakasvien- ja kasvitautien, rikkakasvien- ja laon torjunnan sekä rikkakasvien, tautien ja laon torjunnan sisältäneiden koejäsenten vakioparametrin arvo eroaa käsittelemättömästä tilastollisesti erittäin merkitsevästi. Pelkän rikkakasvien torjunnan sisältäneen koejäsenen vakioparametri ei eroa käsittelemättömästä tilastollisesti merkitsevästi. Edellä esitettyjen tulosten perusteella taulukossa 22 esitetty malli on näistä malleista paras, vaikka siihenkin sisältyy epävarmuustekijöitä. Tämän mallin mukaan kasvinsuojeluaikojen käytöllä saatu sadonlisä ei riipu lannoitustasosta.

Yhdistetyn mallin tulosten perusteella lannoitustasoa valittaessa ei tarvitse ottaa huomioon mahdollisesti kasvukaudella tehtäviä kasvinsuojelukäsittelyjä. Tämän mallin tulosten perusteella koko aineistoa yli kasvinsuojelukäsittelyiden ei voida yhdistää samaan malliin.

Tästä seuraa myös se, että yhdistetystä mallista ei ole mielekästä ratkaista taloudellista optima. Näin ollen yhdistetty malli ei tuo lisäinformaatiota taloudelliseen analyysiin.

8 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin typpilannoituksen ja kasvinsuojeluaineiden käytön vaikutuksia ohran viljelyn taloudelliseen tulokseen. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää koepaikoittain estimoitujen tuotantofunktioiden avulla tutkituille tuotantoteknologioille taloudellisesti optimaaliset typpilannoitustasot vuoden 2002 tuotteiden ja tuotantopanosten hinnoilla. Tutkituista teknologioista pyrittiin löytämään parhaan taloudellisen tuloksen antava teknologia. Lisäksi satunnaiskertoimisella regressiomallilla tutkittiin eri käsittelyjä saaneiden mallien ja käsittelemättömien mallien välisiä eroja. Taloudellista optima määriteltäessä otettiin myös huomioon typpilannoituksen ja kasvinsuojeluaineiden käytön vaikutukset ohran laatuun, jolloin sadolle voitiin määrittää käyttötarkoitusta vastaava hinta. Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin biologisten ja taloudellisten typpilannoituksen optimipisteiden suhteita ympäristötuen ehtoihin.

Tutkimusaineistona käytettiin Kemira Agron ja Nylands Svenska Lantbrukssällskapin yhteistyönä vuosina 1996-2000 tehdyn koesarjan tuloksia. Koejaksolle sisältyi sääoloiltaan hyvin erilaisia vuosia. Tämän johdosta satotasojen vaihtelu vuosien välillä oli suurta. Samanlaisia havaintoja ovat tehneet myös mm. Sumelius (1993) ja Bäckman (1994). Esimerkiksi käsittelemättömien koejäsenten biologiset maksimisadot vaihtelivat vuodesta riippuen 1 200-8 500 kilon välillä. Myös typpilannoituksen biologiset optimipisteet vaihtelivat samoissa koejäsenissä paljon, 57-275 kilon välillä. Myös käsitellyissä koejäsenissä näiden tekijöiden vaihtelu oli suurta, vaikkakin luvut hieman poikkesivat käsittelemättömien koejäsenten vastaavista luvuista. Korkeimmat biologiset typpilannoituksen optimitasot nousivat kokeessa käytetyn suurimman typpilannoitustason (160 kg/ha) yläpuolelle. Tämän johdosta ne voivat olla erittäin harhaisia.

Satunnaiskertoimisen regressiomallin tulosten perusteella biologisten typpioptimien olisi pitänyt olla kaikilla käsittelyillä samat, ja ainoastaan sadon määrän olisi pitänyt vaihdella. Tällä mallilla ei kuitenkaan voitu osoittaa sitä, että funktion parametrit vakioparametria lukuun ottamatta olisivat samat kaikilla käsittelyillä, vaikka tilastotestien perusteella asia niin olisi. Estimoitu malli kuvasi pitkän aikavälin tilannetta, jolloin siihen sisältyi suurta vaihtelua. Siksi oli perusteltua käyttää laskentamallia, jossa kaikkien parametrien oletettiin muuttuvan.

Kasvinsuojelukäsittelyjä sisältäneiden koejäsenten biologiset maksimisadot olivat lähes poikkeuksetta vastaavien käsittelemättömien koejäsenten maksimisatoja suurempia. Biologiset optimit olivat kuitenkin muutamissa pelkän rikkakasvien torjunnan tai yhdistetyn

rikkakasvien torjunnan ja laon torjunnan saaneissa koejäsenissä pienemmät kuin vastaavissa käsittelemättömissä koejäsenissä. Kun vielä tautien torjunta lisättiin edellisiin käsittelyihin, niin silloin jokaisen käsitellyn koejäsenen biologinen sato-optimi oli jokaisessa koepaikassa suurempi kuin vastaavan käsittelemättömän koejäsenen biologinen sato-optimi. Satunnaiskertoimisen regressiomallin mukaan käsiteltyjen koejäsenten satotasot olivat kuitenkin keskimäärin aina käsittelemätöntä suurempia.

Biologisen maksimisadon antaneet typpilannoitustasot vaihtelivat käsitellyissä koejäsenissä eri lailla kuin vastaavissa käsittelemättömissä koejäsenissä. Vaikka biologinen maksimisato oli käsitellyissä koejäsenissä suurempi kuin vastaavassa käsittelemättömässä koejäsenessä, vastaava typpioptimi saattoi olla useita kymmeniä kiloja pienempi. Tältä osin tulokset ovat epäloogisia. Tämä myös osoittaa sen, että satunnaiskertoimisen regressiomallin tulokset eivät ole riittävän luotettavat. Muidenkin parametrien kuin vakioparametrin arvot voivat vaihdella käsittelyiden välillä.

Typpilannoituksen vaikutus sadon valkuaispitoisuuteen vaihteli vuosittain varsin paljon. Esimerkiksi vuonna 1996, jolloin ohran valkuaispitoisuus oli alhainen, typpilannoitus vaikutti sadon valkuaispitoisuuteen vähän. Kyseisenä vuonna Suur-Sarvilahdessa ja Västan-kvarnissa typpilannoituksella ei ollut käytännön merkitystä sadon valkuaispitoisuuteen ja Kotkaniemessäkin tämän vaikutus oli vähäinen. Syy alhaisiin valkuaispitoisuuksiin oli kasvukauden erinomaiset kasvuolosuhteet. Kyseisenä vuonna sadot olivat varsin korkeat, jolloin kasvit käyttivät kaikki ravinteet sadonmuodostukseen. Vuonna 1999 ohran valkuaispitoisuus taas oli varsin korkea, sillä jopa lannoittamattomissa koeruuduissa viljan valkuaispitoisuus nousi niin korkeaksi, ettei vilja kelvannut mallasohraksi. Kyseinen vuosi oli erittäin kuiva ja sadot jäivät alhaisiksi. Kuivuus esti kasvien tehokkaan ravinteiden käytön alkukesällä, jolloin sadon määrään vaikuttavat komponentit muodostuvat. Tämän johdosta maahan jäi typpeä, joka oli ohran käytettävissä jyvän täyttymisvaiheessa. Tämä "ylimääräinen" typpi yhdessä maan mineraalitypen kanssa nosti siten ohran valkuaispitoisuuden mallastusta ajatellen liian korkeaksi.

Kasvinsuojelukäsittelyt vaikuttivat jyväkokoön vaihtelevasti. Pelkällä rikkakasvien tai rikkakasvien ja laontorjunnalla ei juuri ollut vaikutusta lajitteluasteisiin. Kasvitautilien torjunnan yhdistäminen edellä mainittuihin käsittelyihin lisäsi suurimpien, yli 2,5 mm jyvien osuutta. Tämä on teorian pohjalta odotettu tulos. Kasvitautilien satoa alentava vaikutus johtuu pääosin siitä, että sairas kasvi ei pysty tuottamaan täysikokoisia jyviä.

Vaikka tautien torjunta paransi lajitteluasteita, sen avulla saavutettiin mallasohran laatuvaatimukset vain vuonna 1997. Vuosina 1996 ja 1998 tautien torjunta paransi jyväkokoja, mutta sato ei silti täyttänyt ilman lajittelua mallasohran laatuvaatimuksia. Vuonna 1999 koelajikkeena ollut Saana täytti jyväkoko vaatimuksen käsittelemättömissäkin koejäsenissä. Jyväkokoön liittyvät ongelmat johtuivat olosuhteiden lisäksi lajikeominaisuuksista. Pääosa havainnoista oli Kymppi-lajikkeesta, joka on jo lähes kokonaan poistunut viljelystä. Sille on tyypillistä pieni

hyväkoko sekä tautiherkkyys. Tämän johdosta tautien torjunta auttoi kasvattamaan jyvää, mutta lajikeominaisuutta ei sillä voitu muuttaa. Monet nykyiset mallasohralajikkeet, kuten kokeen lopussa käytetty Saana, ovat ominaisuuksiltaan suurijyväisiä ja taudinkestäviä, jolloin tautientorjunnalla ei välttämättä saavuteta yhtä hyviä tuloksia.

Biologisen typpioptimin tapaan myös ohran taloudellisesti optimaalinen typpilannoitus vaihteli vuosittain ja koepaikoittain varsin paljon. Esimerkiksi käsittelemättömien koejäsenten taloudelliset typpioptimi vaihtelivat välillä 0-133 kg/ha. Taloudellinen lannoitustaso jäi nollaan kiloon käsittelemättömissä koejäsenissä yhteensä kolmessa koepaikassa. Kasvinsuojelukäsittelyitä sisältäneiden koejäsenten taloudellisesti optimaaliset typpilannoitustasot vaihtelivat eri tavoin kuin käsittelemättömien koejäsenten taloudelliset typpilannoitustasot. Kaikki taloudelliset typpilannoitustasot mahtuivat kokeessa käytettyjen typpilannoitustasojen välille, joten biologisten typpilannoitustasojen kaltaista harhaisuutta ongelmaksi ei ole. Satunnaiskertoimisen regressiomallin mukaan lannoitustasolla ei pitäisi olla eroja, joten tilanne on tässä tapauksessa samankaltainen kuin biologisissa typpioptimizeissa.

Lannoitustason suuri vuotuisvaihtelu kuvaa hyvin sitä, kuinka vaikeassa toimintaympäristössä viljelijä joutuu toimimaan. Lannoituspäätöstä tehtäessä viljelijä ei tiedä kasvukauden sääoloja, joilla on suuri vaikutus lannoitustasoon. Vaikeutta lisää edelleen se, että edellä mainitut ääripisteet saatiin samana vuonna. Tämän perusteella kasvupaikan ominaisuuksilla on sääolojen lisäksi suuri vaikutus lannoitustason optimiin, vaikkakin näiden kahden koepaikan sääolosuhteet eivät täysin samat olleetkaan. Todellisuudessa viljelijällä on käytössään lohkon viljavuustiedot ja lisäksi hän tuntee pellon viljelyhistorian. Siitä lannoitustason valintaan vaikuttavat mm. esikasvit ja mahdollinen lohkolle levitetty karjan lanta. Näiden tietojen avulla voidaan lannoitustason valintaa tarkentaa. Tässä tutkimuksessa ei ollut käytössä edellä mainittuja tietoja, joten näiden tekijöiden vaikutus lannoitustason vaihteluun jää tuntemattomaksi.

Biologisten sato-optimien tapaan myös ohran taloudellisesti optimaalinen satotaso vaihteli vuosittain varsin paljon. Esimerkiksi käsittelemättömissä koejäsenissä taloudellinen sato-optimi hehtaarilla vaihteli noin tuhannesta kilosta yli kuuteen tuhanteen kiloon. Kasvinsuojelukäsittelyitä sisältäneissä koejäsenissä vaihtelu oli suuruusluokaltaan samanlaista, vaikkakin luvut poikkesivat toisistaan. Kasvinsuojelukäsittelyjä sisältäneiden koejäsenten taloudellisesti optimaaliset satotasot erosivat vaihtelevasti verrattuna vastaaviin käsittelemättömien koejäsenten satotasoihin. Pelkän rikkakasvientorjunnan tai yhdistetyn rikkojen ja laon torjunnan sisältäneiden koejäsenten taloudellisesti optimaaliset satotasot vaihtelivat käsittelemättömien koejäsenten satotasojen molemmin puolin. Tautien torjunnan yhdistäminen edellä mainittuihin käsittelyihin aiheutti sen, että taloudellisesti optimaaliset satotasot olivat jokaisessa koepaikassa suuremmat kuin käsittelemättömien koejäsenten vastaavat satotasot. Satunnaiskertoimisen regressiomallin mukaan käsiteltyjen koejäsenten satotasot olivat kuitenkin keskimäärin aina käsittelemättömiä suurempia. Tilanne on siten sama kuin biologisissa sato-optimizeissa.

Eri tuotantoteknologioiden antamat ohran viljelyn taloudelliset ylijäämät vaihtelivat satotasojen lailla vuosittain varsin paljon. Kaikkein suurinta vaihtelu oli rikkakasvien-, kasvitautien- ja laon torjunnan sisältäneissä koejäsenissä. Alimmillaan tämän tuotantoteknologian antama taloudellinen ylijäämä jäi vain 11 euroon hehtaarilla. Suurimmillaan ylijäämä nousi tässä koejäsenessä 573 euroon hehtaarilla. Käsittelemättömässä koejäsenessä vaihtelu oli pienempää, sillä taloudellinen ylijäämä vaihteli 91 €/ha ja 546 €/ha välillä.

Parhaan ohran viljelyn taloudellisen ylijäämän antanut tuotantoteknologia vaihteli lähinnä kahden ääripään teknologian välillä. Taloudellisille ylijäämille ei kuitenkaan saatu tilastollisesti merkitseviä eroja. Tähän vaikutti osaltaan havaintopisteiden pieni lukumäärä. Paras taloudellinen ylijäämä saatiin useimmiten joko käsittelemättömästä tai rikkakasvien, kasvitautien ja laon torjunnan saaneista koejäsenistä. Lisäksi kahdessa Suur-Sarvilahden kokeessa rikkakasvien ja kasvitautien torjunta antoi parhaan taloudellisen ylijäämän. Pelkän rikkakasvien tai rikkakasvien ja laon torjunnan sisältäneiden koejäsenten antama taloudellinen ylijäämä ei noussut yhdessäkään koepaikassa kaikkein suurimmaksi.

Edellä saadut tulokset eivät kuitenkaan kerro koko totuutta rikkakasvien- ja laon torjunnan vaikutuksesta viljelyn taloudelliseen tulokseen. Tässä tutkimuksessa laskentaperusteena käytettiin pelkkää kasvinsuojelun avulla saatua sadonlisää. Tuloksia tarkasteltaessa on syytä muistaa, että näiden torjunta-aineiden käytöllä voidaan alentaa mm. korjuu- ja kuivatuskustannuksia. Rikkakasvientorjunnalla voidaan pitää kasvusto puhtaana rikkakasveista, jolloin viljan lakoontumisherkyys pienenee ja sadon korjuukosteus alenee. Kasvunsäätöiden avulla voidaan edelleen pienentää kasvustojen lakoontumisherkyyttä. Pystyn kasvuston korjuu on lakoontunutta kasvustoa nopeampaa ja lisäksi puintikosteus ja korjuutappiot ovat pystyn kasvuston korjuussa alemmat kuin pahasti lakoontuneen kasvuston korjuussa. Kustannussäästöt saattavat parantaa näiden kahden torjuntamuodon käytön edellytyksiä. Kustannussäästöt saattavat olla lisäsatoa tärkeämpi kannustin kasvinsuojeluaineiden käytölle. Rikkakasvien ja laon torjuntaan on siten suhtauduttava paremminkin satovakuutuksina.

Rikkakasvien torjunnan huonoa kannattavuutta selittää myös se, että kokeet pidettiin keskeillä normaalisti viljeltyjä peltolohkoja. Näillä lohkoilla oli suoritettu säännöllisesti rikkakasvien torjuntaruiskutukset. Tämän johdosta maan rikkakasvien siemenmäärä on pienentynyt, jolloin yksi käsittelemätön vuosi viljelykierrossa ei vaikuta kovinkaan paljon. Tilanne saattaisi muuttua, jos sama lohko jätettäisiin ruiskuttamatta useana vuotena peräkkäin. Tällöin rikkakasvien määrä nousisi, jolloin satotaso laskisi ja sadon laatu heikkenisi. Tällaisessa tilanteessa rikkakasvien torjunnasta saatava hyöty voi olla nyt tutkittua tilannetta parempi. Lisäksi rikkakasvien valtaama lohko voidaan mahdollisesti hylätä tukivalvonnassa, mikäli lohkoa ei katsota viljellyksi hyvän viljelytavan mukaisesti.

Kokeessa käytetyt ohrat olivat kaksitahoisia lajikkeita, jotka ovat useimmiten lujakortisia ja tarvitsevat harvoin kasvunsäätteitä. Tämä tekijä on osaltaan vaikuttanut siihen, että kasvun-

säädekäsittelyistä saatu hyöty oli pieni. Tähän vaikutti osaltaan myös se, että kokeessa käytetty kasvunsäätteen ainemäärä oli olosuhteista riippumatta aina sama. Ainemäärän tarkistamisella olosuhteisiin sopivaksi voidaan sekä säästää kustannuksissa että parantaa lopputulosta.

Tutkimustulosten perusteella mitään kasvinsuojelutoimenpidettä ei kannata tehdä säännön mukaisena rutiinitoimenpiteenä, vaan kasvinsuojelun tulee perustua todettuun tarpeeseen. Tarpeen suuruuden arviointi eli torjuntakynnyksen määrittäminen saattaa kuitenkin joissakin olosuhteissa olla vaikeaa. Rikkakasvien torjuntatarpeen määrittäminen onnistuu laskeamalla rikkakasvien tiheyksiä pellossa. Kasvitautilien ja laon torjunnan tarpeen määrittäminen on edellistä vaikeampaa, sillä kasvitautilien ja laon torjuntatarpeeseen vaikuttavat varsin paljon loppukasvukauden, torjuntahetkellä vielä tuntemattomat, sääolot. Torjuntatarpeeseen vaikuttaa erittäin paljon myös kasvuston kunto. Mikäli kasvukauden alku on ollut heikko ja mahdollisuudet hyvään satoon ovat jo menneet, ei torjunta ole kannattavaa. Tämä toteutui myös tutkimustuloksissa. Vuonna 1999 ankara kuivuus vei toiveet hyvästä sadosta jo alkukesällä, jolloin laon ja tautien torjunnalle ei ollut tarvetta. Vuosina 1996 ja 1997 olosuhteet olivat varsin edulliset, mikä voidaan havaita korkeista satotasoina. Näinä vuosina tautien torjunnalla saatiin hyvät tulokset. Edellä mainittujen asioiden perusteella yhtenä tutkimuksen päätavoitteena ollutta "parhaan tuotantoteknologian määrittämistä koko koejaksolle" ei voida tehdä, sillä taloudellisesti paras tuotantoteknologia vaihtelee vuosittain.

Tutkimustuloksia tulkittaessa on tärkeää muistaa kasvinviljelyn lopputulokseen vaikuttavien tekijöiden suuri lukumäärä. Tämän tutkimuksen tulokset perustuvat vain havaintoaineistona olleiden kokeiden sijoituspaikoille, käytetyille lajikkeille, koepaikkojen maalajeille, kokeessa käytetyille torjunta-aineille yms. yksittäisille osatekijöille. Kokeista saatavat tulokset saattaisivat muuttua, jos kokeet järjestettäisiin muilla paikkakunnilla ja eri maalajeilla ja jos lisäksi vaihdettaisiin lajikkeet ja kasvinsuojeluaineet. Lisäksi koeolosuhteet eroavat käytännön viljelystä mm. käytetyn työmäärän ja olosuhteiden homogeenisuuden osalta. Tämän johdosta tutkimustuloksissa saadut sato-optimiit ovat käytännön viljelyn kannalta korkeita, eikä niitä voida suoraan rinnastaa käytännön viljelyyn.

Typpilannoituksen biologiset ja taloudelliset optimipisteiden suhde ympäristötuen ehtoihin vaihtelee varsin paljon. Tutkimustulosten perusteella ympäristötuen peruslannoitustason ehdot rajoittavat biologisten maksimisatojen tavoittelua. Korkeimmillaan biologiset typpioptimiit ovat epärealistisen korkeita eli yli 250 kg/ha. Yleisimmillään biologiset typpioptimiit ovat kasvinsuojelukäsittelystä riippuen 100-150 kg/ha. On kuitenkin muistettava, ettei biologisiin maksimisatoihin tule pyrkiä, jos tavoitteena on taloudellinen toiminta.

Taloudelliset typpilannoituksen optimitasot ovat biologisia optimitasoja alempia. Muutamissa koepaikoissa taloudellinen typpilannoitusoptimi oli nolla kiloa hehtaarilla. Korkeimmillaan taloudelliset typpioptimiit olivat noin 130 kg/ha. Tämä taso on perustasoa korkeampi, mutta tarkennetussa lannoituksessa mahdollinen. Korkeimpiin typpioptimeihin pätevät samat edellä mainitut koetoiminnan ja käytännön viljelyn erot; koeaineistosta saadut optimipisteet ovat käytännön viljelyn kannalta korkeita.

Kirjallisuus

- Ansalehto, A., Jalli, H., Rytsä, E. & Virtanen, J. 2000. Ohran tasapainoinen kasvinsuojelu. 2000. Kasvinsuojeluoppaat 1. Kasvinsuojeluseura ry. 21 s.
- Bäckman, S. 1994. Ekonomiska aspekter på kvävegödslingen av vårvete i Finland: -en analys av produktionsfunktioner. Pro-gradu. Helsingfors universitet, Institutionen för Ekonomi. 60 s.
- Bäckman, S. 1996. Long – term fertilizer field trials: comparison of three mathematical response models. Agricultural and science in Finland 6: 151-160.
- Cooke, G. 1972. Fertilizing for Maximum Yield. London. 296 s.
- Debertin, D. 1986. Agricultural Production Economics. Macmillan, Cop. New York. 366 s.
- Dillon, J.L. & Anderson, J.R. 1990. The Analysis of Response in Crop and Livestock Production. Oxford. Pergamon Press. 251 s.
- Doll, J.P. & Orazem, F. 1984. Production Economics. Theory with Applications. New York, Wiley, Cop. 2nd Ed. 470 s. ISBN 0-471-87470-1.
- Erkkola, K. 2000. Uusi ase lehtilaikkutautien torjuntaan. Maatilan Pellervo 4: 48-50.
- Erviö, L-R., Vanhala, P., Kontturi, M. & Kangas, A. 1995. Kasvunsäätöiden käyttökelpoisuus rukiilla. Maatal. tutk. kesk., Tiedote 8: 1-19.
- Harvey, A. C. 1985. The Econometric Analysis of Time Series. Oxford. Philip Allan, 384 s. ISBN 0-86003-149-7.
- Heady, E. O. & Dillon, J. L. 1972. Agricultural Production Funktions. The Iowa State University Press, Ames. 667 s. Iowa. ISBN 0-8138-0080-3.
- Heikkilä, T. 1980. Typpilannoitteiden taloudellisesta käytöstä koetulosten perusteella. Maatal. tal. tutk. lait. tied. 70: 1-45.
- Heinonen, R. 1978. Kasvutekijät. Kasvinviljelyoppi 1: 9-26. Rauma. Kirjayhtymä.
- Heinonen, R. 1987. Kasvutekijät. Kasvinviljelyoppi 1: 9-26. Kirjayhtymä.
- Hårsmar, P-O. 1991. Väder och klimat. Växtodling 1: 19-43. Stockholm.
- Jalli, H., Laine, A. & Junnila, S. 2001. Syysvehnän rikkakasvien torjunta ja kasvunsäätöet ruisvehnän viljelyssä. Maatal. tutk. kesk. julkaisuja 69: 1-27.
- Johnston, J. 1972. Econometric methods. 437 s. Tokyo. Mc Graw-Hill, Fega Fusha, Cop. ISBN 0-07-085341-X.
- Junnila, T. 1987. Kevätvehnän lannoituksen kannattavuus. Maanviljelystalouden pro gradu tutkielma. Helsingin yliopiston maatalousekonomianlaitos. 77 s.
- Köppä, P. 1980. Kasvinsuojelu. Kasvinviljelyoppi 3. 1-199. Rauma. Kirjayhtymä. ISBN 951-26-1534-7.
- Laurila, I. 1992. Typpilannoituksen ekonomia. Sovellutus Suomen olosuhteisiin integraation kynnyksellä. Helsingin yliopiston taloustieteen laitoksen julkaisuja 1: 1-54.
- Lampinen, R. 1983. Mikä nyt eteen mallasohralle. Käytännön Maamies 3: 32-33.
- Lampinen, R. 2000. Mallasohran kasvinsuojelu. Ohrasta oluen synty. Käsikirja mallasohran tuottajalle: 27-31.
- Leppänen, A. & Esala, M. 1999. Keväisen mineraalityppianalyysin käyttö lannoitustarpeen ennustamiseen. Maatal.tutk.kesk.julkaisuja 65: 1-25.

- Maunula, H. 1983. Satovuosien vaihtelujen vaikutus maltaan laatuun. *Mallas ja Olut* 1: 5-16.
- MMM 2002. Hakuoppaat 2002. Saatavilla: http://www.mmm.fi/tuet/hakuoppaat/2002/HO_Sivut_48_69.pdf. (viitattu 12.3.2002).
- Mela, T. & Haapalainen, M. 1976. Hehtaarisatojen ja tärkeimpien satoon vaikuttavien tekijöiden kehitys vuosina 1956-75 ja ennuste vuoteen 1985. *Maatal.tutk.kesk. Kasvinviljelylaitos. Tiedote* 4: 1-60.
- Pulli, S. 1976. Kasvu ja kehitys. *Tuottava maa* 2: 125-129. Helsinki. Kirjayhtymä. ISBN 951-26-1245-3.
- Pärssinen, P. 1988. Veden vaikutus viljakasvien kasvuun ja viljojen sadetus. *Peltokasvien sato-fysiologia. Helsingin yliopiston kasvinviljelytieteen laitoksen julkaisuja* 17: 66-74.
- Raatikainen, M. & Raatikainen, T. 1979. Syysrukiin perustaminen, hoito ja rikkaruohojen ekologia. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 51.
- Ryhänen, M. 1996a. Maatalousyrittäjän päätöksenteko. Maatalousyrittäjien sopeutuminen EU:ssa vallitseviin hintasuhteisiin. Teoksessa: Ylätalo, M. (toim.). *Tuotanto- ja kustannusteoreettinen tarkastelu kasvinviljelyyn ja kotieläintuotantoon sovellettuna. Helsingin yliopiston taloustieteen laitoksen julkaisuja* 12: 9-23. Helsinki. Yliopistopaino. ISBN 951-45-7554-7.
- Ryhänen, M. 1996b. Tuotantomahdollisuuksien selvittäminen päätöksentekoa varten. Maatalousyrittäjien sopeutuminen EU:ssa vallitseviin hintasuhteisiin. Teoksessa: Ylätalo, M. (toim.). *Tuotanto- ja kustannusteoreettinen tarkastelu kasvinviljelyyn ja kotieläintuotantoon sovellettuna. Helsingin yliopiston taloustieteenlaitoksen julkaisuja* 12: 37-44. Helsinki. Yliopistopaino. ISBN 951-45-7554-7.
- Ryhänen, M. & Sipiläinen, T. 1996. EU-jäsenyyden vaikutus kasvintuotantoon. Maatalousyrittäjien sopeutuminen EU:ssa vallitseviin hintasuhteisiin. Teoksessa: Ylätalo, M. (toim.). *Tuotanto- ja kustannusteoreettinen tarkastelu kasvinviljelyyn ja kotieläintuotantoon sovellettuna. Helsingin yliopiston taloustieteenlaitoksen julkaisuja* 12: 45-73. Helsinki. Yliopistopaino. ISBN 951-45-7554-7.
- Saarela, I., Järvi, A., Hakkola, H. & Rinne, K. 1995. Fosforilannoituksen porraskokeet 1977 -1994. Vuosittain annetun fosforimäärän vaikutus maan viljavuuteen ja peltokasvien satoon monivuotisissa kenttäkokeissa. *Maatal.tutk.kesk.tied.* 16:1-94.
- Saarela, I., Kontturi, M. & Salo Y. 1999. Ravinteet ja lannoitus. Teoksessa: Tamminen, A., Seppänen, H. & Komulainen, M. (toim.). *Laatuviljan tuotanto. Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja no. 934:* 37-50.
- Saarela, I., Kakkonen, K. & Salo, Y. 2000. Savimaan fosforin saatavuuden parantaminen runsaalla kalkituksella sekä ruokamullan ja fosforin syvämultauksella. *Maatal. tutk.kesk. Julkaisuja* 87: 1-51.
- Seppälä, R. & Kontturi, M. 1987. Mallasohran reagointi typpilannoitukseen. *Maatal. tutk.kesk. Kasvinviljelyosasto. Tiedote* 8/87: 1-66.
- Sippola, J. 1985. Maan typpivarat ja typpilannoitus. Koetoiminta ja käytäntö.
- Somersalo, S. 1998. Suomen kasvuolosuhteiden hyväksikäytön selvittäminen mallasohran viljelyssä. *Maatal. tutk. kesk. Tietopalveluyksikkö.* 1-78.
- Somersalo, S. 2000. Ohran kasvu ja kehitys suomalaisissa oloissa. Ohrasta oluen synty. *Käsikirja mallasohran tuottajalle:* 9-10.
- Sonkkila, S. 2002. Farmer's decision-making on adjustment into the EU. *Helsingin yliopiston taloustieteenlaitoksen julkaisuja* 34. Helsinki. Yliopistopaino 106 s. ISBN 952-10-0280-8.
- Sumelius, J. 1993. A response analysis of wheat and barley to nitrogen in Finland. *Agric. Sci.Finl.* 2:465-479.

- Sumelius, J. 1998. Ekonometrian johdantokurssi. Moniste. 84 s. (Saatavissa Helsingin yliopiston taloustieteen laitokselta).
- Ting, I. 1982. Plant Physiology. Addison-Wesley publishing company. 642 s. ISBN 0-201-07406-0.
- Varis, E. 1976. Viljasatojen nousun edellytykset. Maatalous 69: 197-200.
- Vasama, P-M. & Vartia, Y. 1973. Johdatus tilastotieteeseen, osa II: 341-725. Helsinki.
- Virkki, A. 1987. Ilmasto ja sää. Teoksessa: Peltokasvin tuotannon perusteet. Varis, E. (toim.). Helsingin yliopiston kasvinviljelytieteen laitoksen julkaisuja 15: 41-93.
- Vuorinen, M. & Kangas A. 2000. Ohra. Teoksessa: Peltokasvilajikkeet. Järvi, A. & Teräväinen, H. (toim.). Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja 951: 38-44.
- Ylärinta, T. & Mäntylähti, V. 1981. Lannoitetyypen tappiot maassa. Koetoiminta ja käytäntö. 5: 17-21.
- Ylätalo, M. 1987. Maatalouden tuottavuus ja investoinnit. PTT:n julkaisuja 8: 1-94.
- Öller, L-E. 1987. Analys av ekonomiska tidserier. En fördjupande kurs i ekonometri. Helsingin yliopiston maatalousekonomian laitoksen julkaisuja 28: 1-192.

Liite 1 (1/1). Biologisten ja taloudellisten optimipisteiden laskentaesimerkit.

Biologinen typpioptimi saatiin ratkaisemalla tuotantofunktion derivaatan nollakohta, eli piste missä rajatuotos on nolla. Esimerkiksi Kotkaniemessä vuonna 1996 käsittelemättömän koejäsenen tuotantofunktio oli mallia

$$y = -0,1292x^2 + 45,736x + 2226$$

Tällöin $y' = 45,736 - 0,2584x$. Ratkaisemalla x yhtälöstä $45,736 - 0,2584x = 0$ saadaan biologinen typpioptimi.

$$x = \frac{45,736}{0,2584} \rightarrow x = 177 \text{ kg}$$

Biologinen sato-optimi saatiin sijoittamalla kyseinen tulos tuotantofunktioon.

Taloudellinen typpioptimi ratkaistiin rajatuotoksen avulla. Taloudellinen typpioptimi on siinä pisteessä, missä rajatuotto on rajakustannus. Edellistä esimerkkiä jatkamalla taloudellinen typpioptimi saatiin ratkaisemalla yhtälö

$$0,087 \text{ €} * (45,736 - 0,2584x) = 0,99 \text{ €} \longrightarrow 3,979032 - 0,0224808x = 0,99$$

$$x = \frac{0,99 - 3,979032}{-0,0224808} = 133 \text{ kg}$$

Taloudellisesti optimaalinen satotaso saatiin sijoittamalla kyseinen tulos tuotantofunktioon. Taloudellinen ylijäämä saatiin kertomalla saatu satotulos tuotteen hinnalla ja vähentämällä siitä typpilannoitteen hinta, eli typen hinta kerrottuna typpimäärällä

Liite 2 (1/1). Laskelmissa käytetyt tuotantopanosten ja tuotteiden hinnat.

Panokset:

Lannoitetyppi: Johdettu Kevätviljan Y1-seoslannoitteesta NPK: 26,2,3 ¹ .	0,99 €/kg
Rikkakasvien torjunta: Express + Super kiinnite	13,46 €/ha
Kasvunsääde: Cerone	15,14 €/ha
Tautientorjunta: Stereo ²	45,41 €/ha
Ruiskutus: Urakoitsijakustannus ³	11,60 €/ha
Rahtikustannus ⁴	0,013 €/kg

Tuotteet:

Rehuohra	0,107 €/kg
Mallasohra	0,133 €/kg

¹Lannoitteen hinta (sisältää rahdin): Jarmo Virtanen, Kemira Agro oy. Kirjallinen tiedonanto 25.2.2002.

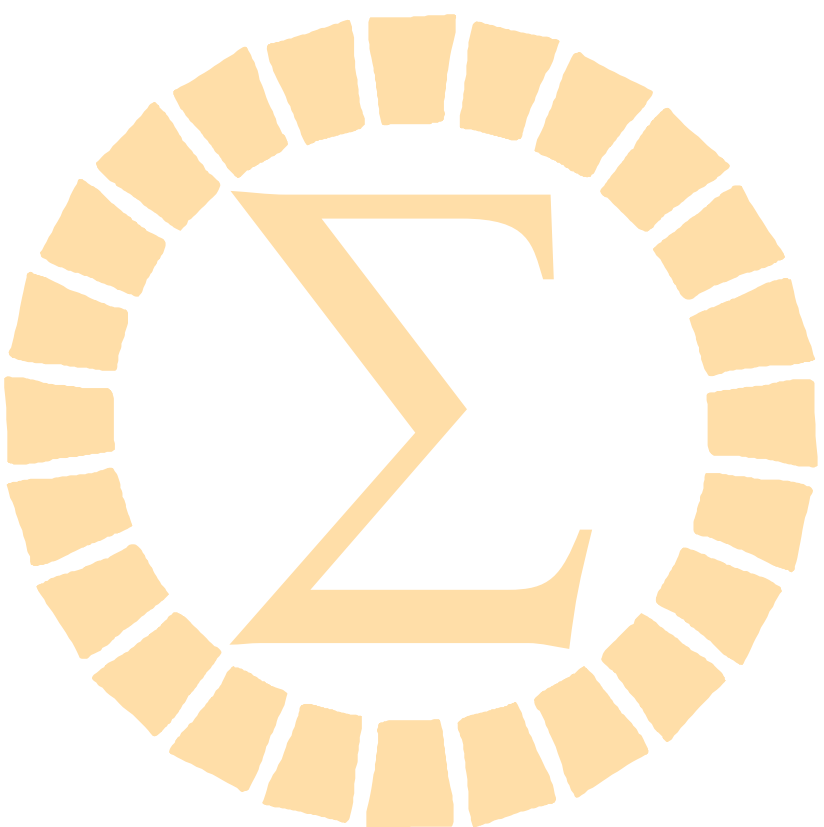
² Kasvinsuojeluaineiden hinnat: Juha Liespuu, Kemira Agro oy. Kirjallinen tiedonanto 19.2.2002.

³ Ruiskutuskustannus: Työtehoseuran Maataloustiedotteet 2001 nro. 535: Urakointihinnat ja konetyön kustannukset.

⁴ Rahtikustannus: Maaseutukeskusten Liiton maatalouskalenteri 2002, s. 156.

MTT:n selvityksiä -sarjan Talous-teeman julkaisuja

- No 7 Kröger, L. 2002. Osallistuva suunnittelu maatalouden ympäristöpolitiikassa – Viljelijöiden näkemyksiä osallistumisesta, vaikuttamismahdollisuuksista ja ympäristönhoidosta. 65 s., 1 liite.
- No 10 Tillgrén, S. & Kupiainen, T. 2002. Letuista samppanjaan – Mansikankuluttaja elämäntyyli tutkimuksen näkökulmassa. 98 s., 5 liitettä.
- No 12 Niemi, J.K. 2002. Eläintautiriskien ekonomiaa. 39 s.
- No 13 Österman, P. 2002. Talvitomaatin tuotantokustannus ja kannattavuus. 24 s., 6 liitettä.
- No 14 Rantamäki-Lahtinen, L. 2002. Monta rautaa tulella – Monialaisten tilojen vertailu muihin maaseutu yrityksiin. 40 s., 2 liitettä.
- No 19 Aakkula, J., Jokinen, P., Lankoski, L. & Nokkala, M. 2002. Kestävä kehitys – Pilottitutkimus tieto- ja viestintäteknologisen muutoksen vaikutuksista maatalouden kestävyteen. 80 s., 3 liitettä.
- No 20 Mustakangas, E. 2002. Maatalous menestyy, maaseutu menettää? Tapaustutkimus Etelä-Pohjanmaan maataloudesta. 66 s., 1 liite.
- No 24 Kuorikoski, R. 2002. Perunantuottaja vähittäis- ja tukkukaupan tavarantoimittajana. 57 s., 4 liitettä.
- No 25 Aro-Heinilä, E. 2002. Joulukinkun ekotehokkuus – Tavanomaisen ja luonnonmukaisen tuotannon ekologinen selkäreppu sekä energiakulutus Etelä-Suomessa ja Tanskassa. 82 s.
- No 27 Risku-Norja, H. (toim.). 2002. Maatalouden materiaa livirrat, ekotehokkuus ja ravinnon tuotannon kestävä kilpailukyky. Aineiston ja menetelmän kuvaus. 112 s., 5 liitettä.
- No 30 Tiilikainen, S., Manninen, M., Pihamaa, P. & Heikkilä, A-M. 2003. Kokeita ja koettelemuksia - Emolehmä tuotanto ja sen tutkimus Suomessa. 62 s., 5 liitettä.
- No 32 Rikkonen, P. 2003. Maatalouden tulevaisuus vuoteen 2025. Elintarvikeketjun asiantuntijoiden tulevaisuudenkuvia Suomen maataloudesta. Väiliraportti. 51 s., 3 liitettä.
- No 33 Huan-Niemi, E. 2003. The EU Sugar Regime and Forthcoming WTO Obligations. 25 p., 5 appendices.
- No 37 Myyrä, S., Ketoja, E. & Yli-Halla, M. 2003. Pellon hallintaoikeuden yhteys maanparannuksiin - esimerkkinä kalkitus ja fosforilannoitus. 51 s., 4 liitettä.
- No 38 Peltola, A. 2003. Syrjäytymisvaara ja hanketoiminnan mahdollisuudet maataloilla. Esimerkkeinä Etelä-Pohjanmaan, Keski-Pohjanmaan ja Keski-Suomen maakunnat. 89 s., 2 liitettä.
- No 39 Ristiluoma, R., Sipiläinen, T. & Kankaanhuhta, K. 2003. Kirjanpito tilojen viljelijäkyselyn tulokset ja maksuvalmius. 75 s., 3 liitettä.
- No 40 Juntti, L. 2003. Typpilannoituksen ja kasvinsuojeluaineiden käytön vaikutus mallas- ja rehuohran viljelyn taloudelliseen tulokseen. 51 s., 2 liitettä.



MTT:n selvityksiä 40