

Lisensiaatintutkimus

**PERUNAN TYPPILANNOITUS
LUONNONMUKAISESSA VILJELYSSÄ**

Anna Tall

Helsingin Yliopisto
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta
Soveltavan biologian laitos

ISSN 1457-8085 (painettu)
ISSN 1796-6361 (verkkajulkaisu)

ISBN 978-952-10-3468-8 (nid.)
ISBN 978-952-10-3469-5 (PDF)

Yliopistopaino, Helsinki 2007

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Soveltavan biologian laitos	
Tekijä — Författare — Author Anna Tall			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Perunan typpilannoitus luonnonmukaisessa viljelyssä			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kasvinviljelytiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Lisensiaatin työ		Aika — Datum — Month and year 10/ 2007	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 84
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>Tutkimuksessa selvitettiin esikasvin ja typpilannoituksen vaikutusta perunan satoon ja sadon laatuun luonnonmukaisessa viljelyssä. Kenttäkokeet tehtiin vuosina 1998–2003 Maatalouden tutkimuskeskuksen Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ylistarossa. Perunan esikasveina olivat tyypeä keräävä esikasviseos (rehuvirna, persianapila, raiheinä, kaura) vilja (lannoittamaton, karjanlanta, Luomu yleislannos), peruna (karjanlanta, Luomu yleislannos), yksivuotinen puna-apilanurmi ja kaksivuotinen puna-apilanurmi. Esikasviseoksen ja kaksivuotisen apilan sato välikorjattiin tai sato kynnettiin kokonaan maahan syksyllä. Ensimmäisenä perunan satovuotena maan ammonium- ja nitraattipitoisuus analysoitiin kolme kertaa kasvukauden aikana. Kasvukauden aikana perunakasvustosta tehtiin kasvustohavainnot ja mitattiin lehtivihreän suhteellinen määrä. Satomäärän lisäksi sadosta määritettiin mukuloiden tärkkelyspitoisuus, mukulakoko, mukuloiden nitraattipitoisuus sekä mukuloiden ulkoinen- ja keittolaatu. Tutkitut perunalajikkeet olivat Nicola ja Van Gogh.</p> <p>Perunakasvustot olivat korkeimmat kaksivuotisen apilaesikasvin jälkeen. Ensimmäisenä perunan satovuotena suurin sato, 29 300 kg/ha, korjattiin virnaesikasvustojen jälkeen sekä yksivuotisen apilaesikasvuston jälkeen. Toisena perunan satovuotena suurin perunasato, 28 900 kg/ha, korjattiin kaksivuotisen välikorjaamattoman apilaesikasvin jälkeen. Nicola- lajikkeen sato oli suurempi kuin Van Gogh- lajikkeen sato kaikkien esikasvien jälkeen sekä ensimmäisenä että toisena perunan satovuotena lukuun ottamatta toisen perunasatovuoden apilaesikasvien jälkeistä perunasatoa. Apilaesikasvuston vaikutus näkyi myös toisen perunasatovuoden mukuloiden korkeampana tärkkelyspitoisuutena. Ensimmäisenä perunan satovuotena maan nitraattipitoisuus oli ennen perunan istutusta korkein yksivuotisen apilaesikasvin jälkeen. Välikorjaamattoman apilaesikasvin jälkeen maan ammoniumpitoisuus oli kaikilla mittauskerroilla korkein samoin kuin mukuloiden nitraattipitoisuus. Kaksivuotisten apilaesikasvustojen jälkeen mitattiin mukulanmuodostuksen ja perunan kukinnan alkaessa perunakasvustosta suurimpia suhteellisia lehtivihreäarvoja.</p> <p>Tutkituista perunan esikasvivaihtoehdoista suositeltavin on kaksivuotinen välikorjattu apila. Välikorjaamattoman apilaesikasvin jälkeen maaperään jäi liikaa typpivaroja ja hallan tai ruton keskeyttäessä perunan kasvun perunan sadonmuodostus jäi kesken. Kuumina ja kuivina kasvukausina, varsinkin Nicolalla, mukulan nitraattipitoisuus jäi korkealle. Yksivuotisista perunan esikasveista suositeltavin on yksivuotinen apilaesikasvi. Virnaseesikasvustojen jälkeen korjattiin ensimmäisenä perunan satovuotena paras sato, mutta toisena perunan satovuotena perunasato oli kompostoidulla karjanlannalla lannoitetun viljaesikasvin ja lannoittamattoman viljaesikasvin jälkeisen perunasadon suuruinen.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Peruna, luonnonmukainen viljely, sato, määrä, laatu, viherlannoitus, apilat, virmat			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Kirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information			

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Applied Biology	
Tekijä — Författare — Author Anna Tall			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Nitrogen fertilization in organic potato production			
Oppiaine — Läroämne — Subject Crop Science			
Työn laji — Arbetets art — Level The Licentiate degree		Aika — Datum — Month and year 10/ 2007	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 84
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>The main objective of this study is to investigate the effects of preceding crops and fertilizing on the quality and quantity of organic potato production. Field experiments were carried out between 1998-2003 at the Agricultural Research Center in Ylistaro, South Ostrobothnia in a field that had been used organically for several years. The preceding crops and fertilizing processes used were: N-fixing ley crop (vetch, persian clover, ryegrass and oats) with and without harvesting; cereal (oats) fertilized with cattle manure, with organic-fertilizer (Kemira) and without fertilizer; and potato fertilized with cattle manure, and with organic-fertilizer (Kemira); and one year of red clover and two years of red clover with and without harvesting.</p> <p>The potato varieties were Nicola and Van Gogh. The Nitrate and ammonium concentration of the soil were analyzed three times during the growing season for potatoes. Growth analysis was carried out for all experimental treatments. Transplanting days, the height of foliage, the percentage of ground covered by green foliage and percentage with blight were measured. After harvesting, tubers were graded, measured for size, weighed for total yield and analyzed for percent starch, starch yield and nitrate. Visual and cooking qualities were also analyzed.</p> <p>The best yield for the first following potato crop was 29 300 kg/ha after the N-fixing ley crop and one year of red clover. The best yield for the second following potato crop was 28 900 kg/ha after two years of non-harvested red clover. The yield of the Nicola variety was higher than the Van Gogh in both first and second following crops. The only exception was after red clover at the second following potato crop. The percent starch was also higher with the second following potato crop after red clover. The nitrate concentration of the soil before potato planting was highest after one year of red clover. The ammonium concentration of the soil and the nitrate concentration of the tubers were also highest after non-harvested red clover. After two years of using red clover, the highest percentage of green foliage was measured while potatoes were tuberizing and flowering.</p> <p>In conclusion, the best preceding crop for potato is two years of harvested red clover since too much nitrogen was observed in the soil after the non- harvested red clover. When the growing season was hot and dry, the nitrate concentration of the potato was high, especially with the Nicola variety. The best one year preceding crop was found to be one year of red clover. After the N-fixing ley crop, yields were highest after the first following potato crop. However, after the second following potato crop, the yield was as large as after the non- fertilized cereals and cereals fertilized with cattle manure.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Potato, organic growing, legumes, yield , quality			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Kirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information			

ESIPUHE

Perunanistutus keväisellä jokirantapellolla kuovien ja töyhtöhyppien säestyksellä, perunanmultaus, perunannostoaika perunannostokoneen päällä sekä lajittelukoneen ”lonksutus” hämärän viileässä perunakellarissa herättivät mielenkiintoni perunaa kohtaan jo pienenä tyttönä. Kiitokset tästä ohjauksesta ja kannustuksesta agronomisuuden ja kasvinviljelyn pariin kuuluvat vanhemmilleni, Annikki-mummolle ja Hannu-enolle. Suuntasin opintoni kasvinviljelytieteeseen ja graduni aiheen sain Siemenperunakeskukselta.

Rakkaudesta perunaan lähdin myös heti mukaan Luomu- Pohjanmaa hankkeeseen, missä eteläpohjalaiset karjattomat luomuperunaviljelijät etsivät tutkimuksentekijää perunan typpilannoitusongelmien ratkaisemiseen. Hankkeen alussa valmistui kaksi projektityötä Seinäjoen ammattikorkeakouluun. Töissä kartoitettiin luomuperunaviljelyyn liittyviä ongelmia. Projektitöistä ja hyvästä yhteistyöstä lämpimät kiitokset agrologiopiskelijoille Marjo Kurjenluoma, Paulina Tuomela, Anu Viitaluoma, Ronja Venesperä, Anu Latva-Reinikka ja Nina Hyytiä. Projektitöiden pohjalta jatkoimme tutkimusongelman tarkennusta. Peruna oli jälleen löytänyt minut ja tämä lisensiaattityö sai alkunsa.

Kiitän Luomu- Pohjanmaa hanketta, joka rahoitti kenttäkokeet Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ylistarossa. Suurkiitos kuuluu koko tutkimusaseman henkilökunnalle tutkimuksen eteen tehdystä työstä. Paikallisen ohjausryhmäni tutkijat Arjo Kangas ja Markku Niskanen sekä tutkija-neuvoja Heikki Koskimies ja luomuneuvoja Samuli Lampinen auttoivat ajatuksiani eteenpäin. Biometrikko Lauri Jauhiainen antoi käytännönläheiset neuvot tilastollisiin haasteisiin. Kiitos teille kaikille.

Työtä tukivat taloudellisesti myös Oiva Kuusisto Säätiö ja Jenny ja Antti Wihurin Rahasto. Seinäjoen ammattikorkeakoulun palkallinen tutkimusvapaa ja Ilmajoen yksikön entisen ja nykyisen johtajan kannustus mahdollistivat työn etenemisen. Henkisenä selkärankani työlleni ovat olleet korvaamattomat työkaverit ja lähimmät ystäväni Ilmajoella sekä muualla Suomessa. Vilpittömät kiitokset.

Kiitän professoreita Eija Pehu ja Pirjo Mäkelä sekä dosentti Mervi Seppästä työni ohjauksesta sen eri vaiheissa.

Rakas Juha, kiitos kärsivällisyydestäsi. Sinä ja kolme ”osajulkaisuumme” Julius, Anniina ja Justus olitte tärkeä voimavara työlleni. Sisareni ja veljeni perheille kiitokset ymmärtäväsyydestä perunaharrastustani kohtaan mökkimaisemissa. Sydämelliset kiitokset myös äidille, appivanhemmille, maailman parhaille naapureille ja monivuotiselle Aulikki-lastenhoitajalle perheen huolenpidosta.

10. 10. 2007 Anna Tall

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	3
2. KIRJALLISUUSKATSAUS	5
2.1. Perunan ravinteiden tarve.....	5
2.2. Perunan typpitalous.....	5
2.2.1 Perunan typen tarve ja otto.....	5
2.2.2 Typen tarpeen määrittäminen.....	9
2.3. Typpi ja nitraatti.....	11
2.3.1 Typen vaikutus perunan kehitykseen ja laatuun	11
2.3.3 Nitraatin kertyminen perunaan.....	13
2.3.4 Nitraatin haitat.....	15
2.4. Maan orgaaninen aines ja typen mineralisaatio	16
2.4.1 Orgaanisen aineksen merkitys	16
2.4.2 Orgaanisen aineksen hajotus	17
2.4.3 Typen mineralisaatio.....	17
2.5. Maan viljavuuden parantaminen.....	19
2.5.1 Viherlannoitus ja esikasvivaikutus.....	19
2.5.2 Viljelykierto	22
2.6. Perunan lannoitus typensitojakasveilla	23
2.6.1 Biologinen typensidonta.....	23
2.6.2 Virnan esikasvivaikutus	26
2.6.3 Apilan esikasvivaikutus	27
2.7 Perunan lannoitus karjanlannalla	28
2.8 Viljelytoimet ja typen huuhtoutuminen	29
3. TUTKIMUKSEN TARKOITUS	31
4. AINEISTO JA MENETELMÄT	32
4.1 Koejärjestelyt ja käytetyt esikasvit.....	32
4.2 Kasvustohavainnot	33
4.3 Maa- ja lanta-analysit.....	34
4.4 Perunan istutus, sadon käsittely ja laatumääritykset.....	35
4.5 Perunoiden nitraattipitoisuus.....	36
4.6 Kasvukausien sää	36
4.7 Tulosten tilastollinen analysointi	37
5. TULOKSET	38
5.1 Esikasvien sadot.....	38
5.2 Perunan kehitys, sato ja laatu	38
5.2.1 Kasvuston kehitys	38
5.2.2 Mukulasato.....	40
5.2.3 Mukuloiden tärkkelyspitoisuus	41
5.2.4 Mukulakoko	42
5.2.5 Mukuloiden ulkoinen laatu	42
5.2.6 Mukuloiden keittolaatu	44
5.3 Esikasvin vaikutus maan nitraatti- ja ammoniumpitoisuuteen, mukulan nitraattipitoisuuteen ja perunakasvuston lehtivihreäarvoihin.....	46
5.3.1 Maan nitraatti- ja ammoniumpitoisuus	46
5.3.2 Mukulan nitraattipitoisuus	47
5.3.3 Perunakasvuston lehtivihreän suhteellinen määrä	47
5.4 Korrelaatiot	48
5.5 Lehtiruton esiintyminen perunakasvustossa	50

6. TULOSTEN TARKASTELU	51
6.1 Kasvukauden sään vaikutus esikasvin kasvuun	51
6.2 Esikasvin vaikutus perunasadon määrään ja laatuun	51
6.2.1 Virnaseos	51
6.2.2 Apila	53
6.3 Naudan kompostilannan vaikutus perunasadon määrään ja laatuun.....	54
6.4 Esikasvin vaikutus lajikkeiden välisiin eroihin.....	55
6.5 Esikasvin vaikutus perunakasvuston lehtivihreän suhteelliseen määrään	56
6.6 Kasvukauden pituuden ja sään vaikutus maaperän typpipitoisuuteen ja mukulan nitraattipitoisuuteen.....	57
7. JOHTOPÄÄTÖKSET	59
8. KIRJALLISUUS	60
9. LIITTEET	76

1. JOHDANTO

Luonnonmukaisesti viljellyn perunan tuotanto lisääntyi Suomessa 108 hehtaarista 790 hehtaariin vuosien 1990 ja 2000 välisenä aikana. Tuotantoala on laskenut 2000-luvulla, ollen 2003 vuonna 558 ha ja 2006 vuonna 356 ha. Viljelyalasta kolmannes on Etelä-Pohjanmaan ja Pohjanmaan alueella, jossa maalaismaat sopivat hyvin perunantuotantoon. Luomuperunan viljelypinta-ala on 2–2,5 % koko maan perunan viljelyalasta. Keskisato luonnonmukaisessa perunanviljelyssä Suomessa vaihteli vuosina 1999–2003 10 313 ja 17 540 kg/ha välillä, ollen 42–72 % tavanomaisen perunanviljelyn sadosta (Kankaanpää ym. 2000, 2004, Heinonen 2005, Evira 2006). Saksalaiset ovat todenneet luomuperunasatojen olevan 28–56 % alhaisemmat kuin tavanomaisesti tuotetut perunasadot (Fisher ja Richter 1984).

Tällä hetkellä luomuperunatiloilla lannoitus perustuu sekä kompostoidun karjanlannan käyttöön että viherlannoitukseen karjattomilla tiloilla. Selkeiden lannoitusohjeiden ja ohjeiden puuttuminen aiheuttaa laatuongelmia perunasadolle, mikä todettiin luomuperunaviljelijöille suunnatulla kyselytutkimuksella syksyllä 1997 keski- ja itäsuomalaisille viljelijöille (Heikkilä 1998) ja keväällä 1998 eteläpohjalaisille viljelijöille (Kurjenluoma ym. 1998). Kauppakelpoisen sadon osuus vaihtelee tilojen välillä suuresti. Viherlannoituksen tarkoituksena on maan kasvukunnon parantaminen maahan muokattavan kasviaineksen avulla. Typensitojakasvit (apilat, virnat) viherlannoituskasveina pystyvät sitomaan ilmakehän typpeä keskimäärin 100–200 kg/ha, mikä riittää hyvin perunan typpilannoitukseksi. Rajalan (1999) mukaan viherlannoitusta ja varsinkaan apilanurmea ei suositella perunan esikasviksi kun taas Väisäsen ja Tontin (2005) mukaan perunan esikasvilla ei ole vaikutusta perunasaatoon, perunan tärkkelyspitoisuuteen tai mukulan nitraattipitoisuuteen.

Viherlannoitusta ja kompostoitua karjanlantaa käytettäessä suurimpana ongelmana on typen oikea-aikainen vapautuminen perunan käyttöön. Liiallisella karjanlannan tai typensitojakasvien käytöllä on vaarana liian suuret määrät helppoliukoista typpeä maahan kasvukauden lopulla, jolloin mukuloiden nitraattipitoisuus nousee liian korkeaksi (Harris 1992). Perunan nitraattipitoisuudelle ei ole virallista enimmäisrajaa, mutta yleisrajana pidetään 200 mg perunakiloa kohden. Suomalaisten perunoiden keskimääräinen nitraattipitoisuus on 52 mg/kg, mutta vaihteluväli tutkituissa perunaerissä on ollut 2–260 mg/kg (Blomberg ja Hallikainen 2000). Luonnonmukaisesti tuotetuissa perunoissa on mitattu korkeita nitraattipitoisuuksia, jopa 250 mg/kg (Kostamo 1991). Nitraattipitoisuuden nousu heikentää perunan laatua ja makua ja nitraatin muuttuminen elimistössä nitriitiksi on vaarallista etenkin pienil-

le lapsille. Nitriitti haittaa hapen kulkeutumista veressä aiheuttaen methemoglobiinia. Sopivalla karjanlantamäärällä, oikeilla viherlannoitusseoksilla, tarkoituksenmukaisilla kasvukaudenaikaisilla esikasvien hoitotoimenpiteillä (niitto ja sadonkorjuu) sekä oikealla kyntöajankohdalla on keskeinen vaikutus maan typpivaroihin ja edelleen perunasadon laatuun.

Kasvukauden sääoloilla on myös huomattava vaikutus perunan kasvuun ja kehitykseen. Ravinteiden liukoisuus ja käyttökelpoisuus ovat riippuvaisia lämpötilasta ja sademäärästä, joten eri lannoitusvaihtoehtojen selvittäminen erilaisina kasvukausina on tarpeen ennen selkeiden lannoitusohjeiden laatimista.

2. KIRJALLISUUSKATSAUS

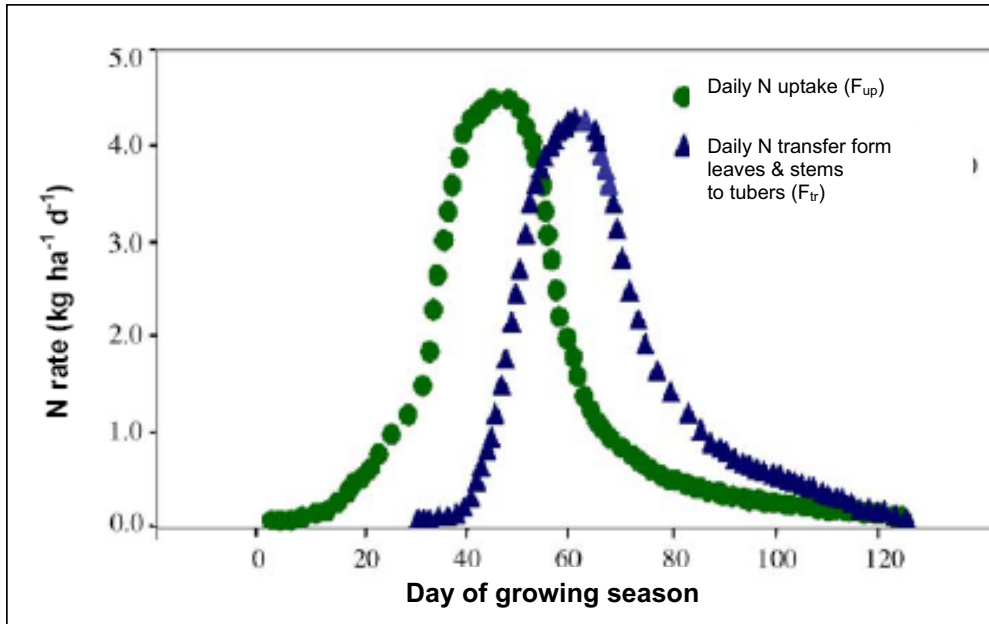
2.1. Perunan ravinteiden tarve

Peruna ottaa maasta ravinteita keskimäärin 70 kg/ha typpeä (N), 10 kg/ha fosforia (P), 100 kg/ha kaliumia (K), 40 kg/ha kalsiumia (Ca), 14 kg/ha magnesiumia (Mg), 80 g/ha booria (B), 360 g/ha mangaania (Mn) sekä 60 g/ha kuparia (Cu) 20 tonnin perunasadolle. Hyvälaatuinen perunasato luonnonmukaisessa tuotantotavassa typpilannoitetaan joko kompostilannoituksella keväisin tai viherlannoituksella. Peruna kärsii harvoin typen puutteesta, olipa typpilannoituksena karjanlantaa tai viherlannoituskasvien typpibakteerien tuottamaa typpeä. Muuhun lannoitustarpeeseen luonnonmukaisesti tuotetuille perunoille annetaan vähäkalisille maille biotiittia ja fosforin puutteeseen levitetään apatiittia (Seuri ym. 2001, Forsman ym. 2006).

2.2. Perunan typpitalous

2.2.1 Perunan typen tarve ja otto

Ravinteista typpi vaikuttaa eniten perunan kasvuun ja sadonmuodostukseen. Kehityksensä alkuvaiheessa peruna tarvitsee typpeä lehtien ja varsien kasvuun. Kukinnan jälkeen perunan typensaannin tulisi vähentyä, jotta perunan kasvu pysähtyisi ja yhteyttämistuotteet kulkeutuisivat mukuloihin. Perunan typenottoon on laadittu ennustemalli (Li ym. 2006). Sen mukaan typenotto on voimakkaimmillaan vegetatiivisen kasvun aikaan, 20–50 vuorokautta istutuksesta, jolloin typentarpeen huippu on 4,46 kg/ha/vrk (Kuva 1). Typen kulkeutuminen mukulaan on puolestaan suurimmillaan (4,31 kg/ha/vrk) 20 vuorokautta typenottohuipusta (Kuva 1). Liiallinen helppoliukoinen typpi maassa kasvukauden lopulla myöhästyttää perunan tuleentumista, lisää nostovioituksia ja kohottaa perunan nitraattipitoisuutta. Liika typpi alentaa perunan kuiva-ainepitoisuutta, heikentää makua, lisää perunan vetisyyttä, tummumista ja tautialttiutta sekä huonontaa mukuloiden varastointikestävyyttä (Neuhoff ja Köpke 2002, Haase ym. 2007a).



KUVA 1. Perunan kasvukaudenaikainen typenotto ja typen kulkeutuminen kasvista muku- laan (Li ym. 2006).

Suosittelava typpimäärä perunalle on olosuhteista ja sadon käyttötarkoituksesta riippuen 50–95 kg/ha. Lajikekohtaiset ominaisuudet vaikuttavat myös ratkaisevasti typen tarpeeseen. Esimerkiksi kokeissani olleet lajikkeet Nicola ja Van Gogh tarvitsevat erilaisen typpilannoitusmäärän laadukkaan sadon tuottamiseen. Nicola on melko myöhäinen, kiinteämaltoinen ja alhaisen kuiva-ainepitoisuuden omaava lajike, jonka typpilannoituksen tulee olla vain 30–50 kg/ha (Kuisma ym. 1997, 2004). Nicolalla arvellaan olevan erinomainen kyky ottaa maasta typpeä ja käyttää sitä sadonmuodostukseen. Perunantutkimuslaitoksen lannoituskokeissa 45 kg/ha typpilannoitus tuli sadossa 119-prosenttisesti takaisin (Kuisma 2002a). Van Gogh, joka on melko myöhäinen ja jauhoinen talviperuna, tarvitsee ja kestää suuremman typpilannoituksen kuin Nicola (Kuisma ym. 1997). Suotuissa kasvuoloissa sekä Nicola että Van Gogh pystyvät hyvään typpisatoon pelkästään maan luontaisten typpivarojen avulla (Kuisma 2003).

Peruna ottaa typpeä maasta sekä nitraatti- että ammoniummuodossa. Maan typpipitoisuuden noustessa sekä ammoniumin että nitraatin otto lisääntyy. Molempien typen muotojen läsnäollessa typen kokonaisotto on yleensä suurin (Hageman ja Below 1990, Wiseman ym. 1993, Marschner 1995). Ammoniumtyppi voidaan liittää orgaanisiin happoihin, mutta nitraattityppi täytyy ensin pelkistää ammoniummuotoon. Kasvin ottaessa maasta typpeä nit-

raatteina kuluu siihen puolet enemmän hiilidioksidia ($1,2 \text{ g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ lopputuote) kuin ammoniumin ottoon [$0,6 \text{ g CO}_2/\text{g}$ lopputuote (Taulukko 1)]. Nitraatin kuljetus kasvissa liittyy kiinteästi kasvin veden ottoon (Vos ja Mackerron 2000). Kasvin puuosassa nitraatti kulkeutuu veden liikkeen mukana varsiin. Nitraatin liikkeitä solukalvojen läpi säätelee permeaasientsyymi. Nitraatti voi juurisolukoissa pelkistyä, kulkeutua kasvin puuosassa ja pelkistyneessä muodossa varastoitua tai virrata ulos juuresta sähkökemiallisesti. Nitraatti (NO_3^-) pelkistyy ensin kasvin kloroplasteissa nitriitiksi (NO_2^-) nitraattireduktaasientsyymien avulla. Entsyymi kuljettaa kaksi vetyionia ja elektronia NADH:lta nitraatille. Energia tähän saadaan entsyymien avulla sokereiden hapettumisesta. Nitriitti pelkistyy edelleen ammoniumiksi (NH_3) nitriittireduktaasin avulla (Nir). Nitriittireduktaasientsyymien kuljettamat kuusi elektronia pelkistävät rautaoksidin avulla nitriitin ammoniumiksi. Pelkistymistä tapahtuu solulimassa. Kasvin entsyymiaktiivisuus on riippuvaista kasvin energiatasesta (Hageman ja Below 1990).

TAULUKKO 1. Hiilidioksidin (CO_2) kuluminen eri prosesseihin (Hay ja Porter 2005).

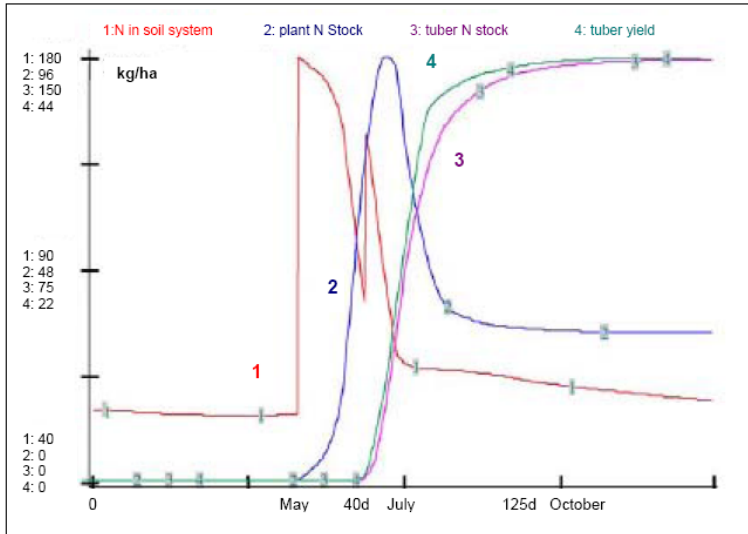
Prosessi	$\text{g CO}_2/\text{g}$ tuote
$\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NH}_4^+$	6,2
symbioottinen typensidonta	15–22
NO_3^- otto	1,2
NH_4^+ otto	0,6
muiden ionien otto	0,2

Ammoniumtyppi liittyy glutamaattiin glutamiinisynteesin yhteydessä. Energia metaboliaan tulee ATP:lta. Lehdissä reaktio tapahtuu kloroplasteissa ja juurissa plastideissa ja molemmissa tapauksissa myös solulimassa. Ammoniumin assimilaatio on tärkeä reaktio, koska jo pienet pitoisuudet vapaita ammoniumioneja ovat myrkyllisiä kasville. Seuraavaksi glutamiini liittyy glutamaattisynteesin avulla 2-oxoglutaraattiin muodostaen glutamaattia, joka edelleen liitetään transaminaatio reaktioiden kautta aminohapoiksi (Hageman ja Below 1990).

Hengitys vapauttaa energiaa, jolla on keskeinen merkitys nitraatin ja ammoniumin assimilaatioon (Turpin ym. 1997, Dienst 1990). Nitraatin pelkistyminen ammoniumiksi kuluttaa $6,2 \text{ g CO}_2/\text{g}$ lopputuote (Taulukko 1). Juuret tarvitsevat hiilihydraatteja pelkistysenergiaksi ja aminohappojen hiilirungoiksi. Juurten typenotolla ja juuristosolukon sokeripitoisuudella on selkeä yhteys toisiinsa. Samoin nitraattireduktaasin ja glutamaattidehydrogenaasin aktii-

visuus riippuu juurten hengityksestä. Nitraatin otto ja ammoniumin muuttuminen aminoha-poiksi ja proteiineiksi saa energiansa hiilimetabolialta (Stulen 1990).

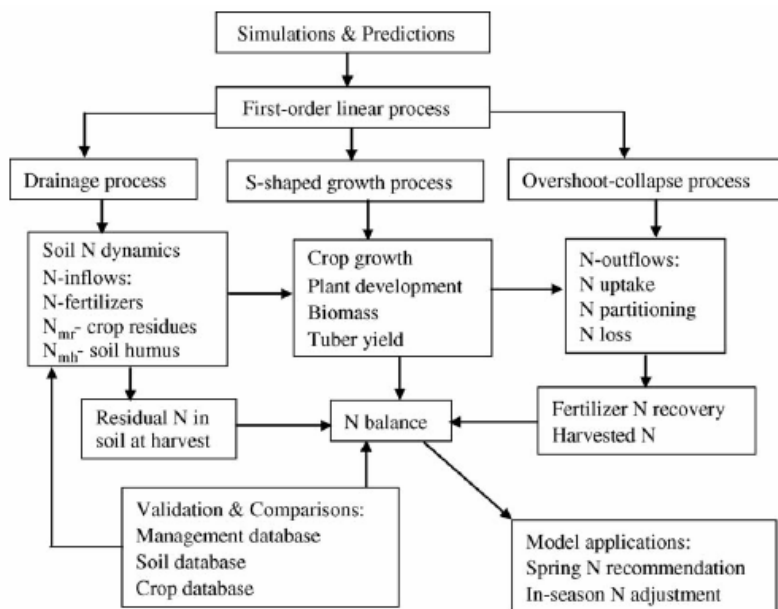
Peruna on tehokas typenkäyttävä. Maanesteen tyypillinen nitraattikonsentraatio on 25 mM ja ammoniumkonsentraatio 5 mM (Hay ja Porter 2005). Lannoittamaton peruna ottaa maasta, lajikkeesta ja kastelusta riippumatta, 46–62 kg/ha typpeä (Kuisma 2002b), mutta lannoitettu peruna pystyy ottamaan maasta typpeä jopa 125–250 kg/ha (Vos ja Mackerron 2000). Tehokkaimmillaan perunan typenotto on juuristokerroksen tyypipitoisuuden ollessa 90–120 kg/ha (Li ym. 2006)(Kuva 2). Yli 100 kg/ha tyypilannoitus kasvattaa ainoastaan tuoresatoa kuiva-ainesadon pysyessä ennallaan ja mukulan laadun heikentyessä (Neuhoff ja Köpke 2002). Typen saannin lisääntyessä perunan lehtien valkuaispitoisuus nousee, lehtiala suurenee ja kasvin hengitys lisääntyy, koska energiantarve lisääntyy. Valkuaisainesynteesi kuluttaa kaksi kertaa enemmän energiaa hiilihydraattisynteesiin verrattuna. Tällöin saattaa syntyä pulaa yhteyttämistuotteista. Lisääntyvän käytettävissä olevan typen ansiosta kasviin kertyy tyypipitoisia aineita, kuten nitraattia, hiiltä sisältävien tyypiyhdisteiden kustannuksella, minkä seurauksena perunan laatu heikkenee (Neuhoff ja Köpke 2002). Keskimääräinen tyypipitoisuus kuivassa kasvimateriaalissa nuorilla kasveilla on 5 %. Kasvin vanhetessa maan typpi vähenee, typpi kulkeutuu satoon ja typen määrä kasvissa laskee 1,5 %:iin. Vihreiden lehtien tyypipitoisuus on 2,5–7 % kuiva-aineesta, varsissa tyypipitoisuus on 0,5–6 % ja mukulassa 0,5–3,5 % (Vos ja Mackerron 2000). Kasvukauden aikana perunapelosta poistuu typpeä sadon mukana 2,2–3,5 kg/perunatonni (Kuisma 1992, 2004)(Kuva 2). Kasvualustan nitraattimäärityksin ja perunakasvuston lehtivihreän suhteellisen määrän seurannalla, esimerkiksi spad-mittauksien avulla, voidaan arvioida typen riittävyys perunalle.



KUVA 2. Typpipitoisuus (1) maassa, (2) kasvissa (3) mukulassa ja (4) perunasadossa simulaatiomallin mukaan (Li ym. 2006).

2.2.2 Typen tarpeen määrittäminen

Perunatilojen erilaisista maalajeista, viljelykierroista, kesannoista, typensitojakasveista, vaihtelevista sääoloista ja karjanlannan käytöstä johtuen perunan käyttöön vapautuu erilainen määrä typpeä. Se vaikeuttaa perunan typpilannoituksen määrän optimoimista. Myös huoli ympäristön tilasta lisää lannoituksen optimoinnin tarvetta. Lannoitusoptimointia auttaa mallinnus, joka ottaa huomioon kokonaisvaltaisesti maan typpidynamiikan, kasvin kasvun ja typpihävikit (Kuva 3).



KUVA 3. Perunan typpilannoitusoptimoinnin mallinnus (Li ym. 2006).

Typpilannoituksen tarkennus kasvukauden aikana on myös mahdollista. Paras menetelmä kasvien ravinnetasapainon mittaamiseen ja puutostilan havaitsemiseen on ollut kasvinäytteiden kerääminen ja analysointi. Perunalla lehdistä tehtävään kemialliseen analyysiin käytetään yleensä neljännen lehtiruodin lehdyköitä ylhäältä laskien. Menetelmän hitaus, työläys ja kalleus estävät kasvianalyysin käyttöönoton laajemmin peltoviljelyssä (Westermann 1993).

Kasvin lehtivihreän suhteellinen määrä on lähes suorassa suhteessa kasvin typpipitoisuuteen. Lehden typpipitoisuus korreloi positiivisesti kasvin yhteyttämistehokkuuteen ja lehtien typpipitoisuus puolestaan kasvaa lineaarisesti lehtien rubiscoentsyymi-pitoisuuden kohotessa. Lehtivihreän suhteellista määrää voidaan mitata suoraan kasvin lehdistä valon aallonpituuksilla 430 ja 750 nm (Booij ym. 2000). Yleisesti käytössä olevilla SPAD-laitteilla mitataan lehtivihreän suhteellista määrää SPAD-arvoina ja mittaus perustuu lehden värin voimakkuuteen. Mittaus tehdään kasvin ylimpien lehtien keskivaiheilta. Suomen kasvuoloissa viljeltäville kasvilajeille on määritetty optimiväriarvot (Virtanen 1995). Perunalle optimiväriarvo mukulanmuodostuksen alkaessa on 49–56 ja kukinnan alkaessa 45–47. Kasvi kärsii typen puutteesta lehtivihreän suhteellisen määrän jäädessä alle optimiarvon. Arvojen tulisi olla lähempänä vaihteluvälin ylempää kuin alemmaa lukemaa.

2.3. Typpi ja nitraatti

2.3.1 Typen vaikutus perunan kehitykseen ja laatuun

Kasvukauden alun korkea maan typpipitoisuus lisää tarpeetonta kasvin versontaa ja lehtien määrää (Vos ja Biemond 1992). Runsaskaan typpilannoitus ei aikaista perunan taimettumista eikä jouduta alkukehitystä 45 vuorokauden aikana istutuksesta lukien (Kuisma 1999, Mustonen 1999). Griffin ja Hestermann (1991) ovat kuitenkin havainneet kasvukauden alun matalien typpipitoisuuksien vähentävän mukulanmuodostusta. Lehtien muodostumisnopeuteen vaikuttaa eniten lämpötila, kun taas veden ja lannoituksen määrä vaikuttaa lehtialaan. Taimettumisen jälkeen typpi nopeuttaa kasvuston alkukehitystä ja lisää varsiston määrää (Kirk ja Marshall 1992).

Eri lajikkeet reagoivat eri tavoin typpilannoituksen määrään, etenkin kun verrataan Nicolaa Van Goghiin. Nicolalla typpi lisää sekä kasvuston korkeutta että lehtipinta-alaa, mutta viivästyttää mukulanmuodostusta ja myöhästyttää tuleentumista (Mustonen 1997). Runsaan typpilannoituksen on havaittu lisäävän mukulamäärää ja satoa Nicolalla ja mukulakokoa Van Goghilla (Mustonen ym.1997). Runsas typpi alentaa perunan kuiva-ainepitoisuutta, heikentää makua ja lisää vetisyyttä (Burton 1989). Liiallinen typpi alentaa perunan tärkkelyspitoisuutta (Nicola) (Mustonen ym.1997), aiheuttaa mukuloiden raakatummumista (Van Gogh), lisää tautialttiutta sekä huonontaa käsittely- ja varastointikestävyyttä enemmän Nicolalla kuin Van Goghilla (Yli-Halla ym. 1987). Yleisesti Nicola on melko matalatärkkelyksinen ja melko myöhäinen lajike kun taas Van Goghin tärkkelyspitoisuudessa on etupäässä lajikkeelle ominaista tärkkelyspitoisuuden vaihtelua (Kari 2001). Runsas typenkäyttö lisää typpiyhdisteiden, kuten nitraattitypen määrää mukuloissa (Frydecka-Mazurczyk ja Zgorska 1996, Lombardo ja Licandro 2005) etenkin Nicolalla (Kuisma 1992, Mustonen ym. 1997). Typpilannoituksen lisäys laskee myös hieman Nicolaa raakatummumista ja C-vitamiinipitoisuutta (Perunantutkimuslaitos 1991).

2.3.2 Kasvin nitraattipitoisuuteen vaikuttavat tekijät

Kasvin nitraattipitoisuuteen vaikuttavat typen ohella myös muut ravinteet ja niiden hyväksikäytön ajankohta. Korkeammat kasvin nitraattipitoisuudet ajoittuvat eri ajankohtaan verrattaessa epäorgaanisesti ja orgaanisesti lannoitettuja kasveja. Orgaanisella lannoituksella

typen mineralisaatio kasvukauden alussa on hitaampaa, joten kasvin nitraattipitoisuus nousee vasta kasvukauden edetessä. Kalium, fosfori, natriumin, kalsium tai magnesiumin eivät suoraan vaikuta kasvin nitraattipitoisuuteen (Diest 1990, Gianquinto ja Bona 2000). Kaliumkloridilannoitus vähentää lehtiruotien nitraattipitoisuutta, kloorin ehkäisessä typpiyhdisteiden kuljetusta lehtiruodeissa (Diest 1990, Westermann 1993). Kaliumsulfaattilannoitus ei vaikuta samoin. Kaliumkloridin vaikutusta on selitetty nitraatin ja kloorin välisellä keskinäisellä kilpailulla kasvin juuristossa kasvin ottaessa ravinteita (Gianquinto ja Bona 2000). On kuitenkin selvää, että kloori alentaa kasvin nitraattipitoisuutta, vähentää perunan vetisyyttä ja tummumista sekä huonontaa makua, jonka takia perunalle käytetään kloorivapaita väkilannoitteita (Diest 1990). Rikin puute lisää kasvin nitraattipitoisuutta. Molybdeeni on myös osallisena nitraattireduktaasin entsyyminä ja vaikuttaa nitraatin esiintymiseen (Zahalak ym. 2004). Magnesium ja kupari stimuloivat myös nitraattireduktaasia (De Boer ym. 1996, Manak ja Ferl 2007, San-Eun ym. 2007).

Valolla on keskeisin vaikutus kasvin nitraattiaineenvaihduntaan lämpötilan ja veden ohella. Vaikuttavia tekijöitä ovat sekä valon voimakkuus, valojaksoisuus sekä valon kesto-aika (Lillo 1994). Kasvin nitraattipitoisuus nousee valon vähentyessä. Kylmyys puolestaan hidastaa perunan kasvua ja nostaa lehtiruotien nitraattipitoisuutta (Gianquinto ja Bona 2000). Lämpötilan nousu nostaa kasvin nitraattipitoisuutta, mutta yli 30 °C lämpötila ehkäisee nitraatin kulkeutumista (Frydecka-Mazurczyk ja Zgorska 1996). Myös kuivuus häiritsee nitraattiaineenvaihduntaa ja se voi jopa kolminkertaistaa kasvin nitraattipitoisuuden (Diest 1990, Bishoff ja Diepenbrock 1995, Cieslik 1995, Hamouz ym. 1999, Gianquinto ja Bona 2000, Kuisma 2002).

Maan orgaanisen aineksen määrä, kasvinvuorotus ja muokkaustapa vaikuttavat myös kasvin nitraattipitoisuuteen. Typpilannoittamattoman perunan lehtivihreäpitoisuus on hiekkamailla alhaisempi kuin savimailla, mikä johtunee maalajien erilaisesta vedenpidätyskyvystä. Typpilannoitetuilla perunoilla lehtivihreäpitoisuus on savimailla hieman korkeampi (Gianquinto ja Bona 2000). Perunan lehtiruotien nitraattipitoisuus laskee hitaammin esikasvin ollessa typensitojakasvi verrattuna viljaesikasviin. Typensitojakasvin jätteet mineralisoituvat hitaasti kun taas olkijäte aiheuttaa maahan korkean hiili-typisuushteen. Typpi sitoutuu biologisesti ja alentaa seuraavan kasvin typen saatavuutta. Syvämuokkaus lisää juuriston syvyyttä ja tehostaa perunan typenottoa, jolloin lehtiruotien nitraattipitoisuus on korkeampi kuin matalaan muokatuilla mailla (Gianquinto ja Bona 2000).

Muita kasvin tyyppi ja nitraattipitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat lajike, kasvosien ikä, korjuuajankohta ja varastointi. Samana päivänä otetuissa näytteissä aikaisilla perunalajikkeilla on alhaisempi nitraattipitoisuus kuin myöhäisillä lajikkeilla, johtuen aikaisten lajikkeiden vanhemmasta fysiologisesta iästä (Gianquinto ja Bona 2000, Bako 2006). Kasvin vanhimmissa osissa on korkeampi nitraattipitoisuus kuin nuoremmissa kasvosissa. Kasvin korjuuajankohdalla on keskeinen merkitys kasvin nitraattipitoisuuteen, jopa niin, että iltapäivällä korjatuilla kasveilla on alhaisempi nitraattipitoisuus kuin aamulla korjatuilla (Corre ja Breimer 1979). Varastoinnin aikana mukuloiden nitraattipitoisuus ei muutu (Putz 1994, Frydecka-Mazurczyk ja Zgorska 1996).

2.3.3 Nitraatin kertyminen perunaan

Nitraattipitoisuuden nousu perunan mukulassa on merkki typpiaineenvaihdunnan, typen oton ja sen assimilaation epätasapainosta. Typpiaineenvaihduntaan vaikuttavat typpilannoituksen ja valon määrä, lämpötila, perunalajikkeen aikaisuus, kasvutiheys, kastelu ja korjuuajankohta. Liian suuri typpentarjonta kasvukauden lopussa vaikeuttaa typpiaineenvaihduntaa. Samanaikainen energian ja hiilirunkojen vähäisyys aiheuttaa sen, ettei hiilipitoisia typpiyhdisteitä riitä rakennusaineiksi perunan kasvuun. Kertyvää nitraattia ei voi ennustaa lehtivihreämittauksilla, mutta varsistoanalyysillä on yhteys mukulan nitraattipitoisuuteen (Biemond ja Vos 1992). Perunan perinnölliset tekijät vaikuttavat myös nitraatin kertymiseen enemmän kuin kasvuaste ja lannoitus (Maynard ym. 1976, Djennane ym. 2002).

Nitraattien oton jälkeen nitraatit kuljetetaan kasvin puuosiin, jotka sisältävät enemmän nitraattia kuin muut kasvin solut. Ylimääräinen nitraatti voi myös varastoitua juurien, varsien tai mukuloiden vakuoleihin. Nitraatin muuttuessa ammoniumiksi suurin osa nitraatista muuttuu epäorgaanisesta tyyppiä orgaaniseen muotoon. Orgaaninen typpi voidaan jakaa alhaisen molekyylipainon omaaviin typpiyhdisteisiin (aminohapot, amidit, peptidit, aminit, polyaminit jne.) sekä korkeamman molekyylipainon omaaviin typpiyhdisteisiin (proteiinit, nukleiinihapot, entsyymit jne.) (Gianquinto ja Bona 2000).

Kokonaistyyppipitoisuus (orgaaninen + epäorgaaninen typpi) kasvin nuorissa lehdissä on 4–5 % ja varsissa 2,5–3 % kuiva-aineesta. Varsissa on korkeampi nitraattipitoisuus ja alhaisempi orgaaninen typpipitoisuus kuin lehdissä. Typpipitoisuus laskee varsissa nopeammin

kuin lehdissä 15–75 vuorokauden kuluttua taimettumisesta, minkä jälkeen pitoisuus laskee tasaisesti (Gianquinto ja Bona 2000).

Nitraattipitoisuus on pienempi kasvin kukinnossa kuin hedelmissä/jyvissä, lehdissä, juurissa ja varsissa. Juuret ja mukulat sisältävät joko paljon tai vähän nitraattia, mutta vanhemmat solukot sisältävät aina enemmän nitraattia kuin nuoremmat solukot (Lollo 2006). Perunalla nitraattipitoisuus on nelinkertainen mukulan kuorikerroksessa ytimeen verrattuna ja pitoisuus pienenee kohti ydintä. Mukulan koko ei vaikuta nitraatin jakautumiseen mukulassa. Perunan kuoriminen vähentää nitraattipitoisuutta 10–20 % ja mukuloiden keittäminen 16–20 % (Blomberg ja Hallikainen 2000, Vorne 2001). Teollisesti käsitellyissä vihanneksissa on yleisesti korkeampi nitriittipitoisuus kuin tuoreissa vihanneksissa. Vastaavasti purkittuissa vihanneksissa on korkeampi nitriittipitoisuus kuin pakastetuissa (Corre ja Breimer 1979).

Perunoiden nitraattipitoisuudelle ei ole asetettu raja-arvoa, mutta yleisenä ylärajana pidetään 200 mg nitraattia perunakiloa kohden. Blombergin ja Hallikaisen (2000) mukaan kotimaisten perunoiden nitraattipitoisuus on laskenut viimeisen 20 vuoden aikana, ollen nyt keskimäärin 52 mg/kg. Tutkituissa perunaerissä on ollut 2–260 mg/kg nitraattia. Lajikkeiden välillä on ollut suuriakin eroja. Kotimaisen perunan kulutus on keskimäärin 60 kg/vuosi/henkilö, mikä tarkoittaa 9,9 mg nitraattia/vuorokausi/henkilö. Ulkomaisten tuonti-perunoiden nitraattipitoisuus on keskimäärin 172 mg/kg (vaihtelu 20–540 mg/kg)(Hallikainen 1993).

Yleisesti on vallalla käsitys, että luonnonmukaisesti tuotetussa perunassa on vähemmän nitraattia kuin tavanomaisesti tuotetussa perunassa. Näin toteaa myös Niemi ym. (1995) perunan mukuloiden nitraattipitoisuudesta Mikkelin ja Pohjois-Karjalan lääneissä. Pohjois-Saksassa ja Tsekeissä tehdyt nitraattitutkimukset tavanomaisesti ja luonnonmukaisesti tuotetuista mukuloista osoittavat myös luonnonmukaisesti tuotettujen perunoiden alhaisempaa nitraattipitoisuutta (Fisher ja Richter 1984, Hamouz 1999). Luonnonmukaisesti tuotetuissa perunoissa Tanskassa, Ruotsissa sekä Puolassa on 30–90 % alhaisempi nitraattipitoisuus kuin tavanomaisesti tuotetuissa perunoissa (Hansen ym. 2002). Orgaaniset lannoitteet eivät aina estä nitraattipitoisuuden nousua (Lehlerc ym. 1989). Etelä- Savossa ja Hämeessä ruokaperunan laatututkimuksissa luonnonmukaisesti tuotettujen perunoiden nitraattipitoisuus oli korkea, jopa 250 mg/kg (Kostamo 1991). Peruna oli satoa korjattaessa vielä tuleentumantonta, mikä osaltaan selittää tuloksia. Samoin Kemppaisen (1994) tutkimuksissa komposti-

lannoksella lannoitettujen perunoiden nitraattipitoisuus nousi väkilannoituksella tuotettuja perunoita korkeammaksi, vaikkakin pitoisuus jäi molemmilla lannoituksilla erittäin alhaiseksi. Luonnonmukaisesti tuotettujen perunoiden nitraattipitoisuuden nousuun vaikuttavat kasvukauden olosuhteet ja perunan kasvuvaihe korjuuhetkellä. Valitettavan usein juuri luonnonmukaisesti tuotetun perunakasvuston tuhoa lehtirutto, jolloin mukulasato on korjattaessa vielä tuleentumaton ja mukuloiden nitraattipitoisuus korkea. Koska peruna reagoi herkästi kasvukauden lämpö- ja kosteusvaihteluihin, tulisi perunalajikkeiden glykoalkaloidi (alfasolaniini, -kakoniini) ja nitraattipitoisuuksia seurata säännöllisesti eri vuosien sadoista (Vorne 2001). Glykoalkaloidit (turvallisuusmarginaali 100 mg/kg) ovat perunan suojausmekanismi tauteja ja tuholaisia vastaan (Fewell ja Roddick 1997, Percival ym. 1998, Johansson ja Olsson 2006).

2.3.4 Nitraatin haitat

Nitraatin esiintyminen kasvissa on osa luonnollista kasvin aineenvaihduntaa. Kasvit voivat varastoida suuriakin määriä nitraattia tai kuljettaa sitä solusta toiseen ilman haittavaikutuksia (Miedzobrodzka ym. 1992). Kasvin ammoniumpitoisuus ei yleensä nouse korkeaksi, mutta jos näin kävisi solunesteen pH:n noustessa yli seitsemään ja ammoniumin muuttuessa ammoniakiksi, pitoisuuden nousu olisi myrkyllinen kasville. Ammonium rikkoo solukalvojen rakennetta. Ihmisen päivittäisestä 70 mg nitraattiannoksesta 80 % tulee kasviksista (perunan osuus noin 20 %). Loput elimistön nitraatista ja nitriitistä tulevat juomavedestä (10 %) ja lisäaineista (10 %), joita on esim. juustoissa ja lihassa. Lisääntynyt kasvisten kulutus on mahdollisesti syynä suomalaisten päivittäisen nitraattiannoksen saannin nousuun (Hallikainen 1993).

Perunan aineenvaihdintahäiriöt aiheuttavat myös ongelmia ihmiselle nitriitin muodossa. Kasviin kulkeutuvan typen pitäisi pelkistyä perunan nitraattireduktaasientsyymin avulla nitriitin kautta ensin ammonium-ioniksi ja muuttua edelleen orgaaniseksi typpiyhdisteiksi (Liu ym. 2007). Nitraattireduktaasin häiriintyessä esim. valon puutteen, kasvukauden keskeytymisen tai kuivuuden takia nitriitit eivät pysty pelkistymään ammoniumioneiksi (Prosbaba 1996). Elimistöön kulkeutuvat nitraatit pelkistyvät ruoansulatuksessa nitriiteiksi, jotka puolestaan reagoivat typeä sisältävien yhdisteiden kanssa muodostaen nitroyhdisteitä. Nitriittien itsessään on todettu olevan mutageenisia ja syntyvien nitroyhdisteiden, nitrosoaminiinien, aiheuttavan muun muassa maksa- ja mahasyöpää (Shiotani 2004). Nitriitit vaikuttavat

veren hapenottokykyyn. Alle kolmen kuukauden ikäisiltä lapsilta puuttuu kokonaan methemoglobiiniireduktaasi, joka pelkistää syntyvän methemoglobiinin takaisin hemoglobiiniksi (Hallikainen 1993, Blomberg ja Hallikainen 2000, Kawashima ym. 2007). Myrkyllisyyden raja 60 kiloa painavalle ihmiselle on 1,67–5,0 g nitraattia ja 0,06–1,33 g nitriittiä. Vastaavat tappavat annokset ovat 4,8–200 g nitraattia ja 1,67–15 g nitriittiä (Corre ja Breimer 1979). Myrkyllisyyden lisäksi nitraattipitoisuuden nousu mukuloissa alentaa mukuloiden C-vitamiinipitoisuutta (Fisher ja Richter 1984, Machnacki ja Kopak 1998).

2.4 Maan orgaaninen aines ja typen mineralisaatio

2.4.1 Orgaanisen aineksen merkitys

Maan orgaaniseen ainekseen kuuluu kasveista ja eläimistä peräisin oleva kuollut aines ja sen orgaaniset hajoamistuotteet. Helposti hajoava orgaaninen aines toimii kasvien ravinnevarastona. Maan biologinen aktiivisuus edesauttaa tehokasta ravinteiden saantia eloperäisestä aineksesta. Maamikrobit tarvitsevat samoja ravinteita kuin kasvit, joten typen, fosforin ja rikin pitoisuus hajotettavassa aineksessa on tärkeää (Li ym. 2007). Maaperän orgaanisen aineksen määrä riippuu maaperän ominaisuuksista, pitkäaikaisesta viljelyhistoriasta, pinnanmuodoista ja ilmastosta (Huang ym. 1998, Leifeld ym. 2002). Orgaanisen aineksen muutokset maaperässä ovat hitaita. Viljelemättömillä mailla sekä pitkäaikaisilla nurmilla orgaanisen aineksen määrät ovat korkeammat kuin viljellyillä mailla (Ehaliotis ja Giller 1993, Hofman ja Salomez 2000).

Kasvin hiilihydraattilyijäämä takaa aktiivisen ravinteiden vapautumisen. Suurin osa juurten eritteistä on hiilihydraatteja, jotka toimivat mikro-organismien ravintona. Mikro-organismit tuottavat ravinteiden vapautumista varten oksaalihappoa, sitruunahappoa, glukoosihappoa, D-omenahappoa sekä meripihkahappoa, jotka edesauttavat fosforin ja kaliumin hyväksikäyttöä maasta. Erityisesti *Aspergillus*-sieni pystyy irrottamaan kaliumia maasta ja lisäämään kasveille käyttökelpoista fosforia ja mineraalityppeä maahan (Mehana ja Wahid 2002). *Aspergillus*-sieni reagoi maan kaliumpitoisuuden laskuun tuottamalla orgaanisia happoja, jotka vaikuttavat kiilteen rakenteen hajoamiseen. Kasvin kaliumin oton lisääntyessä juurten läheinen kaliumpitoisuus laskee, jonka seurauksena kasvi sienten ja bakteerien kanssa vuorovaikutuksessa erittää mineraalien rakenneionien kelaattoreita tai vastaavia ent-

syymejä. Kasvit voivat suotuisissa kasvuoloissa (ilma-, vesi- ja lämpö, pH 5,5–7,5) korvata ravinnetarpeensa kokonaan aktiivisella ravinnemobilisaatiolla (Scheller 1991).

2.4.2 Orgaanisen aineksen hajotus

Maaperäeliöstö ja mikro-organismit käyttävät kasvien ja eläinten jätteitä ravinnokseen samalla hajottaen niitä. Hajoavan kasviaineksen muuttuessa maan orgaaniseksi ainekseksi lisääntyy maan ligniinipitoisuus (Huang ym. 1998, Berg ja Meentemeyer 2002, Leifeld ym. 2002). Hajotettava kasviaines sisältää myös hemiselluloosaa, selluloosaa, sokeria, tärkkelystä, vahoja, hartseja, parkki- ja väriaineita sekä typpipitoisia yhdisteitä (proteiineja ja nukleinihappoja) (Huang ym. 1998). Eloperäisen aineksen hajotuksen lopputuotteina vapautuu yksinkertaisia epäorgaanisia yhdisteitä kuten hiilidioksidia, vettä, ammoniumia ja sulfaattia. Hiilidioksidin lisääntyessä maan mikrobiologinen biomassa lisääntyy, samoin kuin sokereiden, hemiselluloosan ja typpiyhdisteiden aktiivisuus maassa (Drissner ym. 2007). Ravinteiden vapautumisen yhteydessä vapautuu myös energiaa ja sen rinnalla tapahtuu humuksen muodostumista (Azam ym. 2005).

2.4.3 Typen mineralisaatio

Nitraattityppeä (NO_3^-) ja ammoniumtyppeä (NH_4^+) kutsutaan yhteisellä nimellä mineraalityppi (Shepherd ja Postma 2000). Mineraalitypen määrä riippuu eloperäisen aineksen määrästä ja sen kemiallisesta koostumuksesta. Myös eloperäisen aineksen hiili-typin suhde vaikuttaa mineraalitypen määrään. Hiili-typin suhde tarkoittaa hajotuskelpoisten hiilihyaattien ja typen suhdetta sekä sitä hiilen osaa, joka muuttuu humukseksi (Berg ym. 2001). Mineraalitypen määrä maassa on 50–100 kg/ha, riippuen kasvin kasvuvaiheesta (Shepherd ja Postma 2000). Lannoittamattomien maiden mineraalityppimäärä on 50–200 kg/ha (Ingestad 1988). Hiilihyaateissa oleva hiili on energialähteenä hajotusbakteerien lisääntymiselle (Whitehead 1995). Maan happamuuden vähentyminen ja magnesiumin lisääntyminen sekä tehoisan lämpötilasumman nousu nostavat maan hiilipitoisuutta, kun taas kosteus alentaa maan hiilipitoisuutta (Rinne ym. 1993). Esimerkiksi oljissa on paljon hiiltä, joka toimii energiana hajottajabakteereille ja maan hajotustoiminta vilkastuu. Samanaikaisesti syntyvä typen puute on kuitenkin otettava maan typpivaroista. Typen kiertokulku pysähtyy väliai-

kaisesti. Kasviaineksen sisältäessä runsaasti typpeä muodostuu paljon bakteereja, joiden elintoimintoihin ei riitä energiaa. Bakteerit kuolevat ja typpi vapautuu kasvien käyttöön. Hiili-typπισuhteen ollessa alle 20 katsotaan typen vapautuvan liian nopeasti ja typen huuhtoutumisriski kasvaa. Maaperän orgaanisen aineksen alhainen hiili-typπισuhde saattaa aiheuttaa kilpailua tyypestä (Ingestad 1988). Typpi taas on kasveille käyttökelpottomassa muodossa hiili-typπισuhteen ollessa yli 30. Hiili-typπισuhteella on vain vähän vaikutusta maan nitraattipitoisuuteen (Vos ja Mackerron 2000). Hiili-typπισuhde on ruisvirnalla (varsi 12, juuri 13) ja sinimailasella (varsi 22, juuri 22) alhaisempi kuin lupiinilla (varsi 26, juuri 50). Typen käyttökelpoisuutta ajatellen lupiinin juurien hiili-typπισuhde on liian korkea (Honeycutt 1997). Hiili-typπισuhde kauralla on 38, punanadalla 31, palkokasveilla 19–28 ja palkokasvi-ruisvirna-kauraseoksilla jopa 29–40 (Ladd ym.1986, Broersma 1993).

Typen mineralisoitumisen ajankohtaan ja nopeuteen vaikuttavat eloperäisen aineksen hajoituskelpoisuus sekä maan mikrobitoimintaan vaikuttavat kasvutekijät kuten lämpötila, kosteus, ravinteiden riittävyys, happamuus ja hapen saanti (Waschkies ja Huttl 1999). Lämpötilan kohotessa mineralisoituminen nopeutuu selvästi (Andersen ja Jensen 2000). Suomen lyhyt kesä alentaa maan biologista aktiivisuutta ja hidastaa eloperäisen aineksen hajoamista. Mineralisaatioon vaikuttavat tekijät huomioon ottaen mineralisoituminen voi kestää joko kaksi viikkoa tai useampia vuosia, mistä johtuen maasta vapautuvan typen määrää on vaikea arvioida. Myös lannoitustavalla on vaikutusta mineralisoitumiseen. Mineralisaatiokapasiteetti on jopa puolet tehokkaampi orgaanisella lannoituksella (typpeä 80 kg/ha) kuin epäorgaanisella lannoituksella (Granstedt 1995, Granstedt ja Kjellenberg 1996).

Viljelykierrolla ja kasvinjätteillä on keskeinen vaikutus mineralisaation nopeuteen ja määrään (Broersma ym. 1993, Honeycutt ym. 1993). Härkäpavun ja pitkäaikaisen nurmen jälkeä mineralisaatiota on enemmän verrattaessa niitä yksipuoliseen kauran viljelyyn tai kaura – nurmiviljelykiertoon (3+3v). Puhtaiden nurmipalkokasvikasvustojen jälkeen maan mineraalityppipitoisuus on syksyisin seosnurmia (palkokasvi-nurminata) korkeampi. Eri palkokasvien välillä (puna-apila, valkoapila, sinimailanen, rehuvoihenherne ja keltamaite) ei ole selkeitä eroja (Isolahti ym. 2001). Apilapitoisista nurmista tapahtuu selvää mineralisoitumista jo syksyllä (Linden ja Wallgren 1993). Maan mineraalityppipitoisuuteen vaikuttaa enemmän se, miten kukin palkokasvilaji menestyy kasvupaikallaan. Maan mineraalityppivarat lisääntyvät talven aikana 2–20 kg/ha. Kolmen kuukauden kuluttua kyntämisestä maan mineraalityppivarat nousevat nurminatakasvustoilla keskimäärin 17 kg/ha, mutta keltamaitenurminataseoksella peräti 45 kg/ha. Suurin muutos maan mineraalityppivaroissa tapah-

tuu kasvuston kuolemisen jälkeen (Isolahti ym. 2001). Keväällä palkokasvien jälkeen kyntökerroksessa on 30 kg/ha mineraalityppeä (Känkänen 1995). Pitkäaikaisessa viljelykierrossa (ohra, apila, ruis, herne-kaura, peruna, herne-kaura) maan nitraattityppimäärä on korkeampi epäorgaanisesti kuin orgaanisesti lannoitetuilla mailla. Orgaanisesti lannoitetuilla mailla taas ammoniumtyppimäärä on hieman epäorgaanisesti lannoitettuja maita korkeampi (Rinne 1993). Typen mineralisaatioon karjanlannasta vaikuttaa edellä olevien tekijöiden lisäksi lantalaji, lannan levitysmäärä ja -ajankohta sekä maalaji (Hebert 1991, Debosz 1994).

2.5 Maan viljavuuden parantaminen

2.5.1 Viherlannoitus ja esikasvivaikutus

Viherlannoitus parantaa maan viljavuutta. Viherlannoituskasvustoa viljellään joko koko kasvukauden ajan pääviljelyskasvina tai alus- ja välikasvien tavoin. Viherlannoitus sisältää kaiken maahan muokattavan kasviaineksen, myös rikkakasvit ja satojätteet. Viherlannoituksella typensidonta ilmasta tehostuu ja viherlannoituskasvit nostavat syvemmistä maakerroksista ravinteita pintamaahan. Fosforin, typen ja hiilen pitoisuus on alhaisempi syvemmissä maakerroksissa kuin pintamaassa (Pereira ym. 2003).

Viherlannoituksella oli tärkeä rooli Välimeren maissa jo 2000 vuotta sitten. Vielä varhaisemmin viherlannoitusta käytettiin riisipeltojen lannoitukseen Kiinassa (Parsons 1984). Yleisemmin Euroopassa viherlannoitusta käytettiin keskiajalla, kunnes se yleistyi 1900-luvulla jäädäkseen sekä Eurooppaan että Amerikkaan. Aluksi viherlannoitusta käytettiin köyhillä hiekkamailla parantamaan maan hedelmällisyyttä, jolloin mesikät ja lupiinit olivat syvän ja laajan juuristonsa ansiosta käytetyimpiä viherlannoituskasveja (Wivstad 1997). Virnoja viherlannoitteena on käytetty Suomessa 1940-luvulla ja karjattoman viljelyn yleistyessä 1950-luvulla viherlannoitusta suositeltiin maataloille. Väkilannoitteet syrjäyttivät viherlannoituksen, kunnes maan rakenteen heikkeneminen, ravinteiden huuhtoutuminen, viljelyn yksipuolisuus ja ylituotanto pakottivat käyttämään vaihtoehtoisia lannoitusmenetelmiä. 1980-luvulla 44 % luonnonmukaisen tuotantotavan viljelijöistä oli käyttänyt viherlannoitusta (Mela 1988).

Yleensä viherlannoitukseen käytetään erilaisia palkokasveja tai heiniä seoksena palkokasvien kanssa. Paras viherlannoitusvaikutus on kahden tai kolmen kasvurytmiltään toisiinsa sopivan viherlannoituskasvilajin yhdistämisellä (Seresinhe ym. 1994, Tracy ja Sanderson 2004). Kasvien typensitomiskykyä ja korkeaa kuiva-ainepitoisuutta pidetään tärkeimpänä viherlannoituskasvien valintakriteerinä. Viherlannoituskasvin tulisi myös ehkäistä rikkakasvien taimettumista ja kyetä ottamaan hyvin ravinteita syvistäkin maakerroksista (Wivstad 1997). Muita viherlannoituksen tavoitteita ovat monimuotoisuuden lisääminen, maan rakenteen parantaminen, ravinteiden huuhtoutumisen estäminen, maan pinnan suojaaminen, tauti- ja tuholaispaineen vähentäminen sekä kasvuston käyttö rehuksi (Parsons 1984). Viherlannoituksen esikasviarvo riippuu viherlannoituksen typpimäärästä sekä viherlannoituksen maahan tuottamasta ravinnosta mikrobeille. Ympäristöoloilla on siten tärkeä merkitys viherlannoituskasvuston lannoitusvaikutukseen (Forsman ym. 2004).

Tällä hetkellä käytetyimmät viherlannoituskasvit Pohjois-Euroopassa ovat puna-apila (*Trifolium pratense L.*), valkoapila (*T. repens L.*), persianapila (*T. resupinatum L.*), pelto- eli rehuvirna (*Vicia sativa L.*) ja keltamesikkä (*Melilotus officinalis Lam.*) (Wivstad 1997). Suomessa tärkeimmät viherlannoituskasvit ovat apilanurmi ja yksivuotiseen virnaan pohjautuva seoskasvusto. Sinimailanen (*Medicago sativa L.*) tuottaa korkeimman viherlannoitussadon ja on käytetyin viherlannoituskasvi Argentiinassa, Kanadassa, Kiinassa, Italiassa, Venäjällä ja USA:ssa (Frame ym. 1998).

Viherlannoituskasvuston niiton tavoitteena on säilyttää viherlannoituskasvi pitkään kasvullisena. Palkokasvien niitto yhdestä kahteen kertaan kesässä lisää sidotun typen määrää ja ehkäisee rikkakasvien kasvua (Griffin ja Hestermann 1991). Virnojen oikea niittoajankohta on ennen kukintaa ja niittokorkeus 10 cm. Hyvän odelman takaamiseksi kasvisänkeän jätetään yksi hankasilmu. Palkokasvien niitto syksyllä lisää typen huuhtoutumisriskiä (Reents ja Möller 2000). Puna-apila niitetään kukinnan alkaessa. Puna-apilakasvuston niitto 15 cm verrattuna 5 cm tai 10 cm lisää juurten kuiva-ainemassaa ja jälkikasvun lehtialaa ja nitrogeenaasin aktiivisuutta (Carlsson ja Huss-Danell 2005). Valkoapilalla niittokorkeus ei vaikuta symbioottiseen typensidontaan toisin kuin se vaikuttaa mineraalitypen ottoon maasta (Seresinhe ym. 1994). Biologista typensidontaa tapahtuu enemmän niitettäessä kasvusto kolmeen kuin kuuteen kertaan (Carlsson ja Huss-Danell 2003). Kaksivuotisen puna-apilaimoteinurmen jälkeen perunasato on 13 % suurempi ilman esikasvin niittoa ja korjuuta (Lomakka 1994). Yksivuotisilla viherlannoituskasveilla lannoitusvaikutus perustuu enemmän maanpäälliseen versosatoon, joten niiden niittäminen vaikuttaa seuraavaan satoon mo-

nivuotisten kasvustojen niittoa enemmän. Niiton jälkeen typensidonta keskeytyy viikoksi, sillä kasvin vararavinto kuluu uusien versojen kasvattamiseen. Niitto kiihdyttää juuriston uudistumista ja uusien nystyröiden syntymistä (Farnham ja George 1994).

Viherlannoituskasvuston niittäminen ja silppuaminen nopeuttaa typen mineralisoitumista, mutta lisää ammoniakkin haihtumista. Apilanurmisilpusta päätyy maahan typpeä 32–52 kg/ha. Typpeä vapautuu enemmän niitettäessä kasvusto kaksi kuin neljä kertaa. Helppoliukoisen fosforin määrä lisääntyy 7–15 kg/ha kasvukauden aikana ja neljä niittokertaa lisää fosforia enemmän kuin kaksi (Malgeryd ja Tortensson 2003). Apilanurmiesikasvin silppuaminen kolmesti kasvukauden aikana tuottaa hieman suuremman perunasadon verrattuna kolmeen niittokertaan (Krause ym. 2005). Viherlannoituskasvuston (virna-kauraseos ja timotei-alsikeapila) silppuaminen ja silpun maahanmuokkaus ei kuitenkaan lisää typen vapautumista viherlannoitusmassasta (Forsman ja Lehto 2004). Apilanurmiseoskasvuston silppuaminen ja maahanmuokkaus vähentää symbioottista typensidontaa jopa 60 kg/ha verrattuna apilanurmiseoksen niittoon ja vihermassan korjuuseen (Hatch ym. 2007).

Esikasvivaikutus on esikasvin typen vapautumista. Se on riippuvainen maahan muokattavan aineksen määrästä, esikasvin typpipitoisuudesta, maan biologisesta aktiivisuudesta, jota kuvataan humustumiskertoimella, muokkausintensiteetistä, kasviaineksen kemiallisista ja fysikaalisista ominaisuuksista, maan lämmöstä sekä typen häviöistä (Granstedt 1993). Esikasvivaikutus on yleensä 0–60 kg typpeä hehtaarille. Parhaimpiin esikasviarvoihin ja samalla korkeimpiin typpipitoisuuksiin päästään kyntämällä (Granstedt 1993). Viherlannoituskasvustoa, mikä vastaa 20 000–30 000 kg/ha karjanlantalannoitusta voidaan pitää hyvänä. Voimakkaasti typpeä sitova esikasvi voi multavilla mailla alentaa perunan tärkkelyspitoisuutta ja nostaa mukulan nitraatti- ja aminohappopitoisuutta samoin kuin liiallinen typpilannoitus (Roinila ja Heiskanen 1998).

Typensitojakasvin lannoittaminen karjanlannalla lisää kasveille käyttökelpoisen typen määrää ja se lisää kasvin typensidontakykyä (Huss-Danell 1997). Apilan lannoittaminen karjanlannalla lisää apilan kuiva-aine- ja typpisatoa (Hatch ym. 2007). Typpilannoitus 60–90 kg/ha tuottaa suurimmat kuiva-ainesadot (Mela 2003). Kalilannoitukseen apilalle käytetään 0–10 000 kg/ha biotiittia, mikä vastaa 30 kg/10 000 kg kaliumlannoitusta. Fosforilannoitukseksi käy apatiittikivijauhe 0–1000 kg/ha (Seuri ym. 2001). Viherlannoituskasvustoa ei tarvitse lannoittaa, mikäli ravinnetilanne maassa on välttävällä tasolla.

Perunan esikasviarvon ollessa 100 muita suhteellisia esikasviarvoja ovat ohra 103, kaura 110, nurmi 101 sekä herne 110 (Sallasmaa 1990). Peruna vapauttaa typpeä ensimmäisenä jälkivaikutusvuonna 20–40 kg/ha. Lannoittamattoman perunan sato pysyy ensimmäisenä ja toisena perunavuonna kohtalaisena, jonka jälkeen se nopeasti laskee. Tavanomaista perunaa tuottaessa perunamonokulttuurin tyypilliseksi ongelmaksi muodostuu maan ravinnetilan huononeminen, jolloin kaliumluvat laskevat ja fosforiluvat nousevat (Perunantutkimuslaitos 1986).

2.5.2 Viljelykierto

Viljelykierron vaikutus on eri kuin esikasvivaikutus. Viljelykiertovaikutus tarkoittaa maan typen vapautumista, kun taas esikasvivaikutus on esikasvin typen vapautumista. Vuotuinen viljelykiertovaikutus typen osalta on 20–60 kg/ha typpeä. Lantakompostin sisältämästä typestä puolet sitoutuu humukseen, josta typpi vapautuu seuraavan 10–100 vuoden kuluessa. Myös huomattava osa viherlannoituskasvustojen typestä, jopa 10–20 vuoden ajan, kuluu maan typpipitoisuuden nostamiseen siirryttäessä yksipuolisesta viljanviljelystä luonnonmukaiseen viljelyyn (Gransted 1993).

Viljelykierrolla on suuri merkitys hyvälaatuisen ruokaperunan tuottamiseen. Italianraiheinä on puna-apilaa ja viljoja parempi kasvi perunan viljelykiertoon. Italianraiheinä tuottaa enemmän biomassaa, ylläpitää maaperän orgaanisen hiilen pitoisuutta ja tuottaa suuremman perunasadon kuin puna-apila ja viljat viljelykierrossa (Carter ym. 2003). Typensitojakasvit puhdaskasvustoina viljelykierrossa saattavat tuottaa liikaa typpeä perunan käyttöön (Haase ym. 2007b). Takala ym. (1988) on kuitenkin todennut, ettei viljelykierto vaikuta perunan kuiva-aine-, tärkkelys- eikä nitraattipitoisuuteen. Keski- ja itäsuomalaiset luonnonmukaisen perunan tuottajat ovatkin kokeneet viljelykierron järjestämisen yhdeksi ongelmakohtaksi perunan viljelyssä (Heikkilä 1998).

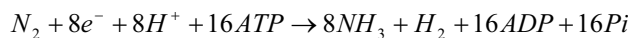
2.6. Perunan lannoitus typensitojakasveilla

2.6.1 Biologinen typensidonta

Typpeä sitovat kasvit voidaan jakaa symbioottisen typen kuljetusmuotojen mukaan kahteen ryhmään. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat amideja kuljettavat kasvit, kuten apila, herne ja sinimailanen, joilla on soikeat juurinysträt. Toiseen ryhmään kuuluvat urideja kuljettavat kasvit, kuten trooppiset palkokasvit ja soija, joilla on pyöreät juurinysträt (Vance 1997). Kehittymisnopeuden mukaan juurinysträbakteerit jaetaan nopeasti kehittyviin bakteereihin (*Rhizobium*) ja hitaasti kehittyviin bakteereihin (*Bradyrhizobium*, trooppiset ja substrooppiset kasvit)(Gibson 1990).

Typensitojabakteerit tunkeutuvat nuoriin juurikarvoihin juurten pituuskasvuvyöhykkeellä. Bakteerin kulkeutuessa kohti juurta, juuri erittää flavonoideja ja betaiineja, jotka aktivoivat bakteerien *nod*-geenejä. Bakteerien *nodD*-geeni aikaansaa kitiinin kaltaisen lipooligosakkaridi (*nodA*, *nodB*, *nodC*) synteesin kautta nystyröinnin alkamisen. Kasvit erittävät juuristaan proteiineja, jolloin bakteerin on helpompi tarrautua juurikarvoihin. *Nod*-geenit indusoivat juurikarvan kiertymisen rullalle, jolloin syntyy juurinysträ (Vance 1997, Loh ja Stacey 2001, Suominen ym. 2003). Nystyröiden kuorikerroksessa on infektoitumattomia soluja ja ydinkerroksessa on sekä infektoitumattomia että infektoituneita soluja sisältäen symbioottisia bakterioideja (Layzell ja Craig 1997).

Typen sitominen ilmasta ja sen muuttaminen kasveille käyttökelpoiseen muotoon vaatii paljon energiaa, mikä saadaan isäntäkasvilta sakkaroosista ja dikarboksyylihapoista (Gibson 1990). Juurinysträssä typpi sitoutuu ammoniakiksi ja kulkeutuu kasvissa eteenpäin aminohappoina. Tätä reaktiota katalysoi nitrogenaasientsyymi, mikä muodostuu F- ja Mo-Fe- proteiineista (Marschner 1995). Reaktio on:



Rhizobium- tyyppibakteerit elävät hapekkaissa oloissa, jolloin ne eivät pysty sitomaan typpeä, vaan käyttävät muiden bakteerien tavoin maassa olevaa nitraattia, ammoniumia ja aminohappoja. Happi ehkäisee nitrogenaasi-entsyymin toimintaa, joten symbioottinen typensidonta tapahtuu hapettomissa oloissa juurinyströiden sisällä leghemoglobiinin avulla (Sprent ja Sprent 1990).

Biologisen typensidonnan tehokkuus, nystyröiden muodostumisen ajankohta ja nystyröiden määrä sekä koko riippuu viljelykasvin ja bakteerien perinnöllisistä ominaisuuksista sekä ympäristötekijöistä (Gibson 1990). Juurinystyröiden typensidontaa ehkäisevät maan happamuus sekä ammoniumtypen, kalsiumin, magnesiumin, fosforin ja sinkin puute maassa (Hellsten ja Huss-Danell 2000, Bakken ym. 2004, Nykänen ym. 2007). Nystyröitymistä haittaavat myös hapen puute ja runsas liukoisen typen määrä maassa, koska liiallinen typi alentaa hapen diffuusiota infektoituneisiin soluihin, hidastaa soluhengitystä sekä nitrogenaasi-entsyymien aktiivisuutta. Myös liiallinen happipitoisuus infektoituneessa solussa ehkäisee nitrogenaasin toimintaa. Palautuminen tästä happistressistä kestää noin vuorokauden (Layzell ja Craig 1997). Suuret nystyrät (2 mm–1 cm) sitovat typpeä pieniä nystyröitä tehokkaammin. Typensidontaa haittaavan happamuuden vaikutusta voidaan vähentää ympärimällä kylvösiemen bakteeriympillä. Jokaiselle palkokasvilajille on oma bakteerilajinsa, joka voidaan ympätä siemeneen. Biologinen typensidonta kuluttaa typenottoprosesseista eniten hiilidioksidia, 15–22 g/g lopputuote (Hay ja Porter 2005).

Typensidonnan tehokkuudessa otetaan huomioon viljelyjärjestelmä ja tehokkuuden vaihtelu pelto-olosuhteissa. Typensidonnan tehokkuuden yleisimmät mittaamenetelmät ovat ¹⁵N *natural abundance*; NA ¹⁵N *isotope dilution*; ID, *Total nitrogen difference*; ND ja *Acetylene reduction assay*; ARA. NA ja ID ovat käyttökelpoisimmat menetelmät kasvukauden aikaisiin peltomittauksiin. Useimmat mittaamenetelmät ottavat huomioon vain maanpäällisen sadon. Palkoviljoilla on vähemmän kuin 10 % kuiva-ainesadosta juurissa, mutta monivuotisilla typensitojakasveilla jopa 60 %. Täten mittaamenetelmät eivät huomioi riittävästi monivuotisten typensitojakasvien typensidontaa. Kuivuus ja ravinteista etenkin fosfori lisäävät juuri/varsuhdetta, jolloin typensidonnan tehokkuus vaihtelee vuosittain samallakin typensitojakasvilla (Carlsson ja Huss-Danell 2003).

Palkokasvin esikasvivaikutus on suoraan verrannollista esikasvin biomassan määrään ja sen typpipitoisuuteen (Taulukko 2). Puna-apilan maanpäällisen osan typpisato on jopa 373 kg/ha/vuosi, valkoapilan 545 kg/ha/vuosi ja sinimailasen 350 kg/ha/vuosi. Keskimääräiset typpisadot ovat sinimailasella 45 kg suuremmat kuin puna-apilalla ja 167 kg suuremmat kuin valkoapilalla. Puna-apila tuottaa puolestaan 23 kg enemmän typpeä kuin valkoapila. Puna-apilan biologisesti sitoma typpi määritetään karkealla, mutta käyttökelpoisella kaavalla (Carlsson ja Huss-Danell 2003 (1), Nykänen ym. 2007 (2)):

$$0,026 \times \text{kuiva} - \text{ainesato}(\text{kg} / \text{ha} / \text{v}) + 7(1)$$

$$0,027 \times \text{kuiva} - \text{ainesato}(\text{kg} / \text{ha} / \text{v}) + 4(2)$$

TAULUKKO 2. Viherkesantokasvien ja oljen kuiva-ainesadot ja typpipitoisuudet (Holte ja Keulen 1989, Gransted 1993, Hofman ja Salomez 2000).

viherkesantokasvi	kuiva-ainesato kg/ha	N (% kuiva-aineesta)
virnat	3000–4500	2,4–3,6
valkoapila	3500	2,8–3,1
kaura/herne/rehuvirna		3,1
persianapila		2,5–2,8
kaura/herne/persianapila		2,8
puna-apila	4700	2,4
apila-heinä (50:50)		2,2–2,3
italian raiheinä	4500–5000	1,3–1,8
viljan olki		0,5–0,7

Typensidonnan suuruus riippuu palkokasvien osuudesta nurmessa sekä kasvin kehitysrytmistä. Esimerkiksi kasvuston palkokasvipitoisuuden ollessa 20 %, sidotun typen määrä on 20–70 kg/ha (kuiva-ainetta 4000–9000 kg/ha), 80 % palkokasvipitoisuudella typensidonta on 90–250 kg/ha ja 100–325 kg/ha 100 % palkokasvipitoisuudella (Granstedt 1993). Palkokasvipitoisuuden laskiessa kasvustossa alle puoleen, typen poistuma kasvustosta on enemmän kuin sen saanti. Suomen oloissa maan mineraalityypivarat lisääntyvät talven aikana 2–20 kg/ha. Osa tyydestä myös huuhtoutuu talven aikana, mikä aikaansaa typpihävikkiä. Eri palkokasvien typensidonnan suuruus riippuu myös niiden menestymisestä kasvu- paikalla (Isolahti ym.2004).

Tavanomaisessa perunanviljelyssä palkokasvien jälkeen perunan typpilannoitusosuudesta vähennetään noin 40 kg/ha (Rahkonen 1995). Palkokasvien käyttö perunan esikasvina lisää 10–50 % perunasatoa verrattuna yksipuoliseen perunanviljelyyn tai palkokasvittomaan viljelykiertoon (Griffin ja Hestermann 1991). Karjanlannan käyttö palkokasvin jälkeen voi nostaa mukulan nitraattipitoisuutta (Srikumar ja Ökerman 1990).

2.6.2 Virnan esikasvivaikutus

Virna on yksivuotinen palkokasvi, jolla on hidas alkukehitys ja voimakas juuristo. Perunan esikasvina käytetään sekä rehu- että ruisvirnaa. Virna kylvetään 4–5 cm syvyyteen mahdollisimman aikaisin pitkän kasvuajan vuoksi. Hitaan alkukehityksensä vuoksi virna ei pysty kilpailemaan rikkakasvien kanssa elintilasta, joten yleensä sitä viljellään yhdessä viljan, persianapilan ja raiheinän kanssa. Virnan puhdaskasvuston siemenmäärä on 80–120 kg/ha ja seoksen 20–50 kg/ha. Virnan kylvötiheys on 140 kpl/m². Edellä olevien tekijöiden lisäksi kylvömäärään vaikuttavat kasvupaikka ja maalaji. Esimerkiksi hietamailla voidaan käyttää 2/3 pienempää kylvömäärää kuin jäykällä savimailla. Happamille maille kylvettäessä virnan siemen on ympäröivä typpibakteereilla (Virolainen 1992).

Virnat kasvattavat kaksinkertaisen versosadon (6000 kg ka/ha) muihin palkokasveihin verrattuna, mutta juurimassa jää neljäsosaan puna-apilasta, jolla se on 4000–5600 kg/ha (Varis ym. 1983, Känkänen 2001). Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ruukissa virnojen kuiva-ainesadot ovat 2000–5200 kg/ha ja typpisadot 45–140 kg/ha. Kasvustoja lannoitettiin kylvön yhteydessä väkilannoksella (N-P-K 40-0-30)(Lehto 1998). Niitettäessä rehuvirna kaksi kertaa kasvukauden aikana saadaan jopa 5–7 tonnia ka/ha ja siitä 200 kg/ha typpisato (Höök 1993). Virnojen jälkeen viljan sato on 500–800 kg/ha suurempi kuin muiden yksivuotisten palkokasvien jälkeen (Vuorinen 1993, Känkänen 2001). Sekä rehu- että ruisvirna tuottavat esikasveina 120–200 kg/ha tyyppiä, maanpäällisten osien typpipitoisuuden ollessa 2,9–3,1 % kuiva-aineesta (Griffin ja Hestermann 1991, Honeycutt ym. 1996, Honeycutt 1997). Hyvästä versosadosta johtuen virnat tuottavat kahdesta seitsemään kertaa suurempia nitraattityppimääriä maahan kuin muut yksivuotiset palkokasvit (Vuorinen 1993, Känkänen 1995). Niinpä virnavaltainen esikasviseos tuleennuttaa perunan muita esikasveja myöhemmin ja aiheuttaa korkeimmat maan liukoisen typen pitoisuudet (Väisänen ja Tontti 2005). Ruisvirna esikasvina parantaa perunoiden laatua ja lisää perunan satoa 4000 kg/ha, verrattuna peruna- tai westerwoldin raiheinäesikasviin tai kemialliseen kesantoon (Perunantutkimuslaitos 1993).

2.6.3 Apilan esikasvivaikutus

Apilat ovat pienisiemenisiä, monivuotisia palkokasveja, joiden taimettuminen on heikkoa kuivina keväinä. Puna-apila menestyy parhaiten kivennäismailla joiden happamuus on vähintään 5,4 (Takala 1998). Puhdaskasvuston kylvömäärää on 10 kg/ha puna-apilalla, 3–6 kg/ha valkoapilalla ja 10–14 kg/ha persianapilalla (Virolainen 1992). Kasvuun lähdettyään apila muodostaa voimakkaan juuriston. Apilat soveltuvat sekä yksi- että monivuotiseksi esikasviksi joko yksinään tai seoksena, esimerkiksi 3 kg timoteita ja 3 kg puna-apilaa/ha. Nurminataa voidaan käyttää seoksessa timotein sijaan 6–7 kg/ha (Virolainen 1992). Biologisen typensidonnan tehostamiseksi puna-apilan siemenet tulisi ympätä oikealla bakteerikannalla. Apilanurmi perustetaan yleisimmin suojaviljaan, mutta kesantoon apila voidaan perustaa ilman suojaviljaa. Apiloilla on kyky hyödyntää maan varastoravinteita ja kivijauheita heinäkasveja tehokkaammin. Puna-apilasadon biologinen typensidonta (BTS) voidaan laskea apilan tyyppisadon ja maan nitraattitypen avulla (Carlsson ja Huss-Danell 2003):

$$BTSg / m^2 \equiv kuiva - ainesato(g / m^2) \times apilan\ tyyppipitoisuus(\%) + 1,268 \times maan\ nitraattipitoisuus\ keväällä(g / m^2)$$

Puna-apilan vahva juuristo vaikuttaa apilan hyvään jälkivaikutus- ja typentuottokykyyn. Puna-apilan juuret sisältävät enemmän ligniiniä ja pektiiniä sekä vähän enemmän selluloosaa ja vähemmän hemiselluloosaa kuin raiheinän juuret (Whitehead 1979). Puna-apilan juuristo painaa kuiva-aineeksi laskettuna noin 5600 kg/ha, josta 2,3 % on tyypeä (Varis ym. 1983). Tuorepainoltaan se vastaa 30 000–35 000 kg/ha karjanlantaa. Toisen vuoden puna-apilan juuristomassa on maalajista riippuen 2520–3390 kg/ha, kokonaistyyppipitoisuuden ollessa 2,04 % (Hess 1989, Faure 1998, Takala 1998). Maan mineraalitypen määrä puna-apilan jälkeen on syksyllä 24,8–64,7 kg/ha ja seuraavana keväänä 38,2–79,9 kg/ha (Isolahti ym. 2004).

Apilan hyvään esikasviarvoon vaikuttaa myös maalaji. Paremman viljasadon hietamailla on tuottanut kaksivuotinen puna-apila esikasvina ja hiesumailla yksivuotinen puna-apila (Vuorinen 1993). Puna-apilan tuottama sadonlisä viljalle on 100–600 kg/ha (Vuorinen 1993, Nykänen ym. 1998). Viljan lannoitusta voikin apilan jälkeen vähentää 40 kg/ha sadon siitä kärsimättä (Känkänen 1995). Suurin perunasato korjataan kaksivuotisen puna-apila timoteinurmen jälkeen verrattuna nurmi, herne-kaura tai rapsiesikasviin (Lomakka 1994). Puna-apila-timoteinurmi tuottaa perunan käyttöön 90 kg/ha tyypeä, 6 kg/ha fosforia

sekä 130 kg/ha kaliumia (Faure 1998). Puna-apilan vaikutuksesta perunan sato nousee 5000 kg/ha (Wivstad ja Hagman 1999).

2.7 Perunan lannoitus karjanlannalla

Karjanlannan typen käyttökelpoisuus on alhaisempi kuin väkilannoitetytyn (Kemppainen 1989). Karjanlannan typpilannoitusvaikutus määritellään liukoisen typen määrällä lisättyinä kasvukauden aikana vapautuvan typen määrällä (Rajala 1999). Orgaanisten lannoitteiden typen hyväksikäyttöaste on 65 %, mikä on väkilannoitukseen verrattuna alhainen. Typen hyväksikäyttöaste vaihtelee lannan ominaisuuksien ja käsittelytavan sekä maaperä- ja sääolojen mukaan (Roinila ja Heiskanen 1998). Kuivikelantakompostin jälkivaikutus on 10–30 kg N/ha levitystä seuraavana vuonna ja toisena jälkivaikutusvuonna määrä on puolet edellisestä, joten se ei vaikuta kuin maan luontaisen viljavuuden lisääjänä ja ravinteiden irrottajana (Leinonen 1999). Karjanlantakomposti lisää orgaanisen hiilen pitoisuutta ja määrää maassa (Lynch ym. 2005). Karjanlannan vaikutus on ensimmäisenä jälkivaikutusvuonna 3,5 % levitysvuoden kokonaistypestä ja toisena jälkivaikutusvuonna 2,2 % (Kuisma 1993).

Karjanlannan määrällä ei ole suurta vaikutusta perunan laatuun tai sadon määrään viljavassa maassa (Roinila ym. 2003). Lannan levitysmäärät eivät saa kuitenkaan ylittää 30 000 kg/ha ja lannan ravinnemääritys on tehtävä aina (Kuisma 1993). Takala (1988) on käyttänyt 40 000–60 000 kg/ha karjanlantamääriä syksyllä kynnön alle perunasadon tai perunan laadun siitä kärsimättä. Karjanlannan typen vaikutukset perunan satoon ja laatuun ovat nähtävissä vasta kaksinkertaisella lannoitusmäärällä normaaliin lannoitusmäärään verrattuna (Takala 1988).

Typpilannoituksen lisääminen laskee kaikilla lannoitustavoilla perunan kuiva-aine ja tärkkelyspitoisuutta ja lisää mukuloiden vetisyyttä (Neuhoff ja Köpke 2002). Tyrellisten yhdisteiden määrä lisääntyy mukulassa sitä enemmän mitä enemmän lannoite sisältää liukoista tyyppiä (Vorne 2001). Tärkkelyssato nousee orgaanisilla lannoituslajeilla lannoitustasoa nostettaessa, mutta väkilannoituksella pysyy samana satotason noususta huolimatta (Roinila ja Heiskanen 1998). Karjanlantakompostilannoituksella saadaan suurempi perunasato ja suurempi lajikkeiden välinen ero kuin väkilannoituksella perunalajikkeilla Hertha, Matilda, Ostara, Rekord ja Nicola (Kemppaisen 1994). Toisaalta karjanlantakompostilla lannoitetun perunan sato on 35 % alhaisempi kuin väkilannoituksella saatu sato. Luonnonmukaisesti

tuotetun perunan nitraattipitoisuus (37.3 mg/l) on puolet tavanomaisesti tuotetun perunan nitraattipitoisuudesta (75,5 mg/l). Kun taas C-vitamiinipitoisuus on puolet korkeampia (210 mg/l ja 105,5 mg/l) ja rautapitoisuus 11-45 % korkeampi luonnonmukaisesti tuotetussa perunassa verrattuna tavanomaisen lannoituksen saaneeseen perunaan (Fisher ja Richter 1984, Srikumar ja Ökerman 1990). Väkilannoitteiden lisääminen kohottaa perunan nitraatteja, mutta karjanlannan lisäämisellä ei ole kyseistä vaikutusta (Roinila ym. 2003). Perunan kivennäis- ja hivenainepitoisuuteen ei ole oleellista eroa sillä, lannoitetaanko sitä kompostoidulla karjanlannalla vai väkilannoituksella (Simojoki ja Sippola 1986).

Orgaanisilla lannoitteilla lannoitetun perunan varastointilaatu on parempi, raakavalkuaispitoisuus alhaisempi ja valkuaisen laatu parempi kuin epäorgaanisilla lannoitteilla lannoitetun perunan (Granstedt ja Kjellenberg 1996). Orgaanisesti lannoitettu peruna on ulkomuodoltaan, peseytyvyydeltään ja maultaan parempi sekä jauhoisempi kuin väkilannoitettu peruna (Takala ym.1988). Orgaanisesti lannoitetulla perunalla on parempi käsittelykestävyys ja vähemmän kasvuhalkeamia sekä epämuotoisia ja pienempiä mukuloita kuin väkilannoitetulla perunalla (Perunantutkimuslaitos 1987, Perunantutkimuslaitos 1988).

2.8 Viljelytoimet ja typen huuhtoutuminen

Syksyllä maasta mitattu mineraalityppipitoisuus kertoo, paljonko maassa on huuhtoutumiselle altista typpeä, ja huuhtoutumisessa on kyse nimenomaan nitraattitypestä. Typen huuhtoutumisen määrä on liukoisen nitraattitypen ja valunnan summa (Vagstad ym. 1997).

Kyntöajankohta vaikuttaa typen huuhtoutumiseen ja esikasvin lannoitusvaikutukseen (Landström ja Magnusson 1997). Kynnön siirtäminen syyskuun puolesta välistä syyskuun loppuun puolittaa nitraattitypen määrän virnojen ja apilan jälkeen. Ruisvirnan jälkeen kynnön siirto syyskuun alusta myöhäissyksyyn tai kevääseen vähentää nitraattitypen määrää maassa lähes 60 % (Känkänen 1995). Kynnön viivästyttämisestä on sitä enemmän hyötyä, mitä typpipitoisempi esikasvikasvusto on (Känkänen ym.1998). Mahdollisimman myöhäinen syyskyntö vähentää typen huuhtoutumisriskiä (Isolahti ym.2001). Typen huuhtoutumisen välttämiseksi apilaesikasvin ensimmäinen sato on niitettävä ja korjattava pois kun taas toisen sadon voi kylvää maahan korjaamatta (Granstedt 1996a). Nelivuotisen apilanurmen jälkeen typpeä huuhtoutuu 20–50 kg/ha (Nykänen 1998). Viherlannoksen paras kyntöajankohta on juuri ennen talven tuloa (Vuorinen 1993).

Kynnön siirtäminen kevääseen voi vähentää typen huuhtoutumista (Stopes ja Philipps 1992). Syyskyntö lisää nitraatin huuhtoutumista 20 kg/ha/v kytämättömään verrattuna (Solberg 1995, Stenberg ym. 1999). Kolmasosa tpeestä huuhtoutuu talven aikana maan ollessa paljaana (Torstensson 1993). Ruisvirnan jälkeen maan nitraattitypimäärä pysyy ennallaan tai vähenee seuraavaan kevääseen kun taas puna-apilan jälkeen maan nitraattitypimäärä lisääntyy kevääseen. Seuraavan vuoden viljasadon lannoitusvaikutukseen syyskynnöllä on parempi vaikutus kuin kevätkynnöllä tai kevennetyllä muokkauksella (Känkänen ym. 1999).

3. TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tutkimuksen tarkoituksena oli selkeyttää luonnonmukaisesti tuotetun perunan typpilannoitussuosituksia tutkimalla esikasvin ja lannoituksen vaikutusta perunasadon määrään ja laatuun.

Tutkimushypoteesit olivat:

1. Eri esikasvit vaikuttavat perunan sadon määrään ja laatuun.
2. Yksivuotiset viherlannoituskasvustot perunan esikasvina tuottavat sekä määrällisesti että laadullisesti yhtä hyvän perunasadon kuin karjanlannalla lannoitetut perunakasvustot.
3. Luonnonmukaisesti tuotetuissa perunoissa tavataan myös korkeita mukulan nitraattipitoisuuksia.
4. Perunan esikasvi vaikuttaa mukulan nitraattipitoisuuteen

4. AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Koejärjestelyt ja käytetyt esikasvit

Tutkimuksessa selvitettiin esikasvin ja typpilannoituksen vaikutusta perunan satoon ja sadon laatuun luonnonmukaisessa viljelyssä. Kenttäkokeet tehtiin vuosina 1998–2003 Maatalouden tutkimuskeskuksen Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ylistarossa. Maalajina kokeessa oli hieno hietamaa (HHt) ja multavuus vaihteli erittäin runsasmultaisesta multavaan. Maan happamuus oli 5,1–6,2, kalsiumtason ollessa välttävä ja fosfori- ja kaliumtason vaihdella välttävistä tyydyttävään sekä magnesiumtason vaihdella välttävistä hyvään (Liite 1 ja 2). Kokeet järjestettiin osaruutukokeina kolmena kerranteena: pääruuduissa esikasvi tai esikasvi ja lannoitus (Taulukko 3) sekä osaruuduissa perunalajike (Nicola ja Van Gogh). Yleislannoituksena kaikille koejäsenille annettiin esikasvivuonna biotiittilannoitus (N 0, P 0, K 7, Ca 7, Mg 10) 5000 kg/ha. Ruudut lannoitettiin käsin.

TAULUKKO 3. Perunan typpilannoituskokeen koejäsenet (1-11); esikasvit, lannoitus ja välikorjuut sekä perunan 1. satovuoden lannoitus. Koejäsenet 1-5 olivat mukana kokeessa 4 vuotena ja koejäsenet 6-11 2 vuotena.

Esikasvivuosi	Perunan 1. satovuoden N lannoitus
1 Typeä keräävä esikasviseos ¹⁾ , sato välikorjattiin heinä – elokuun vaihteessa virnan tullessa kukalle, kyntö noin 20.10.	Lannoittamaton
2 Typeä keräävä esikasviseos ¹⁾ , sato kynnettiin maahan noin 20.10.	Lannoittamaton
3 Vilja, lannoitus naudan lannalla 30 m ³ /ha	Naudan lanta 20 m ³ /ha
4 Vilja, lannoitus Kemiran Luomu yleislannos (4-2-3) 1000 kg/ha	Yleislannos 1000 kg/ha
5 Vilja, lannoittamaton	Lannoittamaton
6 Vilja, lannoitus naudan lannalla 50 m ³ /ha	Lannoittamaton
7 Peruna, lannoitus naudan lannalla 30 m ³ /ha	Naudan lanta 30 m ³ /ha
8 Peruna, lannoitus Kemiran luomu yleislannos (4-2-3) 1000 kg/ha	Yleislannos 1000 kg/ha
9 Vilja + puna-apila, vilja puitiin syksyllä, puna-apila kasvusto kynnettiin maahan noin 20.10	Lannoittamaton
10 Kaksivuotinen apilanurmi, sato kynnettiin maahan noin 20.10	Lannoittamaton
11 Kaksivuotinen apilanurmi, sato välikorjattiin heinä-elokuun vaihteessa, kyntö noin 20.10.	Lannoittamaton

1) Ebena-rehuvirnaa 140 kpl/m², persianapilaa 10 kg/ha, raiheinää 8 kg/ha sekä kauraa 40 kg/ha

Perunan esikasveina olivat typeä keräävä esikasviseos, vilja, peruna, yksivuotinen puna-apilanurmi ja kaksivuotinen puna-apilanurmi (Koejäsenet 1-11, Taulukko 3). Typeä keräävässä esikasviseoksessa oli rehuvirnaa, persianapilaa, raiheinää sekä kauraa (koejäsenet 1 ja 2) (Øyjord, J. E. Love Company, USA). Toinen esikasviseoksista (koejäsen 1) välikorjattiin virnan tullessa nupulle (J. Haldrup, Løgstor, Tanska) ja toisen sato kynnettiin kokonaan maahan syksyllä (koejäsen 2). Viljakoejäseninä oli lannoittamaton vilja (koejäsen 5),

viljan lannoitus kompostoidulla naudan lannalla (naudan lanta) levitettynä kaikki esikasville (koejäsen 6) ja jaettuna esikasville ja perunalle (koejäsen 3) sekä Luomu-yleislannos (yleislannos) [(4-2-3), Mg 1,5, Cu 0,01, Fe 1, Mn 0,05, Zn 0,02, tilavuuspaino 0,8, raekoko 3-6 mm] (koejäsen 4). Perunaesikasvia lannoitettiin joko naudan lannalla (koejäsen 7) tai Luomu-yleislannoksella (koejäsen 8). Yksivuotisen apilanurmen vilja puitiin syksyllä (Wintersteiger, Wintersteiger, Itävalta) ja puna-apila kynnettiin maahan (koejäsen 9). Kaksivuotisista apilanurmista toisesta välikorjattiin sato heinäkuun lopulla (koejäsen 11) ja molemmat kasvustot kynnettiin syksyllä 25 cm:n syvyyteen (koejäsenet 10 ja 11).

Kokonaisravinnemääriä lannoitetuilla ruuduilla oli biotiittilannoksesta kaliumia 350 ja magnesiumia 500 kg/ha. Luomu-yleislannoksesta saatiin esikasvuvuonna ja perunavuonna typpeä 40, fosforia 20, kaliumia 30 sekä magnesiumia 15 kg/ha. Kokonaistypinmäärät muilla lannoitustavoilla olivat yksivuotisista esikasviseoksista 15–46, kaksivuotisesta apilanurmesta 65–85, kompostoidusta naudan lannasta esikasville 12, naudan lannasta jaettuna esikasville ja perunalle -3–2, lannoittamattomasta viljasta -40, kompostoidusta naudan lannasta perunaesikasville ja perunalle jaettuna -18, Luomu-yleislannoksesta peruna esikasville ja perunalle jaettuna 30 kgN/ha (Liite 3 ja 4). Fosforia, kaliumia, kalsiumia ja magnesiumia oli hyvin perunan saatavilla kaikilla lannoitustavoilla.

4.2 Kasvustohavainnot

Esikasveista havainnoitiin kasvuston taimettuminen ja kehittyminen (lakoutuminen, pituus kasvukauden lopulla) sekä punnittiin esikasviseoksen sato heinäkuussa ja viljojen sato. Esikasvuvuoden syksyllä maasta otettiin maanäytteet Viljavuuspalvelun näytteenotto-ohjeiden mukaan ruuduittain (määritys Ca, Mg, P, K ja pH, maalaji ja multavuus) (Viljavuuspalvelu 1995).

Perunavuosina perunakasvustosta havainnoitiin virallisten lajikekokeiden ohjeiden mukaan kasvuston taimettumispäivämäärä, alkukehitys, kasvuston peittävyys, kasvuston pituus, lehtiruton ilmeneminen, kasvuston myöhäisyys ja varsiston tuhoutuminen (ruton tai hallan takia) sekä mitattiin lehtivihreän suhteellinen määrä (SPAD 502, Minolta, Japan) (Kangas 1995). Ensimmäinen lehtivihreämittaus tehtiin mukulanmuodostuksen alkaessa heinäkuun alussa, toinen mittaus kukinnan alkaessa ja viimeinen määritys elokuun puolivälissä. Lehtivihreä mitattiin kasvin ylimpien täysikasvuisten lehtien keskeltä. Spad-arvot mitattiin yh-

deksän mittauksen keskiarvona koejäsentä kohden. Perunan varsisto tuhoutui ruton tai hal-
lan takia 9.8–18.9 vuosina 1999–2003 (Liite 5, Taulukko 3).

4.3 Maa- ja lanta-analyysit

Esikasvivuosien maanäytteitä kuivatettiin huoneenlämmössä ja jauhettiin myllyllä (seula-
koko 2 mm). Sen jälkeen 25 ml:aan maanäytettä lisättiin 62,5 ml tislattua vettä. Vesisus-
pensio sekoitettiin huolellisesti ja annettiin seisoa yön yli huoneenlämmössä. Seuraavaksi
suspensiota sekoitettiin uudelleen ja siitä mitattiin maan happamuus (Ross Combination
elektrode 8102, Orion, USA) ja johtoluku ($mS/cm \times 10$) (Orion 160, Orion, USA). P, K,
Ca ja Mg uutettiin happamalla ammoniumasetaatilla (pH) 4,65: uuttosuhte 1:10). Fosfori
(ortofosfaatti) mitattiin FIA-analysaattorilla (FIAstar 5000, Foss, Tanska) molybdeenisini-
menetelmällä aallonpituudella 880 nm. Kalium, kalsium ja magnesium mitattiin ICP-
AES:llä (Thermo Iris AP, Thermo Fisher Scientific, USA). Maalaji ja multavuus määritet-
tiin visuaalisesti.

Perunavuosina maasta otettiin maanäytteet maanäytekairalla ruuduittain kolme kertaa kas-
vukauden aikana NH_4^+ - ja NO_3^- -määrittystä varten viljavuuspalvelun ohjeiden mukaisesti
(Viljavuuspalvelu 1995). Ensimmäiset maanäytteet otettiin ennen lannan levitystä. Toiset
maanäytteet otettiin juhannuksen jälkeen mukuloiden muodostumisen aikaan ja kolmannet
maanäytteet elokuun puolella välissä varsiston tuleentumisen aikaan. Maanäytteet otettiin
pääruuduittain. NH_4^+ -määrittystä varten otettiin 10–20 g maanäytettä ja 150 ml tislattua vet-
tä ravistellen seosta tunnin ajan. Liuoksesta mitattiin ammonium (NH_4^+) suodatuksen jäl-
keen (keskinopea suodatin) Kjeldahl-menetelmällä (Kjeldec Auto 1030, Foss, Tanska).
 NO_3^- -määrittystä varten maa kuivatettiin ja jauhettiin kuten edellä. Suspensiosta mitattiin
 NO_3^- -ioniselektiivisellä elektrodilla (Orion 720, Orion, USA).

Lannoitteena käytetystä naudan lannasta määritettiin kasveille käyttökelpoinen N, P ja K
vuosina 1998, 2002 ja 2003 (Liite 3 ja 4). Lannasta otettiin näyte Viljavuuspalvelun näyt-
teenotto-ohjeiden mukaisesti (Viljavuuspalvelu 1995). Kokonaistyyppi analysoitiin Kjeldahl-
menetelmällä. Näyte poltettiin rikkihapossa devardan-katalyytin avulla. Poltettu näyte
analysoitiin automaattisella kjeldahl-laitteella (VAP 50, Gerhard, Saksa). Liukoinen tyyppi
uutettiin lannasta 0,1 M kaliumsulfaattiliuoksella ja utteesta analysoitiin tyyppi Kjeldahl-
menetelmällä. Kokonaiskalium ja -fosfori analysoitiin kuivapolttomenetelmällä. Näyte pol-

tettiin 550 °C lämpötilassa tuhkaksi. Tuhka liuotettiin 10 % suolahappoon. Kalsiun ja fosfori mitattiin liuksesta (ICP-AES, TJA, USA). Kuiva-aine määritettiin gravimetrisesti kuivaamalla näyte 105 °C lämpökaapissa. Tilavuuspaino määritettiin myös gravimetrisesti (Koivunen 2005).

4.4 Perunan istutus, sadon käsittely ja laatumääritykset

Siemenmateriaalina käytettiin sertifioitua A-luokan luonnonmukaisesti tuotettua perunaa. Siemen esi-idätettiin kolmen viikon ajan ennen istutusta. Idätyslämpötila oli 10 °C ja valoa 150 luxia. Vuosittaiset istutusajankohdat vaihtelivat toukokuun 19. päivän ja kesäkuun 5. päivän välillä (Juko, Kongskilde, Suomi) (Liite 5, Taulukko 3). Perunapenkki-riviväli oli 80 cm ja istutusetäisyys Nicolalla 25 cm ja Van Goghilla 30 cm. Perunat mullattiin heti taimettumisen jälkeen.

Perunat nostettiin yksirivisellä perunannostokoneella. Vuosittaiset nostoajankohdat vaihtelivat syyskuun 12.9 ja 25.9 välillä (Liite 5, Taulukko 3). Perunat lajiteltiin yli 70 mm, 70–55 mm, 55–35 mm sekä alle 35 mm mukuloihin. Perunoille määritettiin tärkkelysprosentti ominaispainoon perustuvalla vesi-ilmapunnituksella. Määritykseen käytettiin pestyjä, terveitä ja tasakokoisia mukuloita noin viisi kiloa. Näytteen annettiin pintakuivaa ja siitä punnittiin ilmapaino ja vesipaino. Veden lämpötila oli 17,5 °C. Tärkkelyspitoisuus laskettiin kaavalla ja tärkkelyssato laskettiin tärkkelyspitoisuuden ja sadon perusteella (Kangas 1995).

$$\text{tärkkelys\%} = 214,53 \times [\text{ilmapaino} / (\text{ilmapaino} - \text{vesipaino})] - 217,76$$

Sadon ulkoisen laadun mittareina toimivat kauppakelpoisen sadon ja terveiden mukuloiden osuus kokonaissadosta sekä mukuloiden rupisuus, ruttoisuus, sienimädät, bakteerimädät, mekaaniset pinta- ja maltoviat, nestejännityshalkeamat ja korkkiutuneet halkeamat. Myös ontot ja keskeltä ruskettuneet mukulat, epämuotoiset mukulat, mallon värivirheet, vihertyneet ja paleltuneet mukulat sekä muut viat olivat ulkoisen laadun mittareina.

Sadon keittolaadun mittareina toimivat mukuloiden ulkonäkö keitettynä, mukuloiden rikkiehuminen, mallon väri keitettynä, mukuloiden jauhoisuus ja maku sekä mukuloiden tummuminen keitettynä ja raakana (Kangas 1995). Perunoiden keittolaatumäärityksiä varten otettiin 50 mukulan näyte jokaisesta kokeesta. Keittokokeessa oli 25 mukulaa ja raaka-

tummumisen määritystä varten 10 mukulaa. Keittokokeessa käytettiin terveitä, ehjiä ja kooltaan 35–55 mm mukuloita. Mukulat keitettiin kuorittuina kiehuvaan veteen. Keitettyjen perunoiden kypsyyttä todettiin painamalla ohut teräslanka mukuloihin. Raaka- ja keittotummumista varten mukulat halkaistiin ohuella, terävällä veitsellä. Mukuloiden rikki- kiehuminen, jauhoisuus ja jälkitummuminen arvosteltiin yksitellen ja tuloksista laskettiin keskiarvo. Ulkonäkö ja mallon väri keitettynä sekä maku arvosteltiin yleisarvosteluna koko näytteestä (Kangas 1995).

4.5 Perunoiden nitraattipitoisuus

Perunoiden kemiallinen laatu määritettiin mittaamalla mukuloiden nitraattipitoisuudet koejäsenittäin. Edustava näyte hienonnettiin teholeikkurilla tasalaatuisiksi. Hienonnettua näytettä otettiin 5 – 10 g, sekoitettiin ja punnittiin 100 ml:n koeputkiin. Putkiin lisättiin vettä 50 ml. Nitraatti uutettiin näytteestä veteen homogenisaattoria apuna käyttäen. Näyteliuosta kuumennettiin 60 °C:ssa 30 minuutin ajan, jonka jälkeen lisättiin Carrez-reagenssia, $K_4Fe(CN)_6$ – ja $ZnSO_4$ -liuosta. Näin valkuaisaineet saostettiin näyteliuoksesta pois ja samalla entsyymitoimintaa vähennettiin nitraattihävikkien estämiseksi. Näyteliuos sekoitettiin, minkä jälkeen sen annettiin seistä 30 minuuttia. Ennen suodatusta liuos sekoitettiin uudelleen ja siihen lisättiin 100 ml vettä (nro 4, Whatman, Englanti). Lopuksi liuos suodatettiin 0,2 µm:n ruiskusuodattimen läpi näytepulloon ja nesteestä määritettiin nitraatti neste-kromatografisesti (Liquid chromatography, Waters, USA) (Luoma 2005).

4.6 Kasvukausien sää

Tehoisaa lämpötilasummaa kertyi Etelä-Pohjanmaan tutkimusaseman säähavaintoasemalla vuosina 1998 – 2003 toukokuun ja syyskuun välisenä aikana 1094 °C:sta 1493 °C:een (Liite 5, Taulukko 2). Keskilämpötilat vaihtelivat toukokuusta syyskuuhun 11.7 °C:sta 14.3 °C:een. Samoin sadesumma vaihteli 152 mm:stä 407 mm:iin, kasvukauden 1998 ollessa sateisin (107 sadepäivää > 0.1 mm) ja kasvukauden 1999 (68 sadepäivää > 0.1 mm) ollessa kuivin (Liite 5, Taulukko 1).

4.7 Tulosten tilastollinen analysointi

Tulosten tilastollinen analyysi tehtiin SAS-ohjelmistoa käyttäen. Varsinaisten käsittelyvuosien aineisto analysoitiin kolmessa osassa. Ensimmäisessä analyysissä olivat mukana koejäsenet 1, 2, 3, 4 ja 5 siten, että analyysiin otettiin mukaan kaikki kokeet. Näin tehtiin, jotta tulokset voitiin yleistää koskemaan koko koesarjaa. Toisessa vaiheessa analysoitiin koejäsenet 1, 2, 6, 7 ja 8. Kolmannessa vaiheessa tehtiin vastaava analyysi koejäsenille 1, 2, 9, 10 ja 11. Esikasvin vaikutus huomioitiin analysoimalla ensin pelkästään koejäsenet 1, 2, 6, 7 ja 8 ja sen jälkeen analysoitiin koejäsenet 1, 2, 9, 10 ja 11. Vastemuuttuja y analysoitiin käyttäen seuraavaa tilastollista mallia (Littell ym.1996):

$$y_{ijkl} = \mu + koe_i + lohko_k(koe_i) + käsittely_j + käsittely_j \times koe_i + käsittely_j \times lohko_k(koe_i) + lajike_l + lajike_l \times koe_i + lajike_l \times käsittely_j + lajike_l \times käsittely_j \times koe_i + \varepsilon_{ijkl}$$

Mallissa koe_i , $käsittely_j$, $lajike_l$ ovat kiinteitä tekijöitä koskien kokeen, käsittelyn ja lajikeen päävaikutuksia. Mallissa on myös kaikki edellisten tekijöiden kahden ja kolmen tekijän yhdysvaikutukset sekä μ on vakiotermi ja ε_{ijkl} normaalijakautunut jäännösvirhe. Mallissa on lisäksi kaksi normaalijakautunutta satunnaisvaikutusta eli lohko $_k(koe_i)$ ja käsittely $_j \times lohko_k(koe_i)$, jotka selittävät sekä lohkojen välistä vaihtelua kokeen sisällä että sitä, kuinka käsittelyjen väliset erot vaihtelevat lohkokosta toiseen kokeen sisällä.

Maan nitraattipitoisuudet määritettiin pääruduittan, jolloin lajiketta ei huomioitu. Saatu aineisto analysoitiin satunnaistettujen täydellisten lohkojen kokeen varianssianalyysillä, missä on mukana toistotekijä (Gumpertz ja Brownie 1993, Wolfinger 1996). Muuttujien korreloituneisuus tutkittiin kahdella tavalla. Ensin korrelaatiot laskettiin alkuperäisistä havainnoista ja sen jälkeen tilastollisten mallien antamista jäännöksistä, jotka mallien oletuksen mukaisesti ovat toisistaan riippumattomia.

5. TULOKSET

5.1 Esikasvien sadot

Esikasviseosten tuoresadot kuvaavat esikasviseosten lannoitusvaikutusta seuraavan vuoden perunasadolle. Tuoresadot vaihtelivat vuosittain runsaasti. Virnaseoskasvustot (Koejäsenet 1-2) tuottivat 3000–9000 kg/ha enemmän tuoresatoa vuosina 1998 ja 2002 kuin vuosina 1999 ja 2001 (Taulukko 4). Vuonna 2001 apilakasvustosta välikorjattiin noin 4900 kg/ha suurempi tuoresato kuin vuonna 1999. Vastaavasti viljasta korjattiin 1000 kg/ha korkeampi jyväsato vuonna 2001 kuin vuonna 1998, jolloin virnaseoskasvustot tuottivat hyvän tuoresadon.

TAULUKKO 4. Esikasvien tuoresadot (kg/ha) Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ylistarossa vuosina 1998, 1999, 2001 ja 2002.

Koejäsen	Käsittely	tuoresato kg/ha ³⁾			
		1998	1999	2001	2002
1	Typeä keräävä esikasviseos ¹⁾ , sato välikorjattiin virnan tullessa nupulle, kyntö 20.10.	19950	11044	16222	19911
2	Typeä keräävät esikasviseos ¹⁾ , kyntö 20.10.	30800 ²⁾	16197 ²⁾	21088 ²⁾	30800 ²⁾
3	Vilja, naudän lanta 30 m ³ /ha	3155	3590	4217	3930
4	Vilja, Kemiran luomu- yleislannos (N-P-K: 4-2-3) 1000 kg/ha	3352	3515	3570	3725
5	Vilja, lannoittamaton	3451	3400	4070	3241
6	Vilja, naudän lanta 50 m ³ /ha	3703			3690
7	Peruna, naudän lanta 30 m ³ /ha	27721			30564
8	Peruna, Kemiran luomu-yleislannos (N-P-K: 4-2-3) 1000 kg/ha	26461			28764
9	Vilja + puna-apila, vilja puitiin, puna-apila kasvusto kynnettiin maahan 20.10		3745+	3742+	
10	Kaksivuotinen apilanurmi, sato kynnettiin maahan 20.10.		6000 ²⁾	6000 ²⁾	
11	Kaksivuotinen apilanurmi, sato välikorjattiin 1.8., kyntö 20.10.		18433	23355	

¹⁾ Rehuvirnaa 140 kpl/m², persianapilaa 10 kg/ha, raiheinää 8 kg/ha sekä kauraa 40 kg/ha

²⁾ Estimoituja tuoresatoja

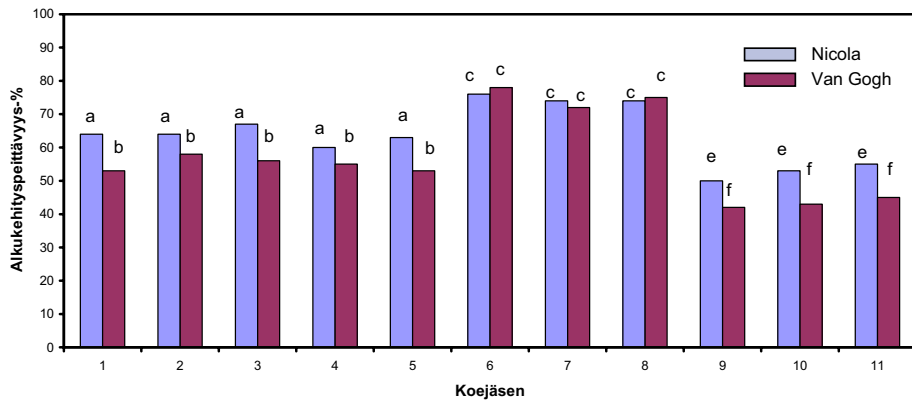
³⁾ Koejäsenet 1-5, 4 vuotta ja koejäsenet 6-11, 2 vuotta.

5.2 Perunan kehitys, sato ja laatu

5.2.1 Kasvuston kehitys

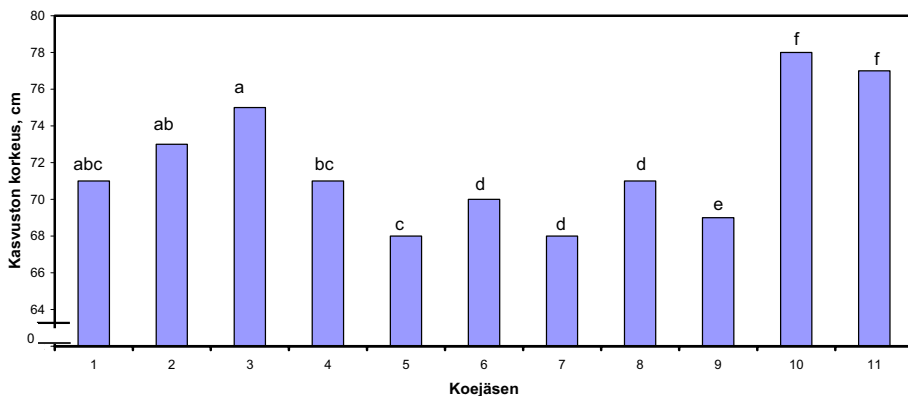
Ensimmäisenä varsinaisena perunan satovuotena esikasvin jälkeen kasvuston alkukehityksessä ei ollut merkitseviä eroja koejäsenten välillä (Kuva 4). Naudän lannalla lannoitettujen viljaesikasvien jälkeen perunakasvustojen alkukehitys oli nopeampaa kuin apilaesikasvus-

tojen jälkeen. Lajikkeista Nicolan alkukehitys oli nopeampaa kuin Van Goghin. Alkukehitysnopeus on kuvattu peittävyysprosenttina noin kahden viikon kuluttua ensimmäisten lajikkeiden taimettumisesta.



KUVA 4. Esikasvin vaikutus (Koejäsenet 1–11) kahden perunalajikkeen, Nicola ja Van Gogh, alkukehitykseen Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ylistarossa vuosina 1999, 2000, 2002 ja 2003. Kaksi viikkoa taimettumisesta määritetyissä alkukehitystä kuvaavissa peittävyysprosentteissa ei ollut merkitseviä eroja. Parittaiset vertailut tehtiin kolmessa eri osassa [Koejäsenet 1-5 (n=4), 6-8 ja 9-11 (n=2)] koejärjestelystä johtuen (Taulukko 3). Koejäsenten välinen ero on merkitsevä ($P < 0.05$), mikäli koejäsenillä ei ole samaa kirjainta.

Perunakasvusto olivat korkeinta kaksivuotisten apilanurmien jälkeen [$p < 0.001$, (Koejäsenet 10–11)] ja kasvusto oli matalin lannoittamattoman viljaesikasvin jälkeen [Koejäsen 5 (Kuva 5)]. Nicola-kasvusto olivat korkeampaa kuin Van Gogh-kasvusto kaikkina vuosina ja kaikilla koejäsenillä (tuloksia ei ole esitetty).



KUVA 5. Esikasvin vaikutus (Koejäsenet 1–11) ensimmäisen perunavuoden kasvustojen korkeuteen (cm) Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ylistarossa vuosina 1999, 2000, 2002 ja 2003. Parittaiset vertailut tehtiin kolmessa eri osassa (Koejäsenet 1–5, 6–8 ja 9–11) koejärjestelyistä johtuen (Taulukko 3). Koejäsenten välinen ero on merkitsevä ($P < 0.05$), mikäli koejäsenillä ei ole samaa kirjainta.

5.2.2 Mukulasato

Ensimmäisenä perunan satovuotena suurin sato korjattiin virnaesikasvustojen (Koejäsenet 1-2) sekä yksivuotisen puna-apilaesikasvuston jälkeen (Koejäsen 9). Pienin sato korjattiin naudannalla lannoitetun perunaesikasvin jälkeen (Koejäsen 7, Taulukko 5). Ensimmäisenä perunan satovuotena Nicola-lajike tuotti suuremman sadon kuin Van Gogh-lajike kaikilla koejäsenillä (Liite 6, Taulukko 1). Mukulasadossa ei ollut koejäsenten, koevuosien eikä lajikkeiden välillä merkitsevää eroa (Taulukko 5).

TAULUKKO 5. Ensimmäisen perunavuoden sato (1000 kg/ha), kauppakelpoinen sato (%) ja sen jakautuminen 35–55-mm ja 55–70 mm sekä mukuloiden tärkkelyspitoisuus (%) ja p-arvot koejäsenittäin Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ylistarossa vuosina 1999, 2000, 2002 ja 2003. Tilastollinen analyysi tehtiin kolmessa osassa [Koejäsenet 1–5(n=4), 6–8 ja 9–11(n=2)] koejärjestelyistä johtuen (Taulukko 3).

Koejäsen	sato 1000 kg/ha	kauppakelpoinen sato %	% kauppakelpoisesta sadosta mukulakoko, mm		tärkkelyspitoisuus %
			35–55	55–70	
			1	29,2	
2	29,3	66	76	14	14,3
3	28,8	65	76	13	13,9
4	27,7	64	77	11	14,0
5	27,3	62	75	12	14,5
k ¹⁾	0,17	0,05	0,93	0,44	<0,001
k x v ²⁾	0,34	0,47	0,93	0,92	<0,01
k x l ³⁾	0,52	0,29	0,23	0,59	0,25
6	25,3	64	79	10	14,1
7	24,3	61	79	15	14,0
8	25,4	64	76	19	15,1
k ¹⁾	0,11	0,14	0,68	0,16	<0,01
k x v ²⁾	0,16	0,03*	0,35	0,76	0,05
k x l ³⁾	0,85	0,67	0,93	0,84	0,93
9	29,3	66	69	15	14,4
10	27,4	61	72	10	13,3
11	28,7	63	74	10	13,7
k ¹⁾	0,02*	0,09	0,29	<0,005	<0,001
k x v ²⁾	0,75	0,25	0,07	0,04*	0,12
k x l ³⁾	0,70	0,32	0,02*	0,06	0,57

¹⁾ käsittelyn vaikutus

²⁾ käsittelyn ja koevuoden yhdysvaikutus

³⁾ käsittelyn ja lajikkeen yhdysvaikutus

Toisena perunan satovuotena korjattiin 400- 7800 kg/ha pienempiä satoja kuin ensimmäisenä perunan satovuotena. Suurin perunasato korjattiin kaksivuotisen välikorjaamattoman apilaesikasvuston jälkeen (Koejäsen 10). Pienin mukulasato korjattiin yleislannoksella lannoitetun perunaesikasvuston jälkeen (Koejäsen 8, Taulukko 6).

TAULUKKO 6. Toisen perunavuoden sato (1000 kg/ha), kauppakelpoinen sato (%) ja sen jakautuminen <35 mm, 35-55 mm ja 55-70 mm sekä mukuloiden tärkkelyspitoisuus (%) ja p-arvot koejäsenittäin Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ylistarossa vuosina 2000, 2001 ja 2003. Tilastollinen analyysi tehtiin kolmessa osassa [Koejäsenet 1–5(n=3), 6–8 (n=1) ja 9–11(n=2)] koejärjestelyistä johtuen (Taulukko 3).

Koejäsen	sato 1000 kg/ha	kauppakelpoinen sato %	% kauppakelpoisesta sadosta mm			tärkkelyspitoisuus %
			< 35	35–55	55–70	
1	23,9	50		60	30	12,8
2	24,9	53		57	31	13,2
3	23,7	51		60	29	12,6
4	23,6	54		60	29	12,6
5	23,9	53		61	29	13,0
k ¹⁾	0,62	0,85		0,51	0,86	0,06
k x v ²⁾	0,63	0,08		0,39	0,32	0,61
k x l ³⁾	0,71	0,90		0,56	0,17	0,63
6	17,9	46	30	65		10,9
7	16,6	49	33	64		10,6
8	16,5	45	34	65		10,4
k ¹⁾	0,82	0,79	0,48	0,19		0,74
k x v ²⁾	4)	4)	4)	4)		4)
k x l ³⁾	0,83	0,31	0,84	0,47		0,19
9	26,7	54		55	44	14,2
10	28,9	55		55	44	14,0
11	27,6	53		60	38	14,0
k ¹⁾	0,26	0,83		0,20	0,18	0,76
k x v ²⁾	0,66	0,22		0,19	0,18	0,61
k x l ³⁾	0,95	0,59		0,78	0,79	0,31

¹⁾ käsittelyn vaikutus

²⁾ käsittelyn ja koevuoden yhdysvaikutus

³⁾ käsittelyn ja lajikkeen yhdysvaikutus

⁴⁾ n=1

5.2.3 Mukuloiden tärkkelyspitoisuus

Ensimmäisenä perunan satovuotena korkein tärkkelyspitoisuus määritettiin yleislannoitetun perunaesikasvin jälkeen [Koejäsen 8, (p < 0.01)] ja alhaisin välikorjaamattoman apilan jälkeen [Koejäsen 10, p < 0.001 (Taulukko 5)]. Apilaesikasvuston vaikutus erottui myös toisena perunan satovuotena mukuloiden korkeimpana tärkkelyspitoisuutena [Koejäsen 9

(Taulukko 5)]. Toisaalta yleislannoitetun perunaesikasvin jälkeen, josta ensimmäisenä perunavuotena määritettiin korkein tärkkelyspitoisuus, määritettiin toisena perunavuotena alhaisin tärkkelyspitoisuus (Taulukko 5). Mukuloiden tärkkelyspitoisuus nousi kaksivuotisten apilaesikasvien jälkeen ensimmäisestä perunan satovuodesta 0,3–0,7 %. Muiden esikasvien jälkeen tärkkelyspitoisuuden lasku ensimmäisestä vuodesta oli korkeintaan 2,9 % (Taulukko 5). Esikasvi ja kasvukauden päättymisen ruton tai hallan vuoksi jo elokuussa (Liite 5, Taulukko 3) vaikutti tärkkelyspitoisuuteen.

Ensimmäisenä varsinaisena perunan satovuotena Van Goghin tärkkelyspitoisuus oli kaikissa koejäsenissä korkeampi kuin Nicolan (Liite 6, Taulukko 1). Toisena perunavuotena kaikkien muiden koejäsenten paitsi perunaesikasvien jälkeen (Koejäsenet 7 ja 8) Van Goghin tärkkelyspitoisuus oli Nicolaa korkeampi (Liite 6, Taulukko 2).

5.2.4 Mukulakoko

Ensimmäisenä varsinaisena perunan satovuotena suurien mukuloiden (55–70 mm) osuus kokonaissadosta oli ainoastaan 10–19 % (Taulukko 5). Eniten suuria mukuloita muodostui, kun esikasvina oli ollut yleislannoitettu peruna (Koejäsen 8). Yleislannoitetuista mukuloista määritettiin myös korkeimmat tärkkelyspitoisuudet. Eniten pieniä mukuloita (35–55 mm), 79 %, korjattiin naudän lannalla lannoitetun viljaesikasvin ja perunaesikasvin jälkeen [Koejäsenet 6 ja 7, (Taulukko 5)]. Vain apilaesikasvien jälkeisessä perunasadossa koejäsenen ($p < 0.005$) ja koevuoden ($p = 0.04$) aiheuttama ero oli merkitsevä. Van Goghin mukulat olivat kaikkien esikasvien jälkeen suurempia kuin Nicolan (Liite 7). Toisena perunavuotena suurien mukuloiden osuus kokonaissadosta oli 29–44 %, mutta vuosina 2000 ja 2003 lannoitettaessa viljaesikasvia naudän lannalla ja perunaesikasvia naudän lannalla ja yleislannoksella (koejäsenet 6-8), mukulakoko oli korkeintaan 35–55 mm (Taulukko 6).

5.2.5 Mukuloiden ulkoinen laatu

Kauppakelpoisen sadon osuus prosentteina sadosta saadaan kertomalla lajittelussa saatu 35–70 mm perunoiden osuus ulkoisen laadun arvostelussa saadulla terveiden perunoiden osuudella. Ensimmäisenä varsinaisena perunan satovuotena runsaimmin kauppakelpoisia

mukuloita saatiin välikorjatun virnaesikasvin jälkeen [Koejäsen 1, (Taulukko 5)] sekä Nicola- (70 %) että Van Gogh- lajikkeella (67 %) (Liite 8)). Kauppakelpoisen sadon osuus kokonaissadosta oli Nicola-lajikkeella kahta esikasvikäsittelyä lukuun ottamatta (Koejäsenet 4 ja 11) suurempi kuin Van Gogh-lajikkeella. Koevuoden vaikutus oli merkitsevä ($p < 0.05$) kauppakelpoisen sadon määrään samoilla koejäsenillä, jotka tuottivat pieniä mukuloita vuosina 2000 ja 2003 [Koejäsenet 6-8, (Taulukko 5)].

Mukuloiden ulkoista laatua eli terveiden perunoiden osuutta kokonaissadosta vähensivät eniten mekaaniset pinta- ja maltovioitukset (1,1–11%), värivirheet (2,1–4,4 %) sekä rupi (0,2–5,8 %). Muiden ulkoista laatua heikentävien tekijöiden (mukularutto, muut sieni- ja bakteerimädät, nestejännitys- ja korkkiutuneet halkeamat, ontot, epämuotoiset, mallon väri- virheet, vihertyneet, paleltuneet, muut viat) merkitys jäi vähäisemmäksi (Taulukko 7).

Ensimmäisenä perunan satovuotena Nicolan mukulat olivat yleislannoksella lannoitetun viljaesikasvin jälkeen kasvaneita mukuloita lukuun ottamatta (koejäsen 4) ulkonäöltään terveempiä kuin Van Goghin mukulat (Liite 8). Van Gogh-lajikkeen mukuloiden ulkoinen laatu oli huonoin samojen esikasvien jälkeen [Koejäsenet 6-9, (Liite 8)], joiden jälkeen vuonna 2000 ja 2003 korjattiin pieniä mukuloita. Terveiden mukuloiden osuus kokonaissadosta oli Van Gogh-lajikkeella suurin välikorjatun virnaesikasvin jälkeen [Koejäsen 1, (Liite 8)].

Mukuloiden mekaanisia pintavioituksia esiintyi vähiten välikorjatun virnaesikasvin jälkeen [Koejäsen 1, (Taulukko 7)], jolloin korjattiin suurin kauppakelpoinen satokin. Apilaesikasvin vaikutus näkyi siten, että eniten mekaanisia pinta- sekä maltovioituksia esiintyi välikorjatun apilan jälkeen [Koejäsen 11, (Taulukko 7)]. Mekaanisten pintavioituksien esiintymisen vaihteli merkitsevästi vuosien välillä ($p < 0.05$). Sekä koejäsen ($p < 0.05$) että koevuosi ($p < 0,01$) vaikuttivat merkitsevästi mekaanisiin maltovioituksiin. Van Gogh-lajikkeen mukulat olivat Nicolan mukuloita rupisempia, mekaanisesti maltovioituneempia [$p < 0.05$ (koevuosi $p < 0.01$)], ontompia ja värivirheellisempiä. Nicolan mukuloissa oli enemmän mukularuttoa ja korkkiintuneita halkeamia kuin Van Goghin mukuloissa. Muissa ulkoisissa laatuominaisuuksissa ei ollut lajikkeiden välistä eroa (sieni- ja bakteerimädät, mekaaniset maltovioitukset, nestejännityshalkeamat, epämuotoiset, paleltuneet).

Toisena perunan satovuotena kauppakelpoisen sadon osuus kokonaissadosta laski ensimmäisen vuoden 65 %:sta noin 50 %:iin. Kokonaissatoisimman kaksivuotisen apilaesikasvin (Koejäsen 10) vaikutus ilmeni suurimpana perunan kauppakelpoisena satona., jotka aiheut-

tivat. Paljon pieniä mukuloita ja alhaisimmat tärkkelyspitoisuudet aiheuttaneet viljaesikasvin lannoitus naudan lannalla ja perunaesikasvin lannoitus naudan lannalla ja yleislannoksella, tuottivat pienimmän kauppakelpoisen sadon [Koejäsenet 6- 8 (Taulukko 7)]. Nicola-lajikkeen mukuloiden suurin kauppakelpoisen sadon osuus kokonaissadosta oli kaksivuotisen apilaesikasvin jälkeen, 61 % (Koejäsenet 10 ja 11). Van Gogh-lajikkeella suurin kauppakelpoisen sadon osuus kokonaissadosta oli yksivuotisen apilaesikasvin jälkeen, 53 % [Koejäsen 9 (Liite 8)].

TAULUKKO 7. Ensimmäisen perunavuoden mukuloiden ulkoinen laatu koejäsenittäin Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ylistarossa vuosina 1999, 2000, 2002 ja 2003. Tilastollinen analyysi tehtiin kolmessa osassa [Koejäsenet 1–5(n=4), 6–8 ja 9–11(n=2)] koejärjestyistä johtuen (Taulukko 3).

Koejäsen	terveet	rupi	mukulaurutto	sieni	mekaaninen		korkkihalkeamat	ontot	värivirheelliset	vihertyneet	muut
					pinta-vioitus	malto-vioitus					
1	78	1,8	0,2	0,8	6,6	2,5	0,9	1,0	3,1	0,2	0,6
2	74	1,7	0,5	1,2	9,9	3,1	1,1	1,7	2,1	0,0	1,1
3	73	0,6	0,2	1,5	10,7	2,6	0,7	1,3	2,4	0,4	1,0
4	73	1,1	0,2	1,1	9,2	2,3	1,2	0,9	2,7	0,3	0,7
5	72	1,4	0,3	1,2	8,7	2,5	0,8	1,4	2,6	0,1	1,7
k ¹⁾	0,05	0,73	0,57	0,64	0,18	0,81	0,77	0,56	0,6	0,1	0,27
k x v ²⁾	0,47	0,95	0,79	0,63	0,73	0,52	0,32	0,81	0,13	0,06	0,42
k x l ³⁾	0,29	0,85	0,95	0,32	0,17	0,59	0,46	0,42	0,54	0,1	0,24
6	72	0,7		0,8	7,9	1,1	2,6				1,5
7	66	5,8		0,5	6,9	1,8	1,6				1,2
8	68	3,5		1,2	9,6	1,6	1,1				2,2
k ¹⁾	0,07	0,59		0,81	0,67	0,43	0,52				0,45
k x v ²⁾	0,22	0,67		0,59	0,59	0,44	0,17				0,6
k x l ³⁾	0,73	0,68		0,87	0,15	0,29	0,62				0,23
9	77	0,2	1,0		9,8	2,4			3,3		0,5
10	74	1,4	0,7		10,9	1,4			4,4		0,3
11	75	1,4	0,4		11,0	3,5			3,3		0,6
k ¹⁾	0,25	0,44	0,08		0,15	0,02			0,54		0,71
k x v ²⁾	0,24	0,52	0,08		0,03	< 0,01			0,28		0,40
k x l ³⁾	0,65	0,15	0,07		0,30	0,25			0,24		0,83

¹⁾ käsittelyn vaikutus

²⁾ käsittelyn ja koevuoden yhdysvaikutus

³⁾ käsittelyn ja lajikkeen yhdysvaikutus

5.2.6 Mukuloiden keittolaatu

Ensimmäisenä varsinaisena perunan satovuotena koejäsenten 6-8 jälkeen (Taulukko 8) korjattiin jauhoisimmat mukulat ($p < 0,005$). Apilaesikasvin jälkeen [Koejäsenet 9-11, (Taulukko 8)] mukuloiden jauhoisuus oli vähäisintä ($p < 0,001$). Mukuloiden rikkikiehumisaste

oli korkein jauhoisimmilla koejäsenillä (Koejäsenet 6-8). Rikkikiehumisaste vaihteli merkitsevästi koejäsenten ja vuosien välillä ($p < 0.001$).

Nicola-lajikkeen mukuloiden ulkonäkö oli keittämisen jälkeen Van Gogh-lajikkeen mukuloita parempi muiden kuin välikorjaamattoman apilaesikasvin [Koejäsen 10, Liite 9, ($p < 0,005$)] ja yleislannoksella lannoitetun viljaesikasvin jälkeen [Koejäsen 4, Liite 9, ($p < 0,01$)]. Nicolan mukulat olivat kiinteitä ja lähes ehjiä, kun taas Van Goghin mukulat olivat lievästi rikkonaisia (Liite x). Nicolan mukulat olivat jälkitummumisherkempiä kuin Van Gogh-lajikkeen mukulat [Koejäsenet 9-11 $p < 0.001$, (Liite 9)], kun taas Van Gogh-lajikkeen mukulat olivat raakatummumisherkempiä sekä jauhoisempia [Koejäsenet 9-11 $p < 0.001$, (Liite 9)] kuin Nicolan mukulat. Van Gogh-lajikkeen mukuloiden maku oli parempi kuin Nicola-lajikkeen mukuloiden (Liite 9). Keittolaadun tilastollisista merkitsevyyksistä huolimatta erot olivat pieniä. Toisen vuoden perunasadon mukuloiden keittolaatu ei poikennut ensimmäisen perunavuoden mukuloiden keittolaadusta merkitsevästi.

TAULUKKO 8. Ensimmäisen perunavuoden mukuloiden keittolaatu asteikolla 1-9 koejäsenittäin (1=heikoin, 9=paras) Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ylistarossa vuosina 1999, 2000, 2002 ja 2003. Tilastollinen analyysi tehtiin kolmessa osassa [Koejäsenet 1-5 ($n=4$), 6-8 ja 9-11 ($n=2$)] koejärjestelyistä johtuen (Taulukko 3).

Koejäsen	Ulkonäkö keitettyinä	Rikkikiehuminen	Jauhoisuus	Maku	Jälkitummuminen	Raakatummuminen
1	6,3	5,9	4,7	6,6	6,8	4,9
2	6,4	6,2	4,7	6,9	6,6	5,1
3	6,5	6,0	4,7	6,7	7,0	5,1
4	6,7	6,1	4,8	6,6	6,8	4,9
5	6,2	5,9	4,8	6,8	6,8	5,1
k ¹	0,10	0,22	0,64	0,48	< 0,001	0,74
k x v ²⁾	< 0,005	0,43	0,25	0,06	< 0,001	< 0,001
k x l ³⁾	< 0,01	0,67	0,19	0,86	0,04	0,02
6	6,5	5,7	4,9	6,5	7,0	6,3
7	6,6	6,8	4,7	7,0	6,9	6,0
8	6,7	6,6	5,3	6,9	6,9	6,2
k ¹	0,40	< 0,001	0,06	0,33	0,31	0,44
k x v ²⁾	0,23	< 0,001	< 0,005	0,26	0,31	0,56
k x l ³⁾	< 0,001	0,05	0,07	0,49	0,28	0,69
9	6,0	6,1	4,6	7,1	6,9	4,0
10	6,5	6,5	3,8	6,8	6,9	4,2
11	6,2	6,5	4,4	7,1	7,0	3,8
k ¹	0,62	0,22	< 0,001	0,03	< 0,001	0,20
k x v ²⁾	0,62	0,52	< 0,001	< 0,01	< 0,001	< 0,001
k x l ³⁾	< 0,005	0,03	< 0,001	0,31	< 0,001	0,07

¹⁾ käsittelyn vaikutus

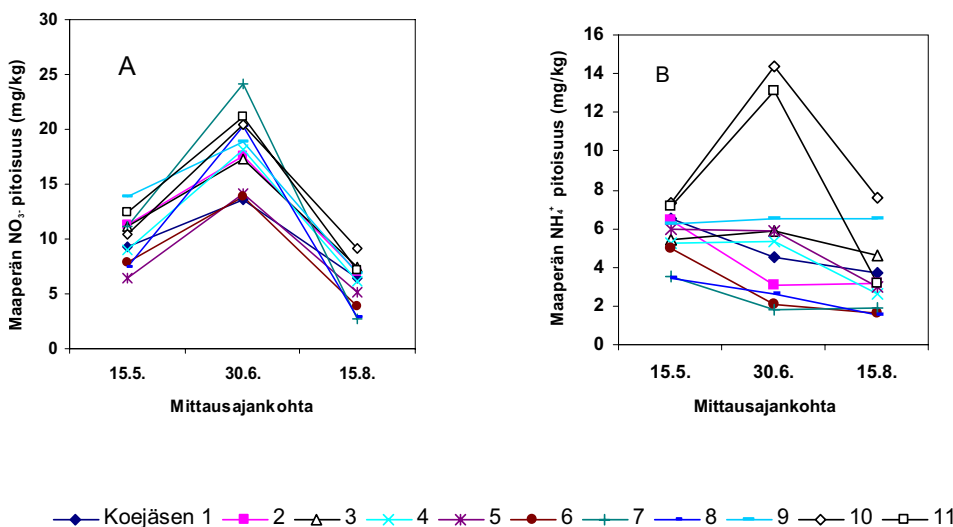
²⁾ käsittelyn ja koevuoden yhdysvaikutus

³⁾ käsittelyn ja lajikkeen yhdysvaikutus

5.3 Esikasvin vaikutus maan nitraatti- ja ammoniumpitoisuuteen, mukulan nitraattipitoisuuteen ja perunakasvuston lehtivihreäarvoihin

5.3.1 Maan nitraatti- ja ammoniumpitoisuus

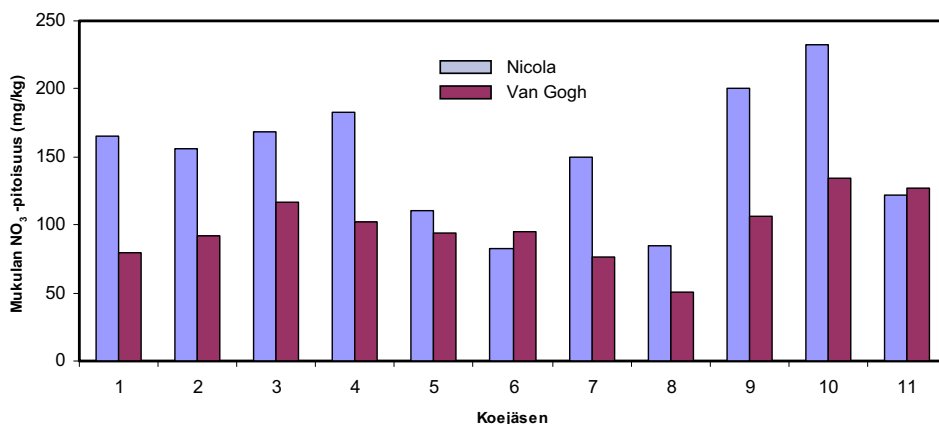
Ensimmäisenä perunan satovuotena maan nitraattipitoisuus oli ennen perunan istutusta korkein yksivuotisen apilaesikasvin jälkeen (Koejäsen 9) ja alhaisin lannoittamattoman viljaesikasvin jälkeen [Koejäsen 5 (Kuva 6a)]. Mukulan muodostuksen aikaan maan nitraattipitoisuus oli korkein naudnan lannalla lannoitetun perunaesikasvin jälkeen (Koejäsen 7) ja alhaisin välikorjatun virnaesikasvin jälkeen (Koejäsen 1). Varsiston tuleentumisen aikaan maan nitraattipitoisuus oli korkein välikorjaamattoman apilan jälkeen (Koejäsen 10) ja alhaisin naudnan lannalla lannoitetun perunan jälkeen (Koejäsen 7). Maan ammoniumpitoisuus oli kaikilla mittauskerroilla korkein välikorjaamattoman apilan jälkeen [Koejäsen 10 (Kuva 6b)]. Ennen perunan istutusta sekä varsiston tuleentumisen aikaan maan ammoniumpitoisuus oli matalin yleislannoitetun perunan jälkeen (Koejäsen 8). Mukulan muodostuksen aikaan matalin maan ammoniumpitoisuus oli naudnan lannalla lannoitetun perunan jälkeen (Koejäsen 7).



KUVA 6. Maaperän (a) NO₃- ja (b) NH₄⁺ - pitoisuudet (mg/kg) koejäsenillä 1–11 (Taulukko 4) Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ylistarossa vuosina 1999, 2000 ja 2003.

5.3.2 Mukulan nitraattipitoisuus

Ensimmäisenä perunan satovuotena korkein mukulan nitraattipitoisuus oli välikorjaamatoman apilaesikasvin jälkeen [Koejäsen 10 (Kuva 7)]. Alhaisin mukulan nitraattipitoisuus oli yleislannoitetun perunaesikasvin jälkeen kasvaneissa mukuloissa (Koejäsen 8). Yksittäisten koevuosien välillä mukulan nitraattipitoisuudet olivat 35 - 314 mg/kg (Liite 3 ja 4). Määritykset tehtiin yli koesarjojen ja vuosien sekä koejäsenittäin, jolloin satunnaisvaihtelun määrää ei voitu selvittää ja erojen tilastollinen testaus ei ollut mahdollista.



KUVA 7. Mukulan NO₃ -pitoisuudet (mg/kg) koejäsenillä 1-11 Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ylistarossa vuosina 1999, 2000, 2002 ja 2003. Määritykset tehtiin koejäsenittäin, joten satunnaisvaihtelun määrää ei voida selvittää ja mistä johtuen erojen tilastollinen testaus ei ole mahdollista.

5.3.3 Perunakasvuston lehtivihreän suhteellinen määrä

Kaksivuotisten apilaesikasvustojen vaikutus näkyi mukulanmuodostuksen (spad 1) ja perunan kukinnan alkaessa (spad 2) mitatuissa suurimmissa lehtivihreäarvoissa [Koejäsen 10 ja 11, $p < 0,001$ (Taulukko 9)]. Pienin lehtivihreäarvo mitattiin naudan lannalla lannoitetun viljaesikasvin jälkeisestä perunakasvustosta [Koejäsen 6, $p < 0,005$ (Taulukko 9)]. Koejäsenen ja koevuoden sekä koejäsenen ja lajikkeen välillä ei ollut yhdysvaikutusta.

Ensimmäisenä varsinaisena perunan satovuotena molempina lehtivihreäarvojen (suhteellinen lukuarvo, spad) mittausajankohtina (mukulanmuodostuksen alku, perunan kukinnan alku) sekä kaikilla käsittelyillä Nicola-lajikkeen lehtivihreäarvo oli pienempi kuin Van Gogh-lajikkeen lehtivihreäarvo (tuloksia ei ole esitetty).

TAULUKKO 9. Ensimmäisen perunavuoden mukulanmuodostuksen alun (spad 1) ja perunan kukinnan alun (spad 2) lehtivihreämittaukset spad-arvoina Etelä-Pohjanmaan tutkimus-
asemalla Ylistarossa vuosina 1999, 2000, 2002 ja 2003. Tilastollinen analyysi tehtiin kol-
messsa osassa [Koejäsenet 1–5(n=4), 6–8 ja 9–11(n=2)] koejärjestelyistä johtuen (Taulukko
3).

Koejäsen	Lehtivihreämittaus	
	spad 1	spad 2
1	45,5	39,7
2	45,5	40,5
3	44,7	38,6
4	44,2	38,2
5	44,9	38,2
k ¹⁾	0,04	< 0,001
k x v ²⁾	0,46	0,13
k x l ³⁾	0,45	0,59
6	43,3	37,2
7	44,6	39,5
8	44,3	39,2
k ¹⁾	0,10	< 0,005
k x v ²⁾	0,51	0,53
k x l ³⁾	0,61	0,23
9	45,1	37,8
10	45,1	40,8
11	45,7	40,9
k ¹⁾	0,20	< 0,001
k x v ²⁾	0,20	0,64
k x l ³⁾	0,15	0,71

¹⁾ käsittelyn vaikutus

²⁾ käsittelyn ja koevuoden yhdysvaikutus

³⁾ käsittelyn ja lajikkeen yhdysvaikutus

5.4 Korrelaatiot

Sadon ja tärkkelyspitoisuuden välillä oli positiivinen korrelaatio [$p < 0.001$, (Taulukko 10)], joten sadon lisääntyessä myös mukuloiden tärkkelyspitoisuus nousi. Maan nitraatti- ja ammoniumpitoisuus korreloi negatiivisesti satoon ja tärkkelyksen määrään, eli perunasato ja mukuloiden tärkkelyspitoisuus olivat sitä alhaisempia, mitä korkeampi oli maan typpipitoisuus. Maan typpipitoisuus korreloi positiivisesti mukulan nitraatteihin ja mukulanmuodostuksen alun lehtivihreäarvoihin, eli korkea lehtivihreäarvo mukulanmuodostuksen alussa kertoi korkeasta maan typpipitoisuudesta ja mukulan nitraattipitoisuudesta. Perunan kukinnan alussa lehtivihreäarvo oli korkea ja maaperän typpipitoisuus oli alhainen (Taulukko 10).

Jäännösten korreloituneisuudesta voidaan päätellä, ovatko muuttujat oikeasti korreloituneita ja voiko alkuperäisten havaintojen korrelaatio johtua jostakin muusta taustalla olevasta teki-

jästä. Taustatekijä voi vaihdella esimerkiksi kokeittain tai koejäsenittäin, joten jäännöskorrelaatiot ovat luotettavimmat korrelaatiot. Jäännöskorrelaatioita tarkasteltaessa merkitsevyys vähenee lukuun ottamatta mukulan muodostuksen aikaan (30.6.) mitattua maan nitraatti- ja ammoniumpitoisuuden ja mukulan nitraattipitoisuuden välistä positiivista korrelaatiota (Taulukko 10).

Mukulan nitraattipitoisuus korreloi positiivisesti mukulanmuodostuksen alussa (aika 2) mitatun maaperän nitraatti- ja ammoniumpitoisuuden kanssa ($p < 0.01$) mutta negatiivisesti kasvuston heinäkuun alun ($p < 0.05$) ja elokuun puolenvälin ($p < 0.01$) lehtivihreäarvon kanssa (Taulukko 10). Mukulanmuodostuksen alkaessa lehtivihreäarvo korreloi negatiivisesti ($p < 0.001$) mukulasatoon ja tärkkelyspitoisuuteen (Taulukko 10). Perunan kukinnan alkaessa lehtivihreäarvolla oli positiivinen korrelaatio sekä satoon ($p < 0.05$) että tärkkelyspitoisuuteen ($p < 0.001$). Jäännöskorrelaatiossa vahvin positiivinen korrelaatio ($p < 0.05$) oli kukinnan alkaessa mitatun lehtivihreäarvon ja sadon määrän välillä. Jos kukinnan alkaessa kasvuston lehtivihreäarvo oli suuri, eli tyypeä oli kasvin käytettävissä, niin hehtaarisato oli suuri. Mukulanmuodostuksen alun lehtivihreän suhteellinen määrä korreloi positiivisesti kukinnan alun lehtivihreän suhteellisen määrän kanssa ($p < 0.001$), mikä kertoo tyyden riittävydestä perunalle tasaisesti koko kasvukauden ajan.

TAULUKKO 10. Korrelaatiomatriisi ensimmäisen vuoden perunasadosta, tärkkelyspitoisuudesta, maan nitraatti- ja ammoniumpitoisuudesta, lehtivihreäpitoisuudesta ja mukulan nitraattipitoisuudesta. Matriisin muuttujat ovat perunan mukulasato (sato), mukulan tärkkelyspitoisuus (tärkkelys %), maan nitraatti- ja ammoniumpitoisuus ennen lannan levitystä ja perunan istutusta (NO_3^- aika1, NH_4^+ aika1), mukulan muodostuksen aikaan (NO_3^- aika2, NH_4^+ aika2) ja varsiston tuleennuttua (NO_3^- aika3, NH_4^+ aika3), lehtivihreäarvo mukulanmuodostuksen ja kukinnan alkaessa (spad 1, spad 2) sekä mukulan nitraattipitoisuus (mukula N). Ylemmät luvut ovat korrelaatiokertoimia laskettuna alkuperäisistä havainnoista ja alemmat luvut ovat jäännöskorrelaatioita (lihavoitu luku on merkitsevä jäännöskorrelaatio).

	sato	tärkkelys %	NO_3^- aika1	NH_4^+ aika1	NO_3^- aika2	NH_4^+ aika2	NO_3^- aika3	NH_4^+ aika3	spad 1	spad 2	mukula N
sato	0.71***	-0.62***	-0.43**	-0.38*	-0.67***	-0.66***	-0.57***	-0.57***	-0.57***	0.22*	0.10 ^{ns}
tärkkelys %	0.00 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.05 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	0.21*	-0.10 ^{ns}
NO_3^- aika1		-0.44**	-0.51***	-0.56**	-0.66***	-0.54***	-0.69***	-0.40***	0.44***	0.44***	0.73**
NH_4^+ aika1		0.01 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	0.00 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	-0.07 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.08 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	0.31*	0.21 ^{ns}
NO_3^- aika2			0.49*						-0.10 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.47 ^{ns}
NH_4^+ aika2			-0.14 ^{ns}		0.72*		0.80***		0.49***	-0.25 ^{ns}	0.04 ^{ns}
NO_3^- aika3				0.51 ^{ns}		0.34 ^{ns}			-0.14 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.82**
NH_4^+ aika3									0.38*	-0.18 ^{ns}	0.75*
spad 1									-0.22 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.86**
spad 2									0.52**	-0.57***	0.86**
									-0.37*	0.23 ^{ns}	0.54*
									0.52***	-0.37*	0.77***
									0.01 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.25 ^{ns}
									0.61***	-0.43**	0.45 ^{ns}
									-0.07 ^{ns}	0.05 ^{ns}	-0.11 ^{ns}
										0.33***	-0.34*
										0.39***	-0.43**

* ($p < 0.05$)

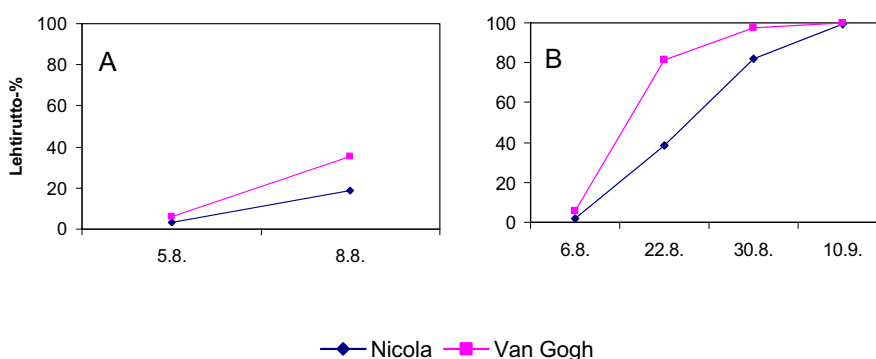
** ($p < 0.01$)

*** ($p < 0.001$)

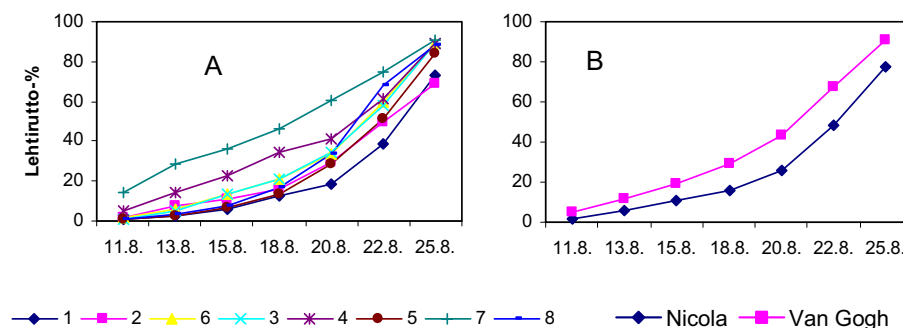
ns $p > 0.05$.

5.5 Lehtiruton esiintyminen perunakasvustossa

Ensimmäisenä varsinaisena perunan satovuotena Van Gogh-lajikkeella esiintyi enemmän lehtiruttoa kuin Nicola-lajikkeella (Kuva 8 a ja b). Vuonna 2000 halla tuhosi kasvuston elokuun toisella viikolla ja vuonna 2002 syyskuun toisella viikolla (Kuva 9). Vuosina 2000 ja 2002 koejäsenten välillä ei ollut eroa ruton esiintymisessä. Vuonna 2003 koejäsenet erosivat ruton esiintymisessä ja lehtirutto tuhosi kasvuston elokuun lopussa (Kuva 9). Vuosina 1999 ja 2001 koejäsen- ja lajikekohtaisia ruttohavaintoja ei tehty. Lehtiruttohavaintoja ei analysoitu tilastollisesti.



KUVA 8. Ensimmäisen perunavuoden lehtiruttohavainnot Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ylistarossa vuosilta (A) 2000 ja (B) 2002 lajikkeittain (Nicola ja Van Gogh).



KUVA 9. Ensimmäisen perunavuoden lehtiruttohavainnot Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ylistarossa vuodelta 2003 (A) koejäsenittään (1–5, 6–8) ja (B) lajikkeittain (Nicola ja Van Gogh).

6. TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Kasvukauden sään vaikutus esikasvin kasvuun

Esikasvien kehitykseen ja satoon vaikutti eniten kasvukauden sää. Kasvukausina 1998 ja 2002 virnaseoskasvustoista korjattu tuoresato (noin 20 000 kg/ha) oli elokuun alussa keskimäärin 6000 kg/ha suurempi kuin vuosien 1999 ja 2001 virnatuoresato. Kasvukausi 1998 oli koevuosista viilein ja kostein ja kasvukausi 2002 lämpimin, mutta tuolloin satoi tasaisesti koko kesän ajan. Kastelu lisää typensitojakasveja sisältävien nurmien kuiva-ainesatoa puolella verrattuna kastelemattomien typensitojanurmien kuiva-ainesatoon (Goh ja Bruce 2005). Riittävä kosteus kasvukauden aikana takasi virnaseosesikasvuston hyvän kasvun. Vuoden 1999 kesäkuu oli koevuosista lämpimin ja kuivin, mikä näkyi virnaseosesikasvuston ja apilaesikasvuston elokuun korjuun tuoresadossa sekä viljasadoissa. Vuonna 2001 touko-kesäkuu oli viileä ja toukokuussa satoi koevuosista eniten, 88 mm, mikä on 2,5 x keskiarvosademäärä, jolloin liiallinen märkyys esti virnaseoskasvuston itämisen, mutta lannoittamattomalla viljalla saatiin tuolloin 1062 kg/ha suurempi sato (4070 kg/ha) kuin vuonna 1998. Kasvukauden 1998 viileys ja kosteus saattoivat laskea esikasvivuoden vilja- ja perunasatoja.

6.2 Esikasvin vaikutus perunasadon määrään ja laatuun

6.2.1 Virnaseos

Esikasvivuosien tuoresadot (kg/ha) eivät ennakoineet seuraavan vuoden maaperän ammonium- ja nitraattityppimääriä, perunasatoa eivätkä mukuloiden tärkkelyspitoisuutta. Virnaseoskasvustojen jälkeen maan nitraatti- ja ammoniumpitoisuudet pysyivät tasaisina koko kasvukauden ajan. Molempien typen muotojen ollessa läsnä typen kokonaisotto on suurin (Marschner 1995), mikä näkyi tässä siten, että virnaseoskasvustojen ja yksivuotisen apilan jälkeen korjattiin ensimmäisenä perunan satovuotena suurin peruna- ja tärkkelyssato sekä saatiin suurimpia mukuloita. Virnat tuottavat kaksi kertaa suuremman nitraattityppimäärän maahan kuin muut yksivuotiset palkokasvit (Känkänen 1995, Forsman 2004). Virnaseoskasvuston jälkeen mukuloissa ei kuitenkaan havaittu liiallisen typen aiheuttamia oireita, kuten vetisyyttä, alhaista tärkkelyspitoisuutta tai raakatummumista (Leszczyski ja Lisiska 1987). Myös kasvuston alkukehitysseurannan ja kasvuston korkeusmittauksen perusteella

voidaan olettaa virnaseoskasvuston tuottaneen riittävästi, vaikkakaan ei liiallisesti typpeä seuraavan vuoden perunasadon käytettäväksi. Valitettavasti esikasvuvuosien syksyiltä maaperän nitraatti- ja ammoniumpitoisuuksia ei ole käytettävissä, mutta niiden voidaan olettaa pysyneen ennallaan tai useimmilla koejäsenillä jopa nousseen seuraavaan kevääseen. Talven aikana tapahtuu typen mineralisoitumista, mikä näkyy keväällä maaperän nitraatti- ja ammoniumpitoisuuksissa (Isolahti 2004).

Mielenkiintoista oli, että heikommin kasvaneen virnaseosesikasvin jälkeen seuraavana keväänä (vuonna 2000) mitattiin korkeampia maan typpivarjoja kuin paremmin kasvaneiden esikasvuvuosien jälkeen (vuosina 1999 ja 2003). Typensitojakasvien biologinen typensidontakyky on suorassa suhteessa typensitojakasvin kuiva-ainesatoon (Carlsson ja Huss-Danell 2003). Voidaankin olettaa, että selitys tämän tutkimuksen tuloksiin löytyy esikasvuvuoden jälkeisen syksyn ja talven säästä. Heikommin kasvaneiden esikasvuvuosien syksyllä satoi keskimääräistä enemmän, mutta sateet eivät ilmeisesti aiheuttaneet typen huuhtoutumista, hapen puutetta maassa eikä suuria denitrifikaatiotappiota (Magid ym 2001, Forsman 2004). Heikompien esikasvuvuosien jälkeen talvet olivat lauhemmat kuin parempien esikasvuvuosien jälkeen. Poutala ja Kuikman (1998) ovat todenneet, että maan lämpötilan vaihtelu (jäätyminen - sulaminen) lisää mineralisoituvan typen määrää, kun taas maaperän lämpötilan laskiessa mineraalitypen vapautuminen maassa vähenee ja tasainen pakkaskausi sitoo typpeä.

Perunakasvuston lehtivihreän suhteellista määrää mittaamalla todettiin kasvuston hyödynnettävän maaperän typpivarat hyvin. Mukuloiden nitraattipitoisuus ei noussut kuumaa kasvukautta (kesä-heinäkuu v. 2002) ja Nicola-lajiketta lukuun ottamatta hälyttävän korkeaksi (>200mg/kg). Vuosi 2002 poikkesi muista koevuosista myös siten, että välikorjaamattoman virnaseoskasvuston jälkeen mitattiin korkeampia mukuloiden nitraattipitoisuuksia kuin välikorjatun virnaseoskasvuston jälkeen. Kasvukauden sää vaikuttaa maahan muokatusta esikasviseoksesta vapautuvien päämineraalien määrään (Magnusson ja Landström 1997). Rehuvirnaviherlannoituksella on havaittu kaksi mineralisoitumspiikkiä, ensimmäinen lämpötilan noustessa keväällä + 8°C ja toinen siitä kolmen viikon kuluttua (Poutala ja Kuikman 1995). Hajoavan virnan juurimassan ligniinipitoisuus ja selluloosaan vähäisyys maassa edistävät tyyppiyhdisteiden tasaista hajoamista jo mukulanmuodostuksen alkaessa, jolloin mukuloiden nitraattipitoisuus ei nouse liian korkeaksi (Georgieva ym.2005). Kasvien nitraattipitoisuudet nousevat kuitenkin esikasvista ja lannoitustavasta riippumatta kasvin karsiessään kuivuudesta vegetatiivisen kasvun aikaan (Diest 1990, Hamouz ym. 1999, Cieslik

1995, Gianquinto ja Bona 2000, Kuisma 2002). Perunalla veden puute on kolminkertaistunut nitraattipitoisuuden (Corre ja Breimer 1979, Gianquinto ja Bona 2000).

Virnaseoskasvuston välikorjuun vaikutus verrattuna välikorjaamattomaan kasvustoon näkyi ensimmäisenä perunan satovuotena korkeampana maan ammoniumpitoisuutena ja korkeampana mukuloiden nitraattipitoisuutena vuotta 2002 lukuun ottamatta. Viherlannoksen niitto pitää kasvuston pitkään kasvullisena ja lisää sidotun typen määrää (Griffin ja Hestermann 1991, Malgeryd ja Tortensson 2005). Esikasvuvuosi 2001 ei ollut suotuisa niitetyn viherlannosesikasvin jälkikasvulle. Lämpimänä ja kosteana kasvukautena 2002 typen mineralisaatio oli oletettavasti suurta ja mukuloiden nitraattipitoisuus nousi Nicolalla hälyttävän korkeaksi varsinkin välikorjaamattomien viherlannoitus-esikasvien jälkeen (virnaseos ja kaksivuotinen apila). Virnaseoskasvuston välikorjuun hyödyksi verrattuna välikorjaamattomaan virnaseoskasvustoon jäi ensimmäisenä perunan satovuotena suurempi kauppakelpoinen sato ja terveimmät perunat, joissa oli vähiten mekaanisia vioituksia.

6.2.2 Apila

Maan ammonium- ja nitraattipitoisuus oli korkea koko kasvukauden ajan kaksivuotisen apilaesikasvin jälkeen. Apilan ja virnan typen nettomineralisaatio (mg N/ kg maata/ viikko) on mitattu samansuuruisiksi (Dou ym 1995). Puna-apilan hajoava juuristo sisältää kuten virnankin juuristo, ligniiniä, minkä vuoksi typpiyhdisteiden hajoaminen maassa on tasaista (Whitehead ym. 1979). Apilaesikasvin jälkeisen kasvin käytettävissä on hyvin tyypeä (Linden ja Wallgren 1993). Kaksivuotisen apilaesikasvin jälkeen ensimmäisenä perunan satovuotena maassa oli liikaa mineraalitypeä, mikä näkyi korkeana perunakasvustona ja pienenä mukulasatona. Riittävän, mutta ei liiallisen, mineraalitypen ansiosta yksivuotisen apilaesikasvin jälkeen korjattiin ensimmäisenä perunan satovuotena suurempi kokonais- ja kauppakelpoinen sato sekä mitattiin suurempi tärkkelyspitoisuus kuin kaksivuotisten apilaesikasvin jälkeen. Yksivuotisen apilaesikasvin jälkeen saatiin yhtä suuri (suurin) perunasato kuin välikorjaamattoman virnan jälkeen, mutta mukuloiden nitraattipitoisuus nousi korkeammaksi.

Välikorjaamattoman kaksivuotisen apilaesikasvin jälkeen korkea maan typpipitoisuus ei laskenut sadonkorjuuseen mennessäkään. Tämä ilmeni myös korkeana lehtivihreäarvona

kukinnan alkaessa ja korkeana mukulan nitraattipitoisuutena, varsinkin Nicolalla. Apila viljelykierrossa lisää perunasatoa ja mukuloiden nitraattipitoisuutta (Efremov 1994). Apilapitoisista nurmista tapahtuu mineralisoitumista jo syksyllä, joten huuhtoutumisen estämiseksi ne on kynnettävä mahdollisimman myöhään (Isolahti ym. 2001). Välikorjatun apilaesikasvin jälkeen maan typpipitoisuus ja mukuloiden nitraattipitoisuus olivat samansuuntaisia kuin välikorjaamattoman virnan jälkeen. Kaksivuotisen apilaesikasvin vaikutus jäi ensimmäisenä perunan satovuotena heikommaksi kuin virnaseoskasvuston vaikutus verrattaessa perunan kokonais- ja kauppakelpoista satoa sekä mukuloiden tärkkelyspitoisuutta

Toisena perunan satovuotena kaksivuotisen apilaesikasvin jälkeen saatiin suurin sato ja korkein tärkkelyspitoisuus. Voidaan olettaa, että ensimmäisenä perunan satovuotena apilaesikasvin jälkeen mitattu korkea maan typpipitoisuus elokuussa auttoi sadonmuodostuksessa seuraavana kasvukautena. Maan mineraalitypen määräksi on puna-apilan jälkeen mitattu syksyllä 25–65 kg/ha ja seuraavana keväänä 39–80 kg/ha (Linden ja Wallgren 1993, Isolahti ym. 2004). Toisena perunan satovuotena yksivuotisen apilaesikasvin jälkeen korjattiin virnaseosesikasvustojen jälkeisiä satoja suurempi peruna- ja tärkkelyssato.

6.3 Naudan kompostilannan vaikutus perunasadon määrään ja laatuun

Maan nitraattipitoisuus oli korkein, korkeampi kuin virnaseosesikasvin ja apilaesikasvin jälkeen, ja ammoniumpitoisuus alhaisin kompostilannoitetun perunaesikasvin jälkeen mukulan muodostuksen aikaan. Useissa tutkimuksissa (Hageman ja Below 1990, Wiseman ym. 1993, Marschner 1995) on todettu, että molempien typen muotojen läsnäollessa typen kokonaisotto on yleensä suurin. Perunan typenotto on suurimmillaan 20–50 päivää istutuksesta. Typen kulkeutuminen mukulaan on puolestaan tehokkainta 20 päivää typenottohuidusta (Li ym. 2006). Edellä esitetyt tekijät ja se, että maan nitraattipitoisuus laskee tuleentumiseen mennessä alhaisimmaksi, saattoi olla syy alhaisimpaan perunasatoon ensimmäisenä perunan satovuotena. Karjanlannalla lannoitettaessa on havaittu maan ammoniumpitoisuuden laskevan nopeammin kuin typensitojakasvien jälkeen (Dou 1996). Kompostilannoitella perunalla satoa rajoittaa typen puute syksyllä, varsinkin, jos maan typpipitoisuus on alhainen ja viljelykierrosta puuttuu typensitojakasveja. Typensitojakasveja tarvitaan karjanlannalla lannoitettaessa tuottamaan typpireserviä viljelykiertoon (Van Delden ym. 2003). Molempina perunavuosina kompostilannoitetun perunaesikasvin jälkeen mukuloiden tärkkelyspitoisuus oli alhainen. Myös Väisänen ja Tontin (2005) lannoitettaessa perunaaaudan kompostilannalla mitattiin perunan alhainen tärkkelyspitoisuus ja alhainen tärkkelyssato.

Toisin kuin Väisäsellä ja Tontilla (2005) kasvusto oli matalaa. Runsas typpi kasvukauden alussa rehevöittää varsistoa ja viivästyttää kasvin kehitystä, jolloin tärkkelyksen kertyminen mukulaan myös viivästyy (Biemond ja Vos 1992, Mustonen ym. 1997). Tärkkelyksen muodostuminen mukulaan alkaa, kun sokereiden kulkeutuminen varresta mukulaan loppuu.

Kompostilannoitetun viljaesikasvin jälkeen korjattiin lähes yhtä suuri sato kuin virnaseosesikasvin jälkeen. Jaetulla kompostilannoituksella (esikasvi- ja perunavuosi) maan typpipitoisuus oli virnaseosesikasvin jälkeisellä tasolla, ensimmäisen vuoden perunasadon oltua hieman heikompi kuin virnaseosesikasvin jälkeen. Toisena perunan satovuotena satoero tasoittui. Maaperän orgaaninen typpi lisääntyy vielä toisena perunavuotena, koska karjanlanta ei kompostoidu yhden vuoden aikana ja osa tuestä immobilisoituu maaperän orgaaniseen ainekseen (Van Delden ym. 2003). Karjanlannan käyttö kokeessa olleilla karjanlantamäärillä ei heikentänyt mukuloiden säilyvyyttä, ei lisännyt mukuloiden nitraattipitoisuutta eikä aiheuttanut makuvirheitä. Karjanlannan vaikutukset perunan satoon ja laatuun tulevat näkyviin vasta kaksinkertaisella karjanlantatyppimäärällä suositustyppimäärään verrattuna (Takala 1988). Karjanlantana annetun typpimäärän lisääntyessä lisääntyy myös mukuloiden typenotto- ja kuiva-ainesato (Van Delden 2001) samoin kuin suurien mukuloiden osuus (> 65 mm) kokonaissadosta (Stein-Bachinger ja Werner 1997).

6.4 Esikasvin vaikutus lajikkeiden välisiin eroihin

Nicola osoittautui satoisammaksi lajikkeeksi kuin Van Gogh. Nicolakasvuston alkukehitys oli ensimmäisenä perunan satovuotena hieman nopeampaa kuin Van Goghilla. Toisena perunan satovuotena alkukehitysnopeus oli jo puolet nopeampaa Nicolalla kuin Van Goghilla. Nicolakasvusto oli myös korkeampaa ja siitä korjattiin suurempi sato, myös toisena perunan satovuotena apilaesikasvin jälkeistä satoa lukuun ottamatta. Voidaan olettaa, että hyvä alkukehitys ja perunan varsisto varmensivat perunan tuleentumisen ja mukulanmuodostuksen ennen kuin rutto tuhosi kasvuston. Nicolan sato oli terveempää, mukulat kiinteämpiä ja siitä saatiin suurempi kauppakelpoinen sato kuin Van Goghista. Nicolan mukuloiden ulkonäkö keitetynä oli myös Van Gogh-lajiketta parempi. Nicolalla oli alhaisempi tärkkelyspitoisuus, mukulat olivat tummumisherkempiä, mukularuttoisempia ja korkkiintuneempia kuin Van Goghilla, samoin kuin yleisesti lajikekokeissa on todettu (Perunantutkimuslaitos 1991, Järvi ym.1996, Mustonen ym.1997). Kasvukauden aikana Nicolakasvustossa oli alhaisemmat lehtivihreäarvot ja korjatuissa mukuloissa korkeampi nitraattipitoisuus. Typpi-

lannoitus lisää merkittävästi perunan nitraattipitoisuutta ja lisäksi Nicolan nitraattipitoisuus ovat muita lajikkeita korkeampi (Kuisma 1992 ja Mustonen ym. 1997).

Vuoden 2002 perunasato oli tavanomaisesti tuotettujen perunoiden satotasoa. Kuisman (2003) mukaan samana vuonna Lammilla todettiin, ettei sato enää merkittävästi nouse Nicolalla ja Van Goghilla typpilannoituksen lisääntyessä. Satotason ollessa muutoinkin korkea viherlannoitus nostaa sadon määrää edelleen (Forsman 2004). Van Gogh pystyy hyödyntämään runsaamman maan typpipitoisuuden hyvinä kasvukausina (Kuisma 2003). Van Goghin satopotentiaali olikin Nicolaa suurempi perunan kasvulle optimaalisina kasvukausina kun taas Nicolan satopotentiaali oli parempi heikoimpina kasvukausina.

Ensimmäisenä perunan satovuotena paras sato Nicolasta saatiin välikorjatun virnaseosesikasvin jälkeen ja Van Goghista yksivuotisen apilaesikasvin jälkeen. Keskiarvosadot olivat 10–15 tn/ha pienempiä kuin tavanomaisesti tuotetussa perunanviljelyssä, mutta terveiden mukuloiden osuus sadosta oli jopa 10 % suurempi kuin tavanomaisessa perunanviljelyssä vastaavilla lajikkeilla (Järvi ym.1996). Toisena perunan satovuotena molemmista lajikkeista saatiin suurin sato kaksivuotisen apilaesikasvin jälkeen. Van Gogh-lajikkeen kokonaissato oli 800 kg/ha suurempi kuin Nicolan, mutta Nicolalla kaupakelpoisen sadon osuus oli 11 % suurempi kuin Van Goghilla. Oletettavaa oli, että maaperän typpivarojen vähentyessä Nicola pystyi paremmin ottamaan ja hyödyntämään typen terveiden perunoiden tuottamiseen.

6.5 Esikasvin vaikutus perunakasvuston lehtivihreän suhteelliseen määrään

Perunakasvustojen lehtivihreän suhteelliset määrät eivät eronneet koejäsenten välillä vielä mukulanmuodostuksen alkaessa, mutta kukinnan alkaessa arvot ennakoivat hyvin mineraalitypen määrää maassa varsiston tuleentua. Erityisesti korostui kaksivuotisen apilaesikasvin ja välikorjaamattoman virnaseosesikasvin jälkeiset korkeimmat lehtivihreäarvot. Välikorjaamattoman virnaseosesikasvin jälkeen saatiin paras sato kun taas välikorjaamattoman apilaesikasvin jälkeen mukuloissa oli korkea nitraattipitoisuus.

Nicolan alhaisemmat suhteelliset lehtivihreäarvot verrattuna Van Goghin arvoihin olivat samansuuruiset Lammin tulosten kanssa (Kuisma 2003). Lehtivihreäarvot laskivat Nicolalla enemmän ensimmäisen ja viimeisen mittauksen välillä, keskimäärin 6.2 yksikköä, ja Van

Goghilla 5.6 yksikköä. Lammilla Nicolan lehtivihreäarvot alenivat vain 5 yksikköä ja Van Goghin 10 yksikköä (Kuisma 2003). Eri käsittelyjen väliset keskimääräiset lehtivihreäarvot vaihtelivat vain 1-3 yksikköä. Kuisma (2003) ei myöskään havainnut Nicolan ja Van Goghin lehtivihreäarvoissa merkittäviä typpilannoituksen aikaan saamia eroja. Ilman lämpötila, kosteus, valo, kasvin ikä, mittausajankohta (päivällä pitoisuus kohoaa ja laskee iltaa kohden) ja maaperän lämpötila vaikuttavat perunan ottamaan typen määrään ja typpiassimilaatioon. Lehtien nitraattireduktaasiaktiivisuudella on yhteys lehtien kokonaistyppipitoisuuteen ja lehtivihreäarvoihin, mutta ei korrelaatiota perunan kokonaiskuiva-ainepitoisuuteen tai mukulan kuiva-ainepitoisuuteen (McLaskey 1997).

Lehtivihreäarvoilla oli selkeä yhteys perunasatoon. Tavanomaisesti tuotettuun perunanviljelyyn määritetyt lehtivihreäarvot mukulanmuodostuksen alkaessa (Spad arvo 49 - 56) ja kukinnan alkaessa (Spad arvo 45 - 47) näyttäisivät olevan liian korkeat luonnonmukaisesti tuotettuun perunanviljelyyn. Spad-arvot ovat suuntaa antavia ja paremmin yhteydessä lehtien typpipitoisuuden kuin koko kasvin typpipitoisuuden tai kasvin typenoton kanssa (Virtanen 1995).

6.6 Kasvukauden pituuden ja sään vaikutus maaperän typpipitoisuuteen ja mukulan nitraattipitoisuuteen

Maan nitraatti- ja ammoniumpitoisuuden oltua korkea mukulan muodostuksen aikaan, korjattiin myös mukuloita, joilla oli korkea nitraattipitoisuus. Maan nitraatti- ja ammoniumpitoisuuden oltua alhainen korjattiin myös alhainen perunasato sekä määrällisesti että laadullisesti molempina perunan satovuosina. Orgaanisten lannoitteiden hitaampi mineralisaatio verrattuna teollisiin lannoitteisiin nostaa kasvin nitraattipitoisuutta kasvukauden lopussa. Useissa tutkimuksissa on myös todettu, että typpilannoituksen lisääntyessä mukulan nitraattipitoisuus nousee ja kuiva-ainepitoisuus laskee (Frydecka-Mazurczyk ja Zgorska 1996, Mustonen 2004, Ierna ym 2005).

Maan ammoniumpitoisuuden oltua korkea ensimmäisen perunavuoden sadonkorjuun jälkeen, korjattiin suurin sato toisena perunavuonna. Maaperän jäännöstyyppä tarkasteltaessa erot tasoittuivat, kuten myös Forsman (2004) on todennut. Viljelyjärjestelmällä ja kasvinjätteellä on keskeinen vaikutus mineralisaation nopeuteen ja määrään (Broersma ym 1993, Honeycatt ym. 1993). Maahan muokattavalla kasvulla on kymmenen kertaa suurempi vaikutus typen mineralisoitumiseen kuin lämpötilalla (Magid ym. 2001). Suuren perunasadon

saamiseksi ei ole tavoiteltavaa esikasvin avulla tuottaa korkeaa maan nitraatti- ja ammoniumpitoisuutta seuraavalle vuodelle missään kasvukauden vaiheessa, vaan oleellisinta on tietty mineraalityypen peruspitoisuus ja sen riittävyys kasvukauden loppuun saakka.

Kasvukauden pituus tai sen keskeytyminen lehtiruton tai hallan takia ei selittänyt mukuloiden korkeaa nitraattipitoisuutta. Lehtiruton tuhottua perunakasvuston jo elokuun alussa (vuosi 2000, kasvuaika 70 vrk) Nicolan mukulan nitraattipitoisuus jäi alhaisemmaksi kuin vuonna 2002, jolloin kasvukausi jatkui kuukautta pidempään. Kasvukautena 2002 Van Goghilla oli päinvastoin alhaisempi mukulan nitraattipitoisuus kuin lyhyempänä kasvukautena vuonna 2000. Perunan mukuloiden nitraattipitoisuuden nousu on merkki nitraattireduktaasin häiriöstä esim. valon puutteen, kasvukauden keskeytymisen tai kuivuuden takia (Cieslik 1995). Mukulan nitraattipitoisuus on korkeimmillaan mukulanmuodostuksen alkussa ja se ehtii laskea suositusten alapuolelle (200 mg/kg tuorepainoa) kasvukauden kestäessä aikaisilla lajikkeilla 70 vrk (Juzl 1993). Riittävä lämpötila ja maan kosteus aikaansaiivat runsasta typen vapautumista esikasvin kasvinjätteestä vielä syksylläkin vuonna 2002, kuten myös Poutala ja Kuikman (1998) toteavat. Runsas typen vapautuminen näkyi hyvän typen hyväksikäyttäjän, Nicolan, korkeana mukulan nitraattipitoisuutena. Kasvukauden pituudelta ja sademäärältä samanlaisena, mutta hieman kylmempänä kasvukautena 2003, Nicolan mukulan nitraattipitoisuus ei noussut korkeaksi. Kastelu laskee mukulan nitraattipitoisuutta (Pis 1994), mutta kasvukauden lopulla kastelulla ei ole enää samaa vaikutusta (Geelen 1995). Toisaalta liiallinen kosteus yhdessä alhaisen lämpötilan kanssa lisää mukuloiden nitraattipitoisuutta (Zrust 1994, Frydecka-Mazurczyk ja Zgorska 1996). Perunasato ja kasvinjätteestä vapautuva mineraalityppi voivat vaihdella vuosittain voimakkaasti keskiarvosta (Miedzobrodzka 1992, Van Delden 2003). Kasvukauden lämpötilalla ja maan kosteudella näyttikin olevan keskeinen vaikutus maaperästä vapautuvan typen määrään ja perunan kykyyn käyttää vapautuva typpi hyväkseen.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkituista perunan esikasvivaihtoehdoista suositeltavin on kaksivuotinen välikorjattu apila. Välikorjaamattoman apilaesikasvin jälkeen maaperään jäi liikaa typpivaroja ja hallan tai ruton keskeyttäessä perunan kasvun, perunan sadonmuodostus jäi kesken. Yksivuotisista perunan esikasveista suositeltavin on yksivuotinen apilaesikasvi. Virnaseosesikasvien jälkeen korjattiin ensimmäisenä perunan satovuotena paras sato, mutta toisena perunan satovuotena perunasato oli kompostoidulla karjanlannalla lannoitetun viljaesikasvin ja lannoittamattoman viljaesikasvin jälkeisen perunasadon suuruinen.

Lannoittamattoman viljaesikasvin jälkeen perunasato oli lannoitettuja viljaesikasveja suurempi vielä toisenakin perunan satovuotena. Tämä kertoo maaperän riittävästä luontaisista typpivaroista, jotka tulisi saada kasvin käyttöön maan vesitaloudesta huolehtimalla. Perunaesikasvin jälkeiset perunasadot olivat heikoimmat.

Virnaseos- ja apilaesikasvit tuottivat riittävästi typpeä seuraavan perunasadon käyttöön. Perunan satotason nousu virna- ja apilaesikasvien jälkeen oli seurausta myös niiden maata parantavasta vaikutuksesta. Virnaseos- ja apilaesikasvit tuottivat suuremman ja parempilaa-tuisen perunasadon kuin lannoitettaessa perunaa karjanlannalla. Perunan esikasvilla oli vaikutus myös mukulan nitraattipitoisuuteen. Nikola-lajike reagoi maaperän typpipitoisuuteen herkemmin ja sen nitraattipitoisuus jäi varsinkin kuumana ja kuivana kasvukautena korkeaksi.

8. KIRJALLISUUS

Andersen, M.K. & Jensen, L.S. 2001. Low soil temperature effects on short-term gross N mineralisation-immobilisation turnover after incorporation of green manure. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 511–521.

Azam, F., Sajjad, M., Lodhi, A. & Qureshi, R. 2005. Changes in Fors of N During Decomposition of Leguminous/Non-leguminous Plant Residues in Soil and Fate of ¹⁵N-labelled Fertilizer Applied to Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Asian Journal on Plant Sciences* 4: 392–400.

Bakken, A., Synnes, O. & Hansen, S. 2004. Nitrogen Fixation by red clover as related to the supply of cobolt and molybdenum from some Norwegian soils. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B. Soil and Plant Sciece* 54: 97–101.

Bako, S. 2006. Effects of Plant Age, Ascorbate and Kinetin Applications on Nitretae Reductase Activity and Leaf Protein Content of Maize. *Asian Journal of Plant Sciences* 5: 363–367.

Berg, B. & Meentemeyer, V. 2002. Litter quality in a north European transect versus carbon storage potential. *Plant & Soil* 242: 83–92.

Berg, M., de Ruiter P., Didden, W., Janssen, M. Schouten, T. & Verhoef, H. 2001. Community food wed, decomposition and nitrogen mineralisation in a stratified Scots pine forest soil. *Oikos Munksgaard* 94: 130–142.

Biemond, H. & Vos, J. 1992. Effects of Nitrogen on the Development and Growth of the Potato Plant. 2. The Partitioning of Dry Matter, Nitrogen and Nitrate. *Annals of Botany* 70: 37–45.

Bischoff, J. & Diepenbrock, W. 1995. Need-related application for culinary potatoes in the dry region of central Germany. *Kartoffelbau* 46: 52–55.

Blomberg, K. & Hallikainen, A. 2000. Kotimaisten ja ulkomaisten ruokaperunoiden vieraat aineet; glykoalkaloidit, nitraatti ja raskasmetallit. *Elintarvikeviraston Tutkimuksia* 3. 28 s. Elintarvikevirasto. Helsinki.

Booij, R., Valenzuela, J. & Aguilera, C. 2000. Determination of crop nitrogen status using non-invas methods. *Teoksessa Haverkort, A & MacKerron, D. (toim.) Management of Nitrogen and Water in potato Production. Wageningen.*

Broersma, K. Juma, N.G. & Robertson, J. A. 1993. Nitrogen mineralization from a luvisolic soil with diverse cropping systems amended with plant residues. *Teoksessa Hadrian F. Cook & Howard C. Lee (toim.) Soil Management in Sustainable Agriculture. Ashford, Kent. Wye College.*

Burton, W. 1989. *The Potato*. Third edition. Singapore. Longman Group. 742 s.

Carlsson, G. & Huss-Danell, K. 2003. Nitrogen fixation in perennial forage legumes in the field. *Plant and Soil* 253: 353–372.

Carlsson, G. & Huss-Danell, K. 2005. Dynamics of nitrogenase activity and growth after cutting red clover (*Trifolium pratense*) at different heights. Teoksessa Input of Nitrogen from N₂ fixation to Northern Grasslands. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae* 76. Umeå. Swedish University.

Carter, M., Kunelius, H., Sanderson, J., Kimpinski, J., Platt, H. & Bolinder M. 2003. Productivity parameters and soil health dynamics under long-term 2-year potato rotations in Atlantic Canada. *Soil and Tillage Research* 72: 153–168.

Cieslik, E. 1995. The effect of weather conditions on the level of nitrates in tubers of some potato varieties. *Polish Journal of Food Nutrition Sciences* 4: 11–19.

Corre, W. & Breimer, T. 1979. Nitrate and nitrite in vegetables. Wageningen. Wageningen.

De Boer, A., van der Oost, J., Reijnders, W., Westerhoff, H., Stouthamer, A. & van Spanning, R. 1996. Mutational analysis of the nor gene cluster which encodes nitric-oxide reductase from *Paracoccus denitrificans*. *European Journal of Biochemistry* 242: 592–600.

Debosz, K. 1994. Evaluation of Soil Nitrogen Mineralization in Two Spring Barley Fields. *Acta Agriculture Scandinavica* 44: 142–148.

Diest, A. Van. 1990. Accumulation of nitrate in higher plants- its causes and prevention. Teoksessa Y.P. Abrol (toim.) Nitrogen in Higher Plants. Research studies in botany and related applied field 6. Taunton. Research Studies Press.

Djennane, S., Chauvin, J.E., Mayer, C. 2002. Glasshouse behaviour of eight transgenic potato clones with a modified nitrate reductase expression under two fertilization regimes. *Journal of Experimental Botany*. 53: 1037–1045.

Dou, Z., Toth, J.D., Jabro, J.D., Fox, R.H. & Fritton, D.D. 1996. Soil nitrogen mineralization during laboratory incubation: dynamics and model fitting. *Soil Biology and Biochemistry* 28: 625–632.

Drissner, D., Blum, H., Tscherko, D. & Kandeler, E. 2007. Nine years on enriched CO₂ changes the function and structural diversity of soil micro-organisms in a grassland. *European Journal of Soil Science* 58: 260–269.

Duda, G., Guerra, J., Monteiro, M., De-Polli, H. & Teixeira, M. 2003. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N and P of the microbial biomass. *Scientia Agricola* 60.

Efremov, V., Kurmysheva, N. & Trofimova, N. 1994. Yield and quality of potatoes. *Zemledelie* 3: 18–19.

Ehaliotis, C. & Giller, K. E. 1993. Nitrogen mineralization induced by the disturbance of soils from adjacent old pasture and arable fields. Teoksessa Hadrian F. Cook & Howard C. Lee (toim.) Soil Management in Sustainable Agriculture. Ashford, Kent. Wye College.

Evira. 2006. Luomuhyväksytty tuotantoala 2006. www.evira.fi.

Farnham, D.E. & George, J.R. 1994. Harvest management effects on dinitrogen fixation and nitrogen transfer in red clover-orchardgrass mixtures. Journal of Production Agriculture 7: 360–364.

Faure, P. 1998. Kväveläckade i ekologisk odling. Seminarier och examensarbeten- Sveriges lantbruksuniversitet 935. Institutionen för växtodlingslära, SLU.

Fewell, A., Roddick, J. 1997. Potato glycoalkaloid impairment of fungal development. Mycological Research 101: 597–603.

Fisher, A. & Richter CH. 1984. Influence of organic and mineral fertilizers on yield and quality of potatoes. Teoksessa Inka Fricke (toim.) The Importance of Biological Agriculture in a World of Diminishing Resources. Zürich. IFOAM.

Forsman, K. 2004. Lietelantana annettavan lisätyypen vaikutus viherlannoitettuun luomuohraan. Teoksessa J. Väisänen, K. Forsman, S. Kakriainen-Rouhiainen, T. Lötjönen ja H. Avikainen (toim.) Kasvuvoimaa Luomuohralle. Maa- ja elintarviketalous 52. Jokioinen. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus.

Forsman, K. & Lehto, E. 2004. Maanmuokkaustapojen vaikutus viherlannoitustypen vapautumiseen. Teoksessa J. Väisänen, K. Forsman, S. Kakriainen-Rouhiainen, T. Lötjönen ja H. Avikainen (toim.) Kasvuvoimaa Luomuohralle. Maa- ja elintarviketalous 52. Jokioinen. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus.

Forsman, K., Väisänen, J. Kakriainen-Rouhiainen, S. & Lötjönen T. 2004. Viherlannoituksen esikasvivaikutus viljoille-kirjallisuuskatsaus. Teoksessa J. Väisänen, K. Forsman, S. Kakriainen-Rouhiainen, T. Lötjönen ja H. Avikainen (toim.) Kasvuvoimaa Luomuohralle. Maa- ja elintarviketalous 52. Jokioinen. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus.

Forsmann, K., Virtanen, E. & Pulkkinen, J. 2006. Biotiitin käyttökelpoisuus perunanviljelyssä. Maataloustieteen päivät 2006. www.smts.fi.

Frame, J., Charlton, J.F.L. & Laidlaw, A.S. 1998. Temperate forage legumes. CAB International. Wallingford. 327 s.

Frydecka-Mazurczyk, A., Zgorska, K. 1996. Factors affecting the content of nitrates in potato tubers. Biuletyn Instytutu Ziemiaka 47: 111–125.

Geelen, P. 1995. The effect of late irrigation and nitrogen application on the nitrate content of ware potatoes. Publikatie Proefstation voor de Akkerbouw de Groenteteelt in de Vollgrond, Lelystad 78 A: 36–41.

Georgieva, S., Christensen, S. & Stevnbak, K. 2005. Nematode succession and microfauna-microorganism interactions during root residue decomposition. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 1763–1774.

Gianquinto, G. & Bona, S. 2000. The significance of trends in concentrations of total nitrogen and nitrogenous compounds. Teoksessa Haverkort, A & MacKerron, D. (toim.) *Management of Nitrogen and Water in Potato Production*. Wageningen. Wageningen Pers.s. 36–54.

Gibson, A. 1990. The genetics of nitrogen-fixing symbiotic associations. Teoksessa Y.P. Abrol (toim.) *Nitrogen in Higher Plants*. Research studies in botany and related applied field 6. Taunton. Research Studies Press.

Goh, K. M. & Bruce, G.E. 2005. Comparison of biomass production and biological nitrogen fixation of multispecies pastures (mixed herb leys) with perennial ryegrass-white clover pasture with and without irrigation in Canterbury, New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 110: 230–240.

Granstedt, A. 1993. The mobilization and immobilization of soil nitrogen after green-manure crops at three locations in Sweden. Teoksessa H.F. Cook & H.C. Lee (toim.) *Soil management in sustainable agriculture*. Ashford, Kent. Wye College.

Granstedt, A. 1995. Long term field experiment in Sweden: Effects of organic and inorganic fertilizers on soils and crops (K-trial). Teoksessa J. Raupp (toim.) *Main Effects of Various Organic and Mineral Fertilization on Soil Organic Matter Turnover and Plant Growth*. Darmstadt. The Institute for Biodynamic Research.

Granstedt, A. & Kjellenberg, L. 1996. Long term field experiment in Sweden: Effects of organic and inorganic fertilizers on soils and crops. Teoksessa N.H. Kristensen & H. Høgh-Jensen (toim.) *New Research in Organic Agriculture*. Zürich. IFOAM.

Griffin, T.S. & Hestermann. 1991. Potato Response to Legume and fertilizer Nitrogen Sources. *Agronomy Journal* 83: 1004–1012.

Gumpertz, M.L. & Brownie, C. 1993. Repeated measures in randomized block and split-plot experiments. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 625–639.

Haase, T., Schüler, C. & Heß, J. 2007a. The effect of different N and K sources on tuber nutrient uptake, total and graded yield of potatoes (*Solanum tuberosum L*) for processing. *European Journal of Agronomy* 26:187–197.

Haase, T., Schüler, C., Piepho, H., Thoni, H. & Heß, J. 2007b. The effect of preceding crop and pre-sprouting on crop growth, N use and tuber yield of maincrop potatoes for processing under conditions of N stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 193: 270–291.

- Hageman, R. & Below, F. 1990. Role of nitrogen metabolism in crop productivity. Teoksessa Abrol, Y. (toim.). Nitrogen in Higher Plants. Research studies in botany and related applied field 6. Taunton. Research Studies Press.
- Hallikainen, A. 1993. Nitraatin ja nitriitin turvallisuuskohdat. Ympäristö ja Terveys. 24: 430–433.
- Hamouz, K., Cepl, J., Vokal, B., Lachman, J. 1999. Influence of locality and way of cultivation on the nitrate and glycoalkaloid content in potato tubers. Rostlinna Vyroba 45: 495–501.
- Hansen, B., Alroe, H.F., Kristensen, E. & Wier, M. 2002. Assessment of food safety in organic farming. Darcof Working Papers 52. <http://orgprints.org/00000206>.
- Harris, P. 1992. Mineral nutrition. Teoksessa P. Harris (toim.) The Potato Crop. London. Chapman & Hall. s. 162–209.
- Hatch, D.J., Goodlass, G., Joynes, A. & Shepherd, M.A. 2007. The effect of cutting, mulching and applications of Farmyard manure on nitrogen fixation in a red clover/grass sward. Bioresource Technology 98: 3243–3248.
- Hay, R. & Walker, A. 1992. An introduction to the physiology of crop yield. Second edition. Malaysia, Longman Group. 292 s.
- Hay, R. & Porter, J. 2006. The Physiology of Crop Yield. Second edition. UK. Blackwell Publishing Ltd. 314 s.
- Hebert, M., Karam, A. & Parent L. 1991. Biological Agriculture and Horticulture 7: 349–361.
- Heikkilä, J. 1998. Luomuperunan tuotantoa Suomessa 1997 ja sen ongelmat. Mustiala. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Heinonen, S. 2005. Luonnonmukainen viljely viljelykasveittain vuosina 1993–2003. sampsa.heinonen@kttk.fi 23.2.2005
- Hellsten, A. & Huss-Danell, K. 2000. Interaction effects of nitrogen and phosphorus on nodulation in red clover (*Trifolium pratense* L.). Acta Agriculturae Scandinavica. Section B, Soil and Plant Science 50: 134–142.
- Hess, J. 1989. Klee grassumbruch im Organischen Landbau – Stickstofftransfer im Fruchtfolgeglied Klee-grass-Klee-grass-Weizen-Roggen. University of Bonn. Ms thesis.

Hofman, G., & Salomez, J. 2000. Role and value of organic matter. Teoksessa Haverkort, A & MacKerron, D. (toim.) Management of Nitrogen and Water in Potato Production. Wageningen. Wageningen Pers. s. 121–135.

Honeycutt, C.W., Potaro, L. J. Avila, K. L. Halteman, W.A. 1993. Residue quality, loading rate and soil temperature relations with hairy vetch (*Vicia villosa Roth*) residue carbon, nitrogen and phosphorus mineralization. Biological Agriculture and Horticulture 9: 181–199.

Honeycutt, C.W., Clapham, W.M. & Leach, S.S. 1996. Crop rotation and N fertilization effects on growth, yield, and disease incidence in potato. American Potato Journal 73: 45–61

Honeycutt, C.W. 1997. Quantifying total, N, and non-N related crop rotation effects without ¹⁵ N. Biological Agriculture and Horticulture 14: 125–137.

Huang, Y., Eglinton, G., Van Der Hage, E., Boon, J., Bol, R. & Ineson. 1998. Dissolved organic matter and its parent organic matter in grass upland soil horizons studied by analytical pyrolysis techniques. European Journal of Soil Science 49: 1–15.

Huss-Danell, K. 1997. Actinorhizal symbioses and their N₂ fixation. New Phytologist 136: 375–405.

Höök, K. 1993. Baljväxter som grüngödslingsgröda. Ekologiskt lantbruk 15. Uppsala.

Ierna, A., Lombardo, S., Licandro, P. & Mauromicale, G. 2005. Less nitrates in tubers with rational fertilization. Informatore Agrario 61: 65–66.

Ingestad, T. 1988. A fertilization model based on the concepts of nutrient flux density and nutrient productivity. Scandinavian Journal of Forest Research 3: 157–173.

Isolahti, M., Huuskonen, A., Tuori, M & Nissinen, O. 2001. Nurmipalkokasvien vaikutus maan mineraalityypivaroihin. Teoksessa Nurmipalkokasvien Tuotanto ja Käyttömahdollisuudet: professori Liisa Syrjälä-Qvistin juhlaseminaari 1.11.2001. Suomen Nurmijhdistyksen Julkaisu 6. Helsinki. Suomen Nurmijhdistys.

Isolahti, M. 2004. Nurmipalkokasvien jälkivaikutus maan mineraalityypivaroihin ja viljan satoon. Teoksessa M. Rinne (toim.). Maataloustieteen Päivät 2004. Helsinki. Suomen Maataloustieteellisen Seura.

Jonasson, T. & Olsson, K. 1994. The influence of glycoalkaloids, chlorogenic acid and sugars the susceptibility of potato tuber to wireworm. Potato Research 37: 205–216.

Juzl, M. 1993. Nitrogen nutrition in relation to the yield and nitrate content in tubers of very early potatoes. Rostlinna Vyroba 39: 987–993.

Järvi, A., Kangas, A., Salo, Y., Talvitie, H., Vuorinen, M. Mäkelä, L. 1996. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1988–1995. Maatalouden Tutkimuskeskuksen julkaisu A 2.

Kangas, A. 1995. Virallisten lajikekokeiden suoritusohjeet. <http://tripunix.mtt.fi>.

Kangas, A., Kuisma, P., Peltonen, J., Rahkonen A. & Seppänen, H. 1997. Perunalajikkeet 1997. Tieto Tuotamaan 74.

Kangas, A. & Rahkonen, A. 2001. Perunasopan uudet lajikkeet . Koetoiminta ja käytäntö 1.

Kankaanpää, L., Kieksi, J. & Heinonen, S. 2000. Luonnonmukainen maatalous 1999-Tilastoja. KTTK:n julkaisu B2.

Kankaanpää, L. & Pukkinen, T. 2004. Luonnonmukainen maatalous 2003-Tilastoja. KTTK:n julkaisu B2.

Kari, M. 1998. Perunan ravinnetalous. Teoksessa P. Nykänen-Kurki ja T. Rönkä (toim.) Perunaa Tavanomaisesti ja Luonnonmukaisesti Viljellen. Mikkeli. Maatalouden tutkimuskeskus. s. 17–25.

Kari, M. 2001. Perunan keittolaatumääritys,- luokitus ja käyttölaatukriteerit lajikehyväksyntää varten. Tutkimusraportti. Perunantutkimuslaitoksen Julkaisu 2.

Kawashima, H., Kashiwagi, Y. Watanbe, C., Sato, S., Nishimata, S., Takekuma, K., Hoshika, A. & Watanabe Y. 2007. NOx(nitrite/nitrate) in patients with pediatric nephrotic syndrome. *Pediatric Nephrology* 22: 840–843.

Kemppainen E. 1989. Nutrient content and fertilizer value of lifedtock manure with special reference to cow manure. *Annales Agriculturae Fenniae* 28: 163–284.

Kemppainen, R. 1994. Lannoitustavan vaikutus porkkana-, peruna- ja ohralajikkeiden satoon ja sadon laatuun. Maatalouden tutkimuskeskus 5. Jokioinen. Maatalouden Tutkimuskeskus.

Kirk, W., Marshall, B. 1992. The infulence of temperature on leaf development and growth in potatos in controlled enviroments. *Annals of Applied Biology* 120: 511–25.

Koivunen, K. 2005. Lantanäytteiden analysointi. neuvonta@viljavuuspalvelu.fi 24.10.2005.

Kostamo, P. 1991. Tavanomaisesti ja Luonnonmukaisesti Viljellyn Ruokaperunan Laatu ja Hinta Hämeen Läänissä. Elintarvikevirasto 13. Helsinki. Elintarvikevirasto.

Krause, T., Böhm, H., Loges, R., Taube, F. & Haase, N.U. 2005 Effect of different management systems of clover grass on yield, grading and quality of organic potatoes for processing. Teoksessa Heß, J and Rahmann, G (toim.) Ende der Nische. Kassel. Kassel university press GmbH.

Kuisma, P. 1992. Muokkaus ja lannoitus. Perunan Tuotanto. Tieto Tuottamaan 64: 45–54. Helsinki. Maaseutuskusten Liitto.

Kuisma, P. 1993. Karjanlantaa perunamaalle. Tuottava peruna 25:1.

Kuisma, P. 1999. Perunan typpilannoituksen optimointi. Perunantutkimuslaitoksen koetuloksia 1998. Perunantutkimuslaitoksen Julkaisu 1: 55–62.

Kuisma, P. 2000. Perunan typpitalous. Perunantutkimuslaitoksen koetuloksia 1999. Perunantutkimuslaitoksen Julkaisu 1: 58–64.

Kuisma, P. 2002a. Kesän 2001 kokemuksia typpi-ikkunoista. Tuottava Peruna 29 (2): 22–23.

Kuisma, P. 2002b. Efficiency of split nitrogen fertilization with adjusted irrigation on potato. Agricultural and Food Science in Finland 11: 59–74.

Kuisma, P. 2003. Perunan typpi-ikkunat. Perunantutkimuslaitoksen koetuloksia 2002. Perunantutkimuslaitoksen Julkaisu 1: 51–55.

Kurjenluoma, M., Tuomela, P. & Viitaluoma, A. 1998. On farm research, askel kohti viljelijäläheisempää tutkimusmenetelmää. Ilmajoki. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Projektityö.

Känkänen, H. 1995. Viherlannoituksella typpeä. Maatalouden Tutkimus- ja Tuotantopäivät 25.7.1995. Jokioinen. Maatalouden tutkimuskeskus.

Känkänen, H., Kangas, A., Mela, T., Nikunen, U., Tuuri, H. & Vuorinen, M. 1998. Timing of incorporation of different green manure crops to minimize the risk of nitrogen leaching. Agricultural and Food Science in Finland 7: 553–567.

Känkänen, H., Kangas, A., Mela, T., Nikunen, U., Tuuri, H. & Vuorinen, M. 1999. The effect of incorporation of different crops on residual effect on spring cereals. Agricultural and Food Science in Finland 8: 285–298.

Känkänen, H. 2001. Biomassan ja typen tuotanto sekä jyväsadot. Teoksessa Känkänen, H. (toim.) Viherkesannot ja Aluskasvit Viljan Viljelyssä. MTT:n julkaisu 25: 8–12.

Ladd, J.N., Butler, J.H.A. & Amato M. 1986. Nitrogen fixation by legumes and their role as sources of nitrogen for soil and crop. Biological Agriculture and Horticulture 3: 269–286.

Layzell, D. B. & Atkins, C. A.. 1997. The physiology and biochemistry of legume N₂ fixation. Teoksessa Dennis, D.T., Turpin, D.D., Lefebvre, D. B. (toim.) Plant Metabolism. Singapore. Logman Singapore. s. 495–505.

Leclerc, B., George, P., Cauwel, B. & Lairon, D. 1989. Organic fertilizer nitrogen mineralization rates. Teoksessa A. Djigma, E. Nikiema, D. Lairon & P.Ott (toim.) Agricultural Alternatives and Nutritional Self-sufficiency. Zürich. IFOAM.

Leifeld, J., Siebert, S. & Kogel-Knabner, I. Changes in the Chemical composition of soil organic matter after application of compost. European Journal of Soil Science 53: 299–309.

Leszczyski W. & Lisiska G. 1988. Influence of nitrogen fertilization on chemical composition of potato tubers. Food Chemistry 28: 45–52.

Lehto, E. 1998. Virnaa, mutta mitä virnaa? Luomulehti 2.

Li, H., Parent, E. & Karam, A. 2006. Simulation modeling of soil and plant nitrogen use in a potato cropping system in the humid and cool environment. Agriculture, Ecosystems and Environment 115: 248–260.

Li, X., Yang, Q., Zeng, G., Cornelius, A. Rosenwinkel, K., Kunst, S. & Weichgrebe, D. 2004. Model-based evaluation on the conversion ratio of ammonium to nitrate in a nitrification process for ammonium-rich wastewater treatment. Journal of Environmental Sciences 16: 1005–1010.

Linden, B. & Wallgren, B. 1993. Nitrogen mineralization after leys ploughed in early or late autumn. Swedish Journal of Agricultural Research 23: 77–89.

Littell, RC., Milliken, GA., Stroup, WW. & Wolfinger, RD. 1996. SAS System for Mixed Models, Cary, NC: SAS Institute Inc., 633 s.

Liu, X., Ko, K., Kim, S. & Lee K. 2007. Enhancement of nitrate uptake and reduction by treatment with mixed amino acids in red pepper (*Capsicum annuum L.*) Acta Agriculture Scandinavica: Section B, Soil and Plant Science 57: 167–172.

Loh, J. & Stacey, G. 2001. Feedback regulation of the Bradyrhizobium japonicum nodulation genes. Molecular Microbiology Blackwell Science Publishers 41: 1357–1364.

Lollo, C. 1994. Light regulation of nitrate reductase in green leaves of higher plants. Physiologia Plantarum 90: 616–620.

Lomakka, L. 1994. Försök med olika förfukter och grön gödsling till potatis i norra Sverige. Röbbäcksdalen meddelar 6. Umeå. Svensk Landbruksuniversitet.

Lombardo, S. & Licandro, P. 2005. Less nitrates in tubers with rational fertilization. *Informatore-Agrario* 61: 65–66.

Luoma, E. 2005. Nitraattimenetelmä 002.A. eva.luoma@novalab.fi. 17.2.2005.

Lynch, D. H., Voroney, R. P. & Warman, P. R. 2005. Soil physical properties and organic matter fractions under forages receiving composts, manure or fertilizer. *Compost Science & Utilization* 13: 252–261.

Lötjönen, T. 2004. Riviväliharauksen vaikutus typen mineralisoitumiseen. Teoksessa J. Väisänen, K. Forsman, S. Kakriainen-Rouhiainen, T. Lötjönen ja H. Avikainen (toim.) *Kasvuvoimaa Luomuohralle. Maa- ja elintarviketalous* 52. Jokioinen. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus.

Lötjönen, T. & Mikkola, H. 1999. Viherkesannon niitto ja muokkaus. Koetoiminta ja käytäntö 20.4.1999.

Maaseutukeskusten Liitto. 1992. Virna. Viherkesanto-opas *Kasvintuotanto* 15: 44–46.

Machnachi, M. & Kopak, R. 1998. The influence of nitrogen fertilization and harvesting period on size and yield quality of early potatoes: Part 1. Total yield and the content of nitrate and vitamin C. *Roczniki Nauk Rolniczych A* 113: 133–140.

Magid, J., Henriksen, O., Throup-Kristensen, K. & Müller, T. 2001. Disproportionately high N-mineralization rates from green manures at low temperatures-implication for modeling and management in cool temperate agro-ecosystems. *Plant and Soil* 228: 73–82.

Magnusson, M. & Landström, S. 1997. Tidpunkt för nedbrukning av grön gödningsslag och växnäringsleverans till efterföljande gröda i norra Sverige. Jonköping. Jordbruksverket. <http://zeus.bibul.slu.se>

Malgeryd, J. & Tortensson, G. 2003. Kvävehushållning och miljöpåverkan vid olika strategier för skötsel av grön gödningssvallar. Vägar, Val, Visioner Konferens 18.–19.11.2003. Ultuna. SLU.

Manak, M. & Ferl, R. 2007. Divalent cation effects on interactions between multiple arabidopsis 14-3-3 isoforms and phosphopeptide targets. *Biochemistry* 46: 1055–1063.

Marcher, H. 1995. *Mineral Nutrition in Higher Plants*. Second Edition. London, Academic Press. 889 s.

Maynard, D., Barker, A., Minotti, P. & Peck, N. 1976. Nitrate accumulation in vegetables. *Advances in Agronomy* 28: 71–114.

McLaskey, S.E. 1997. Nitrate concentration of dried potato petioles and petiole sap and SPAD chlorophyll measurements of potato leaves as affected by time of day and water stress. ProQuest Dissertations and Theses. Ithaca. Cornell University.

- Mehana, T. & Wahid O. 2002. Associative effect of phosphate dissolving fungi, *Rhizobium* and phosphate fertilizer on some soil properties, yield components and the phosphorus and nitrogen concentration and uptake by *Vicia faba* L. under field conditions. *Journal of Biological Sciences* 5: 1226–1231.
- Mela, T. 1988. Luonnonmukainen peltoviljely Suomessa. Helsingin Yliopisto. Kasvinviljelytieteen laitos 16. 220 s.
- Mela, T. 2003. Red clover grown in a mixture with grasses: yield, persistence and dynamics of quality characteristics. *Agricultural and Food Science in Finland* 12: 195–212.
- Miedzobrodzka, A., Cieslik, E., Sikora, E. & Leszczynska, T. 1992. The effect of environment conditions on the level of nitrates and nitrites in various varieties of potato. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 1 (4): 45–56.
- Mustonen, L., Kangas, A. & Häkkinen, S. 1997. Perunalajikkeiden typpilannoitus. Maatalouden tutkimuskeskuksen Julkaisu A 20.
- Mustonen, L. 1999. Varhais- ja syysperunan laatu. Maatalouden tutkimuskeskuksen Julkaisu A 20.
- Mustonen, L. 2004. Yield formation and quality characteristics of early potatoes during a short growing period. *Agricultural and Food Science* 13 (4): 390–398.
- Neeteson, J.J. 1998. Effect of legumes on soil mineral nitrogen and response of potatoes to nitrogen fertilizer. Teoksessa J.Vos, c.d. Van Loon & G.J. Bollen (toim.) *Effects of Crop Rotation on Potato Production in the Temperate Zones*. Boston. Kluwer Academic Publishers. s. 89–93.
- Neuhoff, D. & Köpke, U. 2002. Potato production in organic farming: Effects of increased manure application and different cultivars on tuber yield and quality. *Pflanzendauwissenschaften* 6: 49–56.
- Niemi, E., Penttilä, P. & Siivinen, K. 1995. Luonnonmukaisesti viljeltyjen elintarvikkeiden vierasainepitoisuudet. *Elintarvikeviraston Tutkimuksia* 7: 1–12.
- Nykänen, A. 1998. Typen huuhtoutumisriskiin huomio myös luomuvihannestiloilla. *Koetoiminta ja käytäntö* 5: 3.
- Nykänen, A., Granstedt, A., Laine, A. 1998. Apilanurmen iän vaikutus seuraavaan viljasatoon ja päättötavan vaikutus typen huuhtoutumisriskiin luomuviljelyssä. Teoksessa '98. Vantaa. Agro-Food ry. s. P6.
- Nykänen, A., Jauhainen, L. & Lindström, K. 2007. Soil nutrients influence the spatial distribution of biological nitrogen fixation of red clover in the field. *Biological Agriculture and Horticulture*. Käsikirjoitus 29.5.2007.

Parsons, J. 1984. Green manuring. *Outlook on Agriculture* 13 (1): 20–23.

Percival, G., Karim, M., Dixon, G. 1998. Influence of light enhanced glycoalkaloids on resistance of potato tubers to *Fusarium sulphureum* and *Fusarium solani* var. *coeruleum*. *Plant Pathology* 47: 665–670.

Perunantutkimuslaitos. 1986. Viljelytapojen vertailukoe. Perunantutkimuslaitoksen koetuloksia 1986. Perunantutkimuslaitoksen Julkaisu 1: 143–148.

Perunantutkimuslaitos. 1987. Viljelytapojen vertailukoe. Perunantutkimuslaitoksen koetuloksia 1987. Perunantutkimuslaitoksen Julkaisu 1: 107–111.

Perunantutkimuslaitos. 1988. Viljelytapojen vertailukoe. Perunantutkimuslaitoksen koetuloksia 1988. Perunantutkimuslaitoksen Julkaisu 1: 101–105.

Perunantutkimuslaitos. 1991. Nicolan typpitasot. Perunantutkimuslaitoksen koetuloksia 1991. Perunantutkimuslaitoksen Julkaisu 1: 52.

Perunantutkimuslaitos. 1993. Kesantokasvien esikasviarvo perunalle 1993. Perunantutkimuslaitoksen koetuloksia 1993. Perunantutkimuslaitoksen Julkaisu 1: 62–64.

Pis, V. 1994. Changes in the nitrate content of potato tubers grown with irrigation. *Vedecke-Prace-Vyskumneho-Ustavu-Zavlahoveho-Hospodarstva-v-Bratislava* 21: 139–146.

Poutala, R. T. & Kuikman P. 1995. Nitrogen dynamics in soil-plant system: the effect of timing of green manure incorporation in the soil. *NJF-utredning/rapport* 99: 242–247.

Poutala, R. T. & Kuikman P.J. 1998. The effect of delaying incorporation of green manure crop on N mineralification and spiring wheat (*Triticum aestivum* L.) performance. Teoksessa *Improving Resource Efficiency in Nutrient Management of Cereal Cropping Systems*. Ph.D. thesis. University of Helsinki. Department of Plant Production Section of Crop Husbandry. Publication No. 51. 22 s.

Putz, B., Lindhauer, M.G. & Weber, L. 1994. Nitrate content in potatoes. Influence of year, site, cultivar and storage. *Forschungs Report* 10: 11–13.

Rajala, J. 1999. Lannoituksen suunnittelu luomuviljelyssä. Lannoitus suunnittelu II kurssimoniste. Mikkeli. 17 p.

Rinne, S-L., Sippola, J. & Simojoki, P. 1993. Omavaraisen viljelyn vaikutus maan ominaisuuksiin. Maatalouden Tutkimuskeskus 4. Jokioinen. Maatalouden Tutkimuskeskus.

Reents, H. & Möller, K. 2000. Effects of green manure catch crops grown after peas on nitrate dynamics in soil and yield and quality of subsequent potatoes and wheat. Teoksessa T. Alföldi, W. Lockeretz & U. Niggli (toim.) *The Word Grows Organic*. Zürich. IFOAM.

Roinila, P. & Heiskanen, L. 1998. Lannoitustavan vaikutus perunan laatuun luonnonmukaisessa viljelyssä. Teoksessa P. Nykänen-Kurki ja T. Rönkä (toim.) *Perunaa Tavanomaisesti ja Luonnonmukaisesti viljellen*. 7.10.1998. Mikkeli. Maatalouden tutkimuskeskus. s. 41–46.

Roinila, P., Väisänen, J., Granstedt, A., Kunttu, S. 2003. Effects of different organic fertilization practices and mineral fertilization on potato quality. *Biological Agriculture and Horticulture* 21: 165–194.

Sallasmaa, S. 1990. Viherkesanto perunatilalla. *Tuottava Peruna* 22: 2.

Sang-Eun, B., Stewart, K. & Gwirt, A. 2007. Nitrate absorption and reduction on Cu (100) in acid solution. *Journal of American Chemical Society* 129: 10171–10180.

SAS, 1999. *SAS/STAT User's Guide, Version 8*, Cary, NC: SAS Institute Inc. 3809 s.

Scheller, E. 1991. Lannoitus luonnonmukaisessa viljelyssä -kasvinravitsemuksen tieteellisiä perusteita. Helsinki. Biodynaaminen Yhdistys.

Seresinhe, T., Hartwig, U., Kessler, W. & Nosberger, J. 1994. Symbiotic nitrogen fixation of white clover in a mixed sward is not limited by height of repeated cutting. *Journal of Agronomy and Crop Science* 172: 279–288.

Seuri, P., Nykänen, A. & Huhta, H. 2001. Siilinjärven apatiittipöly ja muut hidasliukoiset fosfori- ja kaliumlannoitteet luomuviljelyssä. Tuloksia Koesarjasta Vuosilta 1990-1995. Maatalouden Tutkimuskeskuksen Julkaisu A 54.

Shepherd, M. & Postma, R. 2000. Forms of soil nitrogen. Teoksessa Haverkort, A & MacKerron, D. (toim) *Management of Nitrogen and Water in Potato Production*. Wageningen. Wageningen Pers. s. 111–120.

Shiotani, A., Lishi, H., Uedo, N., Higashino, K., Kumamoto, M., Nakae, Y. & Tatsuta, M. 2004. Hypoacidity combined with gastric juice nitrite induced *Helicobacter pylori* infection is associated with gastric cancer. *Alimentary Pharmacology and Therapeutics* 20: 48–53.

Simojoki, P. & Sippola, J. 1986. Kompostilannoitus ja perunan laatu: Lannoitemäärä vaikutti ravinnekoostumukseen enemmän kuin lannoitelaji. Koetoiminta ja käytäntö 4:4.

Solberg, S. 1995. Influence of crops and cultivation management on the nitrogen leaching potential on ecological farms in South East Norway. *Biological Agriculture and Horticulture* 11: 115–122.

Sprent, J.I. & Sprent, P. 1990. Nitrogen fixing organisms. Pure and Applied Aspects. Chapman and Hall. London. 256s.

Srikumar, T. & Ökerman, P. 1990. The effects of fertilization and manuring on the content of some nutrients in potato (var. Provita). Food Chemistry 37: 47–60.

Stein-Bachinger, K. & Werner, W. 1997. Effect of manure on crop yield and quality in an organic agricultural system. Biological Agriculture and Horticulture 14: 221-235.

Stenberg, M., Aronsson, H., Linden, B., Rydberg, T. & Gustafson, A. 1999. Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with a catch Crop. Soil and Tillage Research 50: 115–125.

Stopes, C. & Philipps, L. 1992. Organic farming and nitrate leaching. New Farmer and Grower 34: 25–28.

Stulen, I. 1990. Interactions between carbon and nitrogen metabolism in relation to plant growth and productivity. Teoksessa Abrol, Y. (toim.). Nitrogen in Higher Plants. s. 297–309.

Suominen, L., Luukkainen, R., Roos, C. & Lindström, K. 2003. Activation of the *nodA* promoter by the *nodD* genes of *Rhizobium galegae* induced by synthetic flavonoids or *Galega orientalis* root exudate. FEMS Microbiology Letters 219: 225–232.

Takala, M. 1988. Palkokasvien biologiasta. Maatalouden Tutkimuskeskus 10. Jokioinen. Maatalouden Tutkimuskeskus.

Takala, M., Tahvonen, R. & Vuorinen, M. 1988. Väkilannoitus ja ”biologiset viljelyntelmät perunan, porkkanan ja punajuurikkaan viljelyssä. Maatalouden tutkimuskeskus 11. Jokioinen. Maatalouden Tutkimuskeskus.

Torstenson, G. 1993. Critical periods for nitrogen leaching from ecological agriculture. Teoksessa Nitrogen Leaching in Ecological Agriculture. International Workshop at The Royal Veterinary and Agricultural University 11.–15.10.1993. Copenhagen, Denmark.

Turpin, D. H., Weger, H. & Huppe, H. C. 1997. Interactions between photosynthesis, respiration and nitrogen assimilation. Teoksessa Dennis, D.T., Turpin, D.D., Lefebvre, D. B. (toim.) Plant Metabolism. Singapore. Logman Singapore. s. 509–524.

Tracy, B. & Sanderson, M. 2004. Productivity and stability relationships in mowed pasture communities of varying species composition. Crop Science 44: 2180–2186.

Vagstad, N., Eggestad, H. & Hoyås, T. 1997. Mineral nitrogen in agricultural soils and nitrogen losses: Relation to soil properties, weather conditions, and farm practices. Ambio 26: 266–272.

- Vance, C. 1997. The molecular biology of N metabolism. Singapore. Addison Wesley Logman. s. 449–476.
- Van Delden, A. 2001. Yield and growth components of potato and wheat under organic nitrogen management. *Agronomy Journal* 93: 1370–1385.
- Van Delden, A., Schröder, J.J., Kropff, M.J., Grashoff, C., Booi, R. 2003. Simulated potato yield, and crop and soil nitrogen dynamics under different organic nitrogen management strategies in The Netherlands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 96: 77–95.
- Varis, E., Horstia, E. & Iivonen, L. 1983. Palkokasvien esikasviarvo. Palkokasvit Viljelykierrossa ja – Seoksissa. Suomen Itsenäisyyden Juhlavuoden Julkaisu no.6.
- Viljavuuspalvelu. 1995. Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. Viljavuuspalvelu. Mikkeli.
- Violainen, V. 1992. Viherkesannon perustaminen ja hoito. Tiedote 51. Vihti. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos.
- Virtanen, A. 1995. Mionolta SPAD-502 mittarin käyttö viljakasvien typpipitoisuuden määrittämisessä ja typpilannoitustarpeen arvioinnissa. Helsingin yliopisto. Kasvintuotantotieteen laitos. Pro gradu.
- Vorne, V. 2001. Kirjallisuusselvitys perunan laadusta. Elintarvikeviraston Julkaisu 9: 5.
- Vos, J. 1992. Effects of nitrogen on the development and growth of the potato plant. 1. Leaf appearance, expansion growth, life spans of leaves and stem branching. *Annals of Botany* 70: 27–35.
- Vos, J. & Mackerron, D. 2000. Basic concepts of the management of supply of nitrogen and water in potato nitrogen. Teoksessa Haverkort, A & MacKerron, D. (toim.) Management of Nitrogen and Water in Potato Production. Wageningen. Wageningen Pers. s. 15–33.
- Vuorinen, M. 1993. Viherkesannon esikasvivaikutus. Koetointi ja käytäntö 2:7.
- Väisänen, J., Tontti T. 2005. Effect of organic fertilization on plant stand development of potato (*Solanum tuberosum* L.) and soil nitrogen dynamics. Käsikirjoitus tutkimustuloksista vuosilta 1998–1999.
- Waschkies, C. & Huttli, R. 1999. Microbial degradation of geogenic organic C and N in mine spoils. *Plant and Soil* 213: 221–230.
- Whitehead, D.C., Buchan, H. & Hartley, R.D. 1979. Composition and decomposition of roots of ryegrass and red clover. *Soil Biology and Biochemistry* 11: 619–628.
- Whitehead, D.C. 1995. Grassland Nitrogen. CAB International. Wallingford. 397 s.

- Wiseman, A., Finch, H. & Samuel, A. 1993. Lockhart & Wiseman's crop husbandry including grassland. 7 p. Exeter, Pergamon press. 317 s.
- Wivstad, M. 1997. Green-manure crops as a source of nitrogen in cropping systems. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae* 34.
- Wivstad, M. & Hagman, J. 1999. Gröngödsling som näringskälla till potatis. *Ekologiskt lantbruk* 8.–10.11.1999. Alnarp s. 191–192.
- Westemann, D. T. 1993. Fertility Management. Teoksessa Rowe C. Randall (toim.) *Potato Health Management*. Minnesota. The American phytopathological society. s. 77–86.
- Wolfinger, R. 1996. Heterogeneous variance-covariance structures for repeated measures. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics* 1 (2): 205–230.
- Yli-Halla, M. Viikari, E. & Palonen, J. 1987. Quantity and quality of potato yield as influenced by unbalanced and excessive fertilization. *Journal of Agricultural Science in Finland* 59: 131–139.
- Zahalak, M., Pratte, B., Werth, K. & Thiel, T. 2004. Molybdate transport and its effect on nitrogen utilization in the cyanobacterium *Anabaena variabilis* ATTC 29413. *Molecular Microbiology* 51: 539–549.
- Zrust, J. & Hola, Z. 1994. Effect of timing of drought period on the total and protein nitrogen and nitrate contents of potato tubers. *Rostlinna Vyroba* 40 (3): 271–279.

9. LIITTEET

LIITE 1. Viljavuustiedot kerranteittain vuosilta 1998 ja 2003 koejäsenillä 1–8: maalaji, multavuus, johtoluku, happamuus, maaperän Ca-, P-, K- ja Mg-pitoisuus.

koejäsen	kerranne	maalaji	1998										2003									
			multavuus	jl	pH	Ca	P	K	Mg	maalaji	multavuus	jl	pH	Ca	P	K	Mg					
1	1	sHHt	m	1.2	6	954	8.5	94.6	84.1	sHHt	m	1.6	5.7	1180	4.7	63.3	161					
1	2	htMm		1.7	6	1530	8	93.5	104	HHt	m	1.2	5.7	1210	4.9	67.8	149					
1	3	htMm		1.3	6	1020	8	111	107	HHt	mm	1.0	5.5	1040	5.3	74.6	140					
2	1	sHHt	mm	2	6	1350	7.5	86.4	128	sHHt	m	1.5	5.9	1270	4.4	62.6	158					
2	2	sHHt	mm	1.6	5	1310	9.5	108	103	HHt	mm	1.4	5.5	1050	5.5	91.7	158					
2	3	htMm		1.3	5	925	9.5	94.5	87.4	HHt	mm	1.2	5.7	1100	5.6	94.8	134					
3	1	htLJS	m	1.6	6	1120	7.5	78.6	110	HHt	m	1.6	5.6	1110	5.5	82	151					
3	2	sHHt	mm	1.5	6	1090	7	133	90.5	HHt	m	1.4	5.6	1120	5.6	102	131					
3	3	sHHt	mm	2	6	1360	7	156	98.1	HHt	mm	1.4	5.6	1250	5.7	117	184					
4	1	sHHt	mm	1.5	6	960	9.5	136	111	sHHt	m	1.4	5.5	923	5.9	99.1	150					
4	2	sHHt	m	1.9	6	1520	8.5	154	96.3	HHt	m	1.2	5.5	971	5.4	80.8	148					
4	3	sHHt	mm	1.5	6	1350	7	127	94.5	sHHt	mm	1.2	5.5	1100	5.7	108	173					
5	1	sHHt	m	1.6	6	1320	7.5	81.6	165	sHHt	m	1.2	5.6	958	5.9	69.6	156					
5	2	sHHt	mm	1.9	6	1280	8	147	106	HHt	mm	1.3	5.6	1090	5.4	94.7	155					
5	3	sHHt	mm	1.2	6	950	8	127	90	HHt	mm	1.2	5.3	865	6.1	101	132					
6	1	sHHt	m	1.5	5	793	9	120	113	HHt	m	1.4	5.7	986	5.6	108	159					
6	2	sHHt	mm	1.3	5	637	8.5	145	71.7	HHt	mm	1.4	5.6	1140	5.6	105	148					
6	3	htMm		1.2	5	785	9.5	102	86.5	HHt	mm	1.6	5.6	1330	5.5	125	178					
7	1	sHHt	m	1.7	6	1020	9.5	142	132	HHt	m	1.4	5.4	951	6.3	80.8	148					
7	2	sHHt	mm	1.6	6	1110	9	125	135	HHt	mm	1.7	5.4	1020	6.2	92.1	163					
7	3	sHHt	mm	1.4	6	1010	8	139	132	HHt	mm	1.4	5.3	1020	5.8	102	167					
8	1	sHHt	m	1.9	6	917	9	144	114	HHt	m	1.5	5.6	1060	5.7	103	186					
8	2	sHHt	mm	1.7	6	1300	9.5	137	107	HHt	mm	1.4	5.6	1370	5.6	120	166					
8	3	sHHt	mm	1.5	6	1150	9.5	116	101	HHt	mm	1.1	5.4	1050	6	83.4	167					

Koejäsen

1) Tyypeä keräivä esikasvisos¹⁾, sato välkkojattiin heinä – elokuun vaihteessa virnan tuliteessa kukalle, kyntö 20.10.2) Tyypeä keräivä esikasvisos¹⁾, sato kynnettiin maahan 20.10.3) Vilja, lannoitus nautan lannalla 30 m³/ha

4) Vilja, lannoitus Kemiran Luomu yleislannos (4-2-3) 1000 kg/ha

5) Vilja, lannoittamaton

6) Vilja, lannoitus nautan lannalla 50 m³/ha7) Peruna, lannoitus nautan lannalla 30 m³/ha

8) Peruna, lannoitus Kemiran luomu yleislannos (4-2-3) 1000 kg/ha

1) Ebena-rehuvimaa 140 kpl/m², persianapilaa 10 kg/ha, raiheinää 8 kg/ha sekä kauraa 40 kg/ha

Lyhenteet

sHHt= savinen hieno hietä

htMm= hietainen multamaa

htLJS= hietainen liejusavi

m= multainen

mm= runsasmultainen

LIITE 2. Viljavuusiedot kerranteittain vuosilta 1999 ja 2002 koejäsenillä 1–5 ja 9–11: maalaji, multavuus, johtoluku, happamuus, maaperän Ca-, P-, K- ja Mg-pitoisuus.

koejäsen	kerranne	Vuosi 1999										Vuosi 2002									
		maalaji	multavuus	jl	pH	Ca	P	K	Mg	maalaji	multavuus	jl	pH	Ca	P	K	Mg				
1	1	ljHHt	m	1,4	6	1450	9,9	176	124	sHHt	m	1,8	5,7	1160	3,8	78,7	208				
1	2	HHt	erm	1,7	5	1440	9,4	143	154	sHHt	m	2,1	6,2	1480	4,3	82,3	241				
1	3	Hht	erm	1,7	5	1190	8,9	137	136	sHHt	m	1,5	6,0	1340	4,3	105,0	218				
2	1	ljHHt	erm	1,9	6	1570	8,8	193	171	sHHt	rm	2,3	5,5	1130	5,5	87,4	209				
2	2	HHt	erm	1,4	6	1380	8,6	151	136	sHHt	m	2,1	5,7	1260	5,9	94,2	213				
2	3	HHt	erm	1	5	864	12	150	90,7	sHHt	m	1,8	5,7	1190	5,6	115,0	202				
3	1	ljHHt	rm	1,8	6	1600	9,6	232	149	sHHt	m	1,8	5,6	1070	6,2	81,8	192				
3	2	ljHHt	rm	1,8	6	1320	9,6	140	138	sHHt	m	1,8	5,7	1080	5,8	96,0	193				
3	3	Mm	rm	1,8	6	1700	9	182	172	sHHt	m	1,7	6,0	1220	4,9	102,0	191				
4	1	ljHHt	rm	1,8	6	1210	10	202	139	sHHt	m	2,0	5,6	1070	6,7	105,0	187				
4	2	ljHHt	rm	1,9	6	1350	11	164	131	sHHt	m	2,0	5,6	1100	6,4	105,0	194				
4	3	Mm	rm	1,4	5	1590	8,9	149	178	sHHt	m	1,9	6,2	1440	5,7	79,6	215				
5	1	ljHHt	rm	2,5	6	2010	7,7	134	193	sHHt	m	2,1	5,8	1050	5,4	89,4	191				
5	2	HHt	erm	1,7	5	969	10	139	92,6	sHHt	m	2,1	5,8	1230	5,5	91,8	209				
5	3	HHt	erm	1,9	5	1350	9	132	116	sHHt	m	1,5	6,0	1220	4,8	96,0	188				
9	1	ljHHt	rm	2,1	6	1140	8,9	120	141	sHHt	m	2,2	5,4	957	5,6	91,5	174				
9	2	ljHHt	rm	1,7	6	1220	9,5	141	115	sHHt	m	2,2	5,5	1030	5,6	94,8	190				
9	3	Mm	rm	1,6	5	1160	9,6	116	136	sHHt	m	1,4	6,1	1310	3,9	105,0	215				
10	1	ljHHt	rm	2,1	6	1900	7,6	153	202	sHHt	m	1,9	5,6	1040	5,6	99,2	189				
10	2	HHt	erm	2,5	6	1550	9,9	171	143	sHHt	m	1,9	5,8	1190	4,9	112,0	214				
10	3	HHt	erm	1,2	6	1560	11	196	154	sHHt	m	1,7	6,0	1360	4,0	77,2	215				
11	1	HHt	rm	1,4	6	1460	8,3	136	168	sHHt	m	2,0	5,6	1150	5,5	84,6	203				
11	2	HHt	erm	1,5	5	1010	10	96,2	109	sHHt	m	2,0	5,9	1320	5,4	57,3	234				
11	3	HHt	erm	1,2	5	1420	11	130	118	sHHt	m	1,8	6,1	1420	4,1	70,3	231				

Koejäsen

1) Typeä keräviä osikasveos¹⁾, sato välikorjattiin heinä – elokuun vaihteessa virman tullessa kukalle, kyntö 20.10.2) Typeä keräviä osikasveos¹⁾, sato välikorjattiin heinä – elokuun vaihteessa virman tullessa kukalle, kyntö 20.10.3) Vilja, lannoitus nautan lannalla 30 m³/ha

4) Vilja, lannoitus Kemiran Luonnu yleislannos (4-2-3) 1000 kg/ha

5) Vilja, lannoittamaton

9) Vilja + puna-apila, vilja puitiin syksyllä, puna-apila kasvusto kymnettiin maahan 20.10

10) Kaksivuotinen apilaturmi, sato kymnettiin maahan 20.10

11) Kaksivuotinen apilaturmi, sato välikorjattiin heinä-elokuun vaihteessa, kyntö 20.10.

1) Ebena-rehuvirmaa 140 kpl/m², persianapilaa 10 kg/ha, raiheinää 8 kg/ha sekä kauraa 40 kg/ha

Lyhenteet

ljHHt= liejuinen hieno hieta

sHHt= savinen hieno hieta

HHt= hieno hieta

Mm= multamaa

m= muttava

rm= runsasmultainen

erm= erittäin runsasmultainen

LIITE 3. Esikasvivuosten 1998 ja 2002 sadot ja ensimmäisen perunavuoden sadot vuosilta 1999 ja 2003 koejäsenillä 1-8.

Koejäsen	Esikasvivuosi 1998				Varsinainen perunavuosi 1999							
	N ⁷⁾ lannoitus kg/ha	tuoresato kg/ha	N sato ⁶⁾ korj./kynnetty kg/ha	N lisä kg/ha	N perunan käytettävissä kg/ha	NO ₃ aikal ⁵⁾		Maan nitraatti- ja ammoniumpitoisuus		Mukulan nitraattipitoisuus		
						mg/kg	kg/ha	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	Nicola mg/kg
1	0	19950 ¹⁾	147/29	0	29	3,53	11,00	7,17	2,37	164	45	
2	0	*30800 ³⁾	46	0	46	4,60	18,33	2,97	1,30	102	46	
3	13	3155	40/-27	11	-6	2,83	11,33	2,97	2,50	72	56	
4	40	3352	0	40	40	2,43	8,83	2,50	2,40	52	40	
5	0	3451	-40	0	-40	2,33	9,00	1,30	2,23	50	35	
6	21	3703	40/-19	0	6	2,73	8,73	4,37	1,47	56	40	
7	13	27721	-34	16	-3	4,60	16,00	1,90	0,70	75	46	
8	40	26461	-10	40	30	4,07	20,00	2,50	1,90	81	39	
Varsinainen perunavuosi 2003												
1	0	19911 ¹⁾	147/29	0	29	7,73	14,40	6,07	153	71		
2	0	*30800 ³⁾	46	0	46	14,40	14,63	5,83	128	107		
3	20	3930	40/-27	11	-6	14,63	9,27	4,20	161	200		
4	40	3725	0	40	40	9,27	5,60	5,60	186	166		
5	0	3241	-40	0	-40	9,50	5,13	5,13	95	122		
6	33	3690	40/-19	0	6	12,77	5,60	5,60	110	151		
7	20	30564	-34	16	-3	17,77	5,13	5,13	224	106		
8	40	28764	-10	40	30	10,90	4,20	4,20	89	64		

7) Lanta-analyysien tuloksia:

1998 lanta-analyysissä 0,43 kgN/m³2002 lanta-analyysissä 0,65 kgN/m³

Kemiran Luonnu-yhteislaannos (4-2-3)

1) Virman ka % 26,4 (mitattu vuonna 2001 nitetäessä) ja N-pitoisuus 2,8 %

2) Apilan ka % 23 (yleisesti käytetty) ja N-pitoisuus 2,4

3) Välikorjaamattoman viman arviointu ka% 30

4) Vilja-puna-apila aluskasvina kuiva-aine % 20 (arvio)

5) Aikal ennen lannan levitystä, ai ka2 mukulanmuodostumisen aikaan

6) (tuoresato (juuret+versot) x ka%) X (kasvuston N%-1,7/(mikrobiston ravinto)) = seuraavan kasvin käytössä oleva N kg/ha

* arvioituja satoja, lisätty 1/3 lisää välikorjatun sadon mittauksiin

LIITE 4. Esikasvivuosten 1999 ja 2001 sadot ja ensimmäisen perunavuoden sadot vuosilta 2000 ja 2002 koejäsenillä 1-5 ja 9-11.

Koejäsen	Esikasvivuosi 1999				Varsinainen perunavuosi 2000						Mukulan nitraattipitoisuus		
	N ⁷⁾ kg/ha	lannoitus kg/ha	tuoresato kg/ha	N sato ⁶⁾ korj/kynnetty kg/ha	N kg/ha	N perunan käytettävissä kg/ha	Maan nitraatti- ja ammoniumpitoisuus			NH ₄ aika ⁵⁾ mg/kg	Van Gogh mg/kg		
							NO ₃ aika ⁵⁾ mg/kg	NO ₃ aika ⁵⁾ mg/kg	NH ₄ aika ⁵⁾ mg/kg				
1	0	11044 ¹⁾	101/24	101/24	0	20	16,67	15,33	7,43	7,90	160	120	
2	0	*16197 ³⁾	24	24	0	24	15,33	15,67	13,00	6,50	110	100	
3	13	3590	40/-27	40/-27	9	-3	11,83	20,67	7,43	10,23	190	130	
4	40	3515	0	0	40	40	11,33	25,00	8,60	9,33	210	120	
5	0	3400	-40	-40	0	-40	10,23	17,67	9,27	10,27	140	100	
9	0	3745+*6000 ⁴⁾	15	15	0	15	15,00	20,00	7,90	7,90	140	120	
10	0	53000 ²⁾	85	85	0	85	13,00	22,00	8,37	15,57	150	140	
11	0	18433 ²⁾	115/65	115/65	0	65	12,33	22,00	7,90	14,23	130	130	
Varsinainen perunavuosi 2001													
1	0	16222 ¹⁾	101/24	101/24	0	28	TIEDOT PUUTTUVAT					182	84
2	0	*21088 ³⁾	35	35	0	35						282	116
3	13	4217	40/-27	40/-27	9	-3						249	82
4	40	3570	0	0	40	40						283	82
5	0	4070	-40	-40	0	-40						158	120
9	0	3742+*6000 ⁴⁾	15	15	0	15						260	92
10	0	53000 ²⁾	85	85	0	85						314	128
11	0	23355 ²⁾	115/65	115/65	0	65						113	123

1) Virnan ka % 26.4 (mitätty vuonna 2001 määritetessä) ja N-pitoisuus 2.8 %

2) Apilan ka % 23 (yleisesti käytetty) ja N-pitoisuus 2.4

3) Välikorjaamattoman viman arvioitu ka% 30

4) Vilja-puna-apila aluskasvina kuiva-aine % 20 (arvio)

5) Aika 1 ennen lannan levitystä, aika 2 mukulanmuodostumisen aikaan

6) (tuoresato (juuret+versot) x ka%) X (kasvuston N%-1.7/(mikrobiston ravinto)) = seuraavan kasvin käytössä oleva N kg/ha

* arvioituja satoja, lisätty 1/3 lisää välikorjatun sadon mittauksiin

7) Lanta-analyyysien tuloksia:

1998 lanta-analyyysissä 0.43 kgN/m³2002 lanta-analyyysissä 0.65 kgN/m³

Kemiran Luomu-yleislamos (4-2-3)

LIITE 5.

TAULUKKO 1. Kuukauden keskilämpötila ja sademäärä kasvukausina 1998–2003 ja keskimääräiset arvot (1971–2000) MTT:n Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ylistarossa.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	1971–2000
keskilämpötila							
toukokuu	7.7	6.8	10.6	7.5	11.1	9.6	8.8
kesäkuu	12.9	16.5	13.9	14.1	15.7	13.1	13.9
heinäkuu	15.3	16.4	16.0	17.9	17.9	19.5	15.8
elokuu	12.8	12.8	13.8	14.5	17.7	14.7	13.8
syyskuu	9.9	10.8	8.5	10.5	9.1	10.5	8.7
sademäärä							
toukokuu	50	21	37	88	44	70	33
kesäkuu	93	36	39	63	64	68	53
heinäkuu	145	35	75	61	82	71	73
elokuu	84	28	78	79	57	31	62
syyskuu	35	32	18	82	24	26	59

TAULUKKO 2. Kasvukauden tehoisa lämpötilasumma ja sadesumma kasvukausina 1998–2003 ja keskimääräiset arvot (1966–1997, 1971–2000) MTT:n Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ylistarossa.

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	1966–1997
lämpötilasumma	1094	1238	1179	1252	1493	1283	1161
							1971–2000
sademäärä	407	152	247	373	271	266	280

TAULUKKO 3. Perunoiden istutus- ja nostoajankohdat, varsiston tuhoutumisajankohta ja syy vuosina 1999–2003 MTT:n Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ylistarossa..

	istutus pv	nosto pv	Varsiston tuhoutumisen syy ja ajankohta
1999	19.5.	20.9.	halla 15.9.
2000	23.5.	12.9.	halla elokuun toisella viikolla lehtirutto 20–33 %
2001	5.6.	21.9.	rutto syyskuun alussa
2002	29.5.	18.9.	halla syyskuun toisella viikolla, lehtirutto 70–90 %
2003	5.6.	16.9.	rutto elokuun lopussa

LIITE 6.

TAULUKKO 1. Ensimmäisen perunavuoden lajikekohtainen (Nicola ja Van Gogh) sato (1000 kg/ha) ja tärkkelys (%) koejäsenittäin [Koejäsenet 1–5(n=4), 6–8 ja 9–11(n=2)]. Lajikekohtaiset keskiarvosadot ja tärkkelyspitoisuudet eivät poikkea toisistaan merkitsevästi.

Koejäsen	Sato 1000 kg/ha		Tärkkelys %	
	Nicola	Van Gogh	Nicola	Van Gogh
1	30,7	27,7	13,6	15
2	30,1	28,4	13,6	15,1
3	29,2	28,4	13,2	14,5
4	28,9	26,5	13,5	14,5
5	28,3	26,3	13,8	15,3
6	26,9	23,6	13,3	14,9
7	25,7	22,9	13,3	14,7
8	26,1	24,6	14,3	15,9
9	30,5	29,3	13,7	15,2
10	27,9	27,4	12,7	13,9
11	28,8	28,7	13,2	14,2

TAULUKKO 2. Toisen perunavuoden lajikekohtainen (Nicola ja Van Gogh) sato (1000 kg/ha) ja tärkkelyspitoisuus (%) koejäsenittäin [Koejäsenet 1–5(n=3), 6–8 (n=1) ja 9–11(n=2)]. Lajikekohtaiset keskiarvosadot ja tärkkelyspitoisuudet eivät poikkea toisistaan merkitsevästi.

Koejäsen	Sato 1000 kg/ha		Tärkkelys %	
	Nicola	Van Gogh	Nicola	Van Gogh
1	24,9	22,9	12,6	13,1
2	25,7	24,1	12,7	13,6
3	24,7	22,7	12,2	13,1
4	23,9	23,4	12,2	13,1
5	25,4	22,4	12,6	13,4
6	20,8	15,0	10,8	11,0
7	18,9	14,2	10,7	10,6
8	19,0	14,0	10,5	10,4
9	25,9	27,5	13,3	15,1
10	28,5	29,3	13,2	14,7
11	27,8	27,5	13,2	14,8

LIITE 7. Kauppakelpoisen sadon jakautuminen perunalajikkeiden Nicola ja Van Gogh kesken (% -osuus sadosta). Lajikkekohtaiset kokojakaumat eivät poikkea toisistaan merkittävästi.

Koejäsen	1. perunavuosi						2. perunavuosi					
	35–55 mm		55–70 mm		35–55 mm		55–70 mm		35–55 mm		55–70 mm	
	Nicola	Van Gogh	Nicola	Van Gogh	Nicola	Van Gogh	Nicola	Van Gogh	Nicola	Van Gogh	Nicola	Van Gogh
1	80	72	9	18	66	55	25 ²⁾	30 ²⁾				
2	79	73	9	19	63	51	25 ²⁾	31 ²⁾				
3	78	73	8	17	65	55	25 ²⁾	29 ²⁾				
4	78	75	7	16	66	55	25 ²⁾	29 ²⁾				
5	78	73	6	18	63	59	28 ²⁾	29 ²⁾				
6	80	79	7	13	68 ¹⁾	62 ¹⁾	28 ³⁾	30 ³⁾				
7	80	79	11	19	63 ¹⁾	66 ¹⁾	33 ³⁾	33 ³⁾				
8	79	76	14	23	69 ¹⁾	60 ¹⁾	30 ³⁾	34 ³⁾				
9	77	62	7	23	63	47	36	44				
10	77	67	4	16	61	50	38	44				
11	76	72	6	15	67	53	31	38				

¹⁾ n=1

²⁾ < 35 mm

³⁾ n=4

LIITE 8. Ensimmäisen perunavuoden terveiden mukuloiden osuus (%) kokonaissadosta, mekaanisesti pintavioittuneiden mukuloiden määrä (% vioittuneista) sekä kaupakelpoinen sato perunalajikkeilla Nicola ja Van Gogh sato (% 1. ja 2. perunavuodelta). Lajikekohtaiset erot eivät poikkea toisistaan merkitsevästi.

Koejäsen	1. perunavuoden ¹⁾				2. perunavuoden ²⁾			
	terveet mukulat, %		mekaanisesti pintavioittuneet, % vioittuneista		kaupakelpoinen sato, %		kaupakelpoinen sato, %	
	Nicola	Van Gogh	Nicola	Van Gogh	Nicola	Van Gogh	Nicola	Van Gogh
1	80,8	75,5	7,5	5,7	70	67	53	47
2	76,1	71,0	9,2	10,7	67	65	56	50
3	76,0	70,9	9,8	11,6	65	63	57	45
4	72,6	73,8	10,9	7,5	62	67	57	50
5	75,4	68,6	8,2	9,3	63	62	57	49
6	78,3	66,4	6,5	9,4	67	60	53	40
7	70,0	62,5	8,8	5,0	63	59	48	49
8	73,9	61,3	6,9	12,3	68	59	51	39
9	80,2	74,4	7,6	12,1	68	63	56	53
10	78,9	68,6	10,4	11,5	65	57	61	50
11	75,9	73,5	9,7	12,2	62	63	61	45

¹⁾ Koejäsenet 1–5 (n=4), 6–8 ja 9–11 (n=2)

²⁾ Koejäsenet 1–5 (n=3), 6–8 (n=1) ja 9–11 (n=2)

LIITE 9. Ensimmäisen perunavuoden keittolaatu asteikolla 1–9 lajikkeittain (Kangas 1995) (1=heikoin, 9=paras). Koejäsenet 1–5 (n=4), 6–8 ja 9–11 (n=2).

Koejäsen	Ulkonäkö keitettynä		Rikkiehuminen		Jauhoisuus		Maku		Jälkitummunen		Raakatummunen	
	Nicola	Van Gogh	Nicola	Van Gogh	Nicola	Van Gogh	Nicola	Van Gogh	Nicola	Van Gogh	Nicola	Van Gogh
1	6,6	5,9	6,4	5,4	4,0	5,4	6,5	6,8	6,7	7,0	5,2	4,6
2	6,8	5,9	6,6	5,8	4,0	5,5	6,6	7,3	6,4	6,7	5,6	4,5
3	6,8	6,1	6,3	5,7	3,8	5,5	6,4	7,1	7,0	7,0	5,4	4,8
4	6,6	6,8	6,5	5,6	4,1	5,5	6,3	6,8	6,9	6,8	5,0	4,9
5	6,5	6,0	6,4	5,4	4,3	5,4	6,3	7,2	6,8	6,8	5,4	4,7
6	7,3	5,6	6,7	4,7	4,5	5,2	6,4	6,7	6,9	7,0	6,6	5,9
7	6,8	6,5	7,3	6,4	4,5	5,0	7,1	7,0	7,0	6,9	6,4	5,6
8	7,1	6,3	6,9	6,3	4,7	5,8	6,6	7,2	7,0	6,9	6,7	5,8
9	6,7	5,3	6,2	6,0	3,7	5,5	6,7	7,5	6,9	6,9	4,8	3,2
10	6,0	7,0	6,4	6,5	3,6	4,0	6,2	7,3	6,9	7,0	4,7	3,7
11	6,3	6,0	7,0	6,0	3,6	5,1	6,2	8,0	6,9	7,1	4,2	3,4