



HÄRKÄPAVUN JÄÄNNÖSTYPEN OTTO ERI VILJELYKASVEILLA

Maisterintutkielman seminaari

Jaakko Haarala

Esitetty 10.4.2019, muokattu 28.12.2020



ESITYKSEN RAKENNE

- Tausta
- Kirjallisuuskatsaus
- Tutkimuksen tavoitteet
- Aineisto ja menetelmät
- Tulokset
- Tulosten tarkastelu
- Johtopäätökset
- Lähteet



TAUSTA (1)

- Ilmastonmuutosta pidetään uhkana maataloudelle (Meehl ym. 2007)
 - Ääriolosuhteet lisääntyvät
 - Ravinteiden huuhtoutuminen (Paasonen-Kivekäs ym. 2009)
 - Maan routimisen heikkeneminen (Mikkonen ym. 2014)
- Ilmastonmuutoksen pitäisi kuitenkin lisätä mahdollisuuksia (Peltonen-Sainio ym. 2009)
 - Käytännössä satotasot ovat kuitenkin kääntyneet laskuun (Peltonen-Sainio ym. 2015)
 - Lannoitetyypen käyttö laskenut -> ei kuitenkaan riitä selittämään koko satokuilua, koska typenkäytön hyötysuhde kasvanut (Muurinen 2007)



TAUSTA (2)

- Satokuilun kaventamista lähdetty selvittämään biottisten ja abioottisten tekijöiden kautta
 - Maan tiivistyminen ja kasvitaudit
 - Monimuotoisempi viljelykierto esim. sisältäen härkäpapua (Peoples ym. 2009)
 - Alentaa viljojen tautipainetta
 - Jättää jälkeensä kasvinjäänteissä typpeä

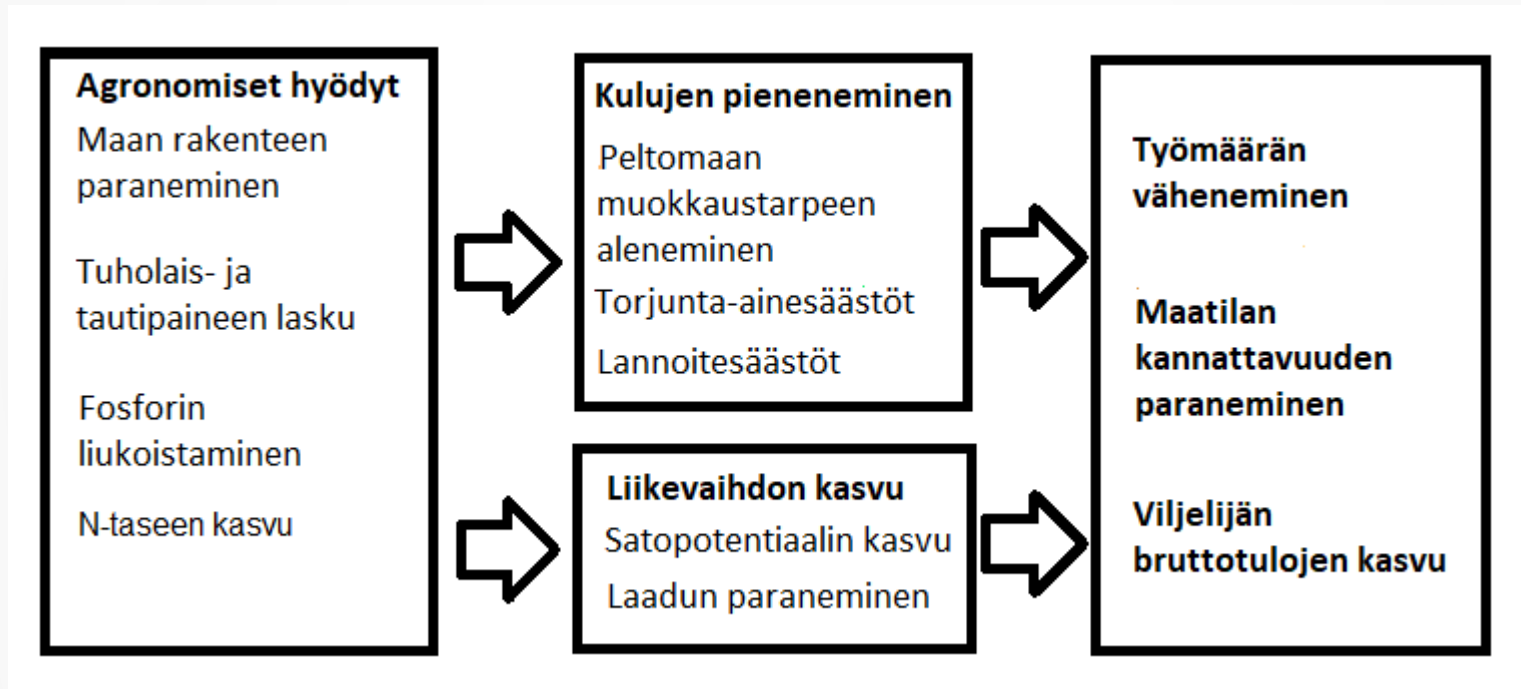


TAUSTA (3)

- Härkäpavun vaikutusta seuraavan kasvin typpidynamiikkaan on tutkittu maailmalla jonkin verran (esim. Senaratne ja Hardarson 1988, Schwenke ym. 1998, Nyberg ja Lindén 2008)
 - Eri olosuhteissa kuin Suomessa, tutkimusten tarkkuus vaihtelee
 - Biologista typensidontaa hyödynnetään lähinnä luomujärjestelmissä (Fowler ym. 2013)
 - Kasvavat tarpeet kustannusten minimointiin ja ravinteiden hyötykäytön tehostamiseen
- > Kiinnostus härkäpavun jäännöstypen mahdollisuuksiin saavutti riittävän tason



TAUSTA (4)



Palkokasvien esikasviarvot viljelyjärjestelmiin (muokattu Preissel ym. 2015)



KATSAUS KIRJALLISUUTEEN (1)

- Kasvit sisältävät yleisesti 1,5 – 5 % orgaanista typpeä (Haynes 1986)
- Typen paluu maatuivista kasveista seuraavien kasvien käyttöön ei ole itsestäänselvyys
 - Maaperän pieneliöstö mahdollistaa (Bardgett 2005)
 - Maan eloperäisellä ainekselle (ml. kasvinjäänteet) on tärkeä rooli typen kierrossa (Haynes 1986, Gregory ja Nortcliff 2013)
 - Yli 90% typpivarannoista
- Asynkronisaatio-dilemma (Båth 2000)
 - Kasvinjäänteiden hajoamiselle parhaat olot syksyllä ja aikaisin keväällä – ei kasveja hyödyntämässä typpeä.



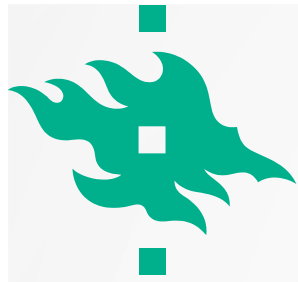
KATSAUS KIRJALLISUUTEEN (2)

- Mineralisaatio ja immobilisaatio
 - Samassa pisteessä tapahtuvia, kilpailevia prosesseja (Paul 2007)
 - Lähtökohtaisesti ei lisää absoluuttisen typen määrää maaperässä, vain muuttavat saatavuutta kasveille (Paul 2007)
 - Kun bruttomineralisaatio ylittää bruttoimmobilisaation
 - ➔ NH_4^+ kasvien käyttöön
- Yleisesti kasvinjäänteiden C/N pitäisi olla < 25 (Haynes 1986, Kaye ja Hart 1997)
 - Maan typpivarannot ja viljelyhistoria vaikuttaa



KATSAUS KIRJALLISUUTEEN (3)

- Ympäristö-olosuhteet vaikuttavat suuresti mineralisaatioon, koska hajottajat ovat mikrobeja sekä sieniä (Paasonen-Kivekäs ym. 2009)
 - Kun maan huokostilavuudesta 50-70 % veden täyttämä = maksimaalinen mineralisaatio (Havlin ym. 2005)
 - Yli 60 % kosteus lisää nitrifikaatiobakteerien osuutta (Paul 2007)
 - Ääriolosuhteet (kuivuus, pakkanen) voivat olla eduksi (Van Schreven 1968, Biederbeck ja Campbell 1973, Haynes 1986)



KATSAUS KIRJALLISUUTEEN (4)

- Härkäpapu = typensitojakasvi (Duc 1997)
 - Omavaraisuus vaihdellut tutkimuksissa 38 ja 88 % välillä
 - > Potentiaalia kasvattaa maaperän typpitasetta
 - Runsaat typpivarannot (Turpin ym. 2002) tai kuivuusstressi (Guérin ym. 1991) vähentävät biologista typensidontaa
- Yleensä suuri osa typestä poistuu korjatun sadon mukana (Schwenke ym. 1998, Turpin ym. 2002)



KATSAUS KIRJALLISUUTEEN (5)

Lähde	Lannoite + maaperä kylvössä (kg N ha ⁻¹)	Kasvuston kuiva-aine (tn ha ⁻¹)	Typeä (kg ha ⁻¹)				Biologisen typensidonnan osuus koko kasvuston tipestä (%)
			Kasvusto	Sidonta	Juuristo	Netto- lisäys	
Jensen (1986)	0+84	5,1*	288	220	-	-	70
Jensen (1986)	50+84	5,1*	281	187	-	-	66
Senaratne ja Hardarson (1988)	20+?	5,6	113	85	11	59	75
Schwenke ym. (1998)	0+71	2,4	67	33	22	20	38
Schwenke ym. (1998)	0+53	4,6	120	97	40	53	60
Peoples ym. (2001)	0+?	?	180	135	48	84	75
Turpin ym. (2002)	0+13	8,6	284	250	66	136	88
Turpin ym. (2002)	50+?	8,4	340	275	66	157	81
Nyberg ja Lindén (2008)	0+?	8,6	180	?	27	65	?
Lupwayi ja Soon (2015, 2016)	11+?	5,6	243	184	-	94	76

Maaperään nettotypeä keskimäärin 12 kg/ha/tn kuiva-ainetta



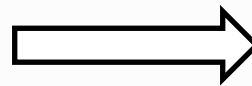
KATSAUS KIRJALLISUUTEEN (6)

- Kasvit ottavat kasvinjäänteistä mineralisoituneen typen NH_4^+ tai NO_3^- -muodossa (Havlin ym. 2005)
 - Suora typenoton vertailu ei ole mielekäs tapa vertailla
 - Typenotto riippuu perimästä ja ympäristöolosuhteista (Muurinen 2007), sadonlisä laskee käytettyä typpikiloa kohden
- UPE, UTE ja NUE (Moll ym. 1982) mielekkäämpiä suureita

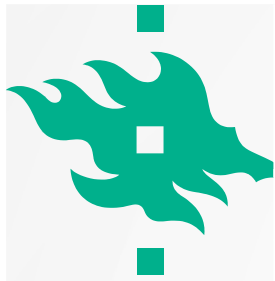
UTE = utilization efficiency,
sadonmuodostuksen tehokkuus

X

UPE = uptake efficiency,
typenoton tehokkuus



NUE = nitrogen use efficiency,
typenkäytön hyötysuhde



Lähde	N lannoitus + maaperä (kg ha ⁻¹)	Kasvi	NUE (kg kg ⁻¹ N)	UTE (kg kg ⁻¹ N)	UPE (%)
Muurinen ym. (2006)	70+(40–85)	Kaura	27,1	-	-
Muurinen ym. (2007)	90+?	Kaura	26,3	45,8	62
Fischer (1993)	60+7,5	Kevätvehnä	39,0	62,0	63
Fischer (1993)	120+7,5	Kevätvehnä	32,9	54,0	61
Dreccer ym. (2000)	20+30*	Kevätvehnä	32,8	40,0	82
Dreccer ym. (2000)	110+30*	Kevätvehnä	39,0	41,0	95
Muurinen ym. (2006)	70+(40–85)	Kevätvehnä	29,4	-	-
Muurinen ym. (2007)	90+?	Kevätvehnä	16,8	33,7	58
Nyiraneza ym. (2012)	0+?	Kevätvehnä	-	50,5	-
Nyiraneza ym. (2012)	120+?	Kevätvehnä	13,3	42,8	31
Dreccer ym. (2000)	20+30*	Kevätrapsi	16,8	20,0	84
Dreccer ym. (2000)	110+30*	Kevätrapsi	20,6	24,0	86
Hocking ym. (1997)	50+?	Syysrapsi	17,0	-	-
Hocking ym. (1997)	100+?	Syysrapsi	14,0	-	-
Berry ym. (2010)	0+54	Syysrapsi	-	23,4	-



TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

- Selvittää härkäpavun esikasvivaikutusta maaperän mineraalityppivaroihin seuraavan kasvukauden aikana
- Viljelykasvien typpidynamiikka
 - Suuri typensidontapotentiaali ja kasvinjäänteet typpipitoisia
- Nollahypoteesit:
 1. Härkäpavulla esikasvina ei ole vaikutusta maaperän liukoisiin, kasvukauden aikaisiin typpivarantoihin
 2. Härkäpapu esikasvina ei vaikuta seuraavien viljelykasvien typpidynamiikkaan



AINEISTO JA MENETELMÄT (1)

- Kenttäkoe Haltialassa (perustettu vuonna 2017), satunnaistettujen täydellisten lohkojen koe
 - Maalaji rm HeS, pääkasvinravinteet hyvällä tasolla
 - 4 kerrannetta x 10 koeruutua
- Kylvölannoitettiin 16. toukokuuta 2018



AINEISTO JA MENETELMÄT (2)

Ruutu nro	Esikasvi 2017	Viljelykasvi 2018	Lajike 2018	Kylvötiheys (kpl m ²)	NH ₄ NO ₃ (kg ha ⁻¹)
1	Avokesanto	Avokesanto	-	-	50
2	Härkäpapu	Härkäpapu	Kontu	70	20
3	Kaura	Kaura 90N	Obelix	500	90
4	Härkäpapu/SV*	Kevätvehnä	Demonstrant	700	90
5	Härkäpapu	Rapsi 90N	Smilla	150	90
6	Härkäpapu	Hamppu	Finola	200	50
7	Härkäpapu	Rapsi 0N	Smilla	150	0
8	Härkäpapu	Kaura 50N	Obelix	500	50
9	Härkäpapu	Kaura 0N	Obelix	500	0
10	Härkäpapu	Pellava	Abacus	800	50
*: syysvehnä kylvetty aluskasviksi keväällä 2017					



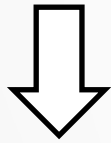
AINEISTO JA MENETELMÄT (3)

- Koeruuduista
 - Kasvuston biomassanäytteet (kg ha^{-1}) viisi kertaa (kevätvehnä kuusi kertaa)
 - Tavoite kasvullisessa vaiheessa, kukkien muodostumisen aikana, kukinnan aikana, jyväntäytymisen alussa, keltatuleentumisvaiheessa
 - Kasvit fraktioitiin ja kuivattiin (korret/varret, lehdet ja sato-osat (röyhyt/tähkät/lidut/palot))
 - Typpipitoisuusanalyysi Dumas-menetelmällä
 - Typpipitoisuus (%) * fraktion biomassa = fraktion typpisato (kg ha^{-1})

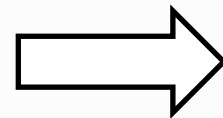


AINEISTO JA MENETELMÄT (4)

- Koeruuduista
 - Maanäytteenotto viidesti (kaura 90N, härkäpapu, kevätvehnä kuudesti)
 - 2M KCl uutto omatoimisesti, analyysi Seilab Oy
 - Typpipitoisuus mg/l



$$(C_{\text{näyte}} - C_{\text{sok}}) * \frac{(V_{\text{KCl}} + V_{\text{näyte}})}{M_{\text{näyte}}} * P_{\text{maa}} * 0,25$$



kg NO₃⁻/NH₄⁺-N ha⁻¹

0-25 cm

muokkauskerroksessa



AINEISTO JA MENETELMÄT (5)

- Koeruuduista
 - Lehtivihreäpitoisuus (viisi kertaa), lehtialaindeksi (LAI) (kuusi kertaa)
- Kenttäkokeen sadonkorjuu 20. syyskuuta 2018
- Kenttäkokeen säätä (lämpötila, sadanta) sekä maaperän kosteutta ja lämpötilaa mitattiin antureilla



AINEISTO JA MENETELMÄT (6)

n =
näytteenottokerta
järjestyksessä

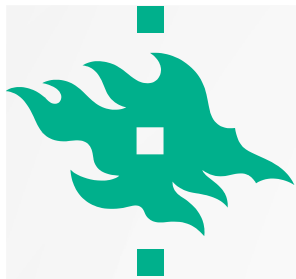
- Koeruutujen typpitaseiden muutokset näytteenottokertojen välillä laskettiin kaavalla

$$(N_{\text{kasvusto } n+1} - N_{\text{kasvusto } n}) + (\text{NH}_4_{n+1} - \text{NH}_4_n) + (\text{NO}_3_{n+1} - \text{NO}_3_n)$$

- Kasvukauden aikainen mineralisaatio laskettiin kaavalla

$$\sum \text{Typpitaseen muutos} - (N_{\text{lannoitus}} + N_{\text{siemen}})$$

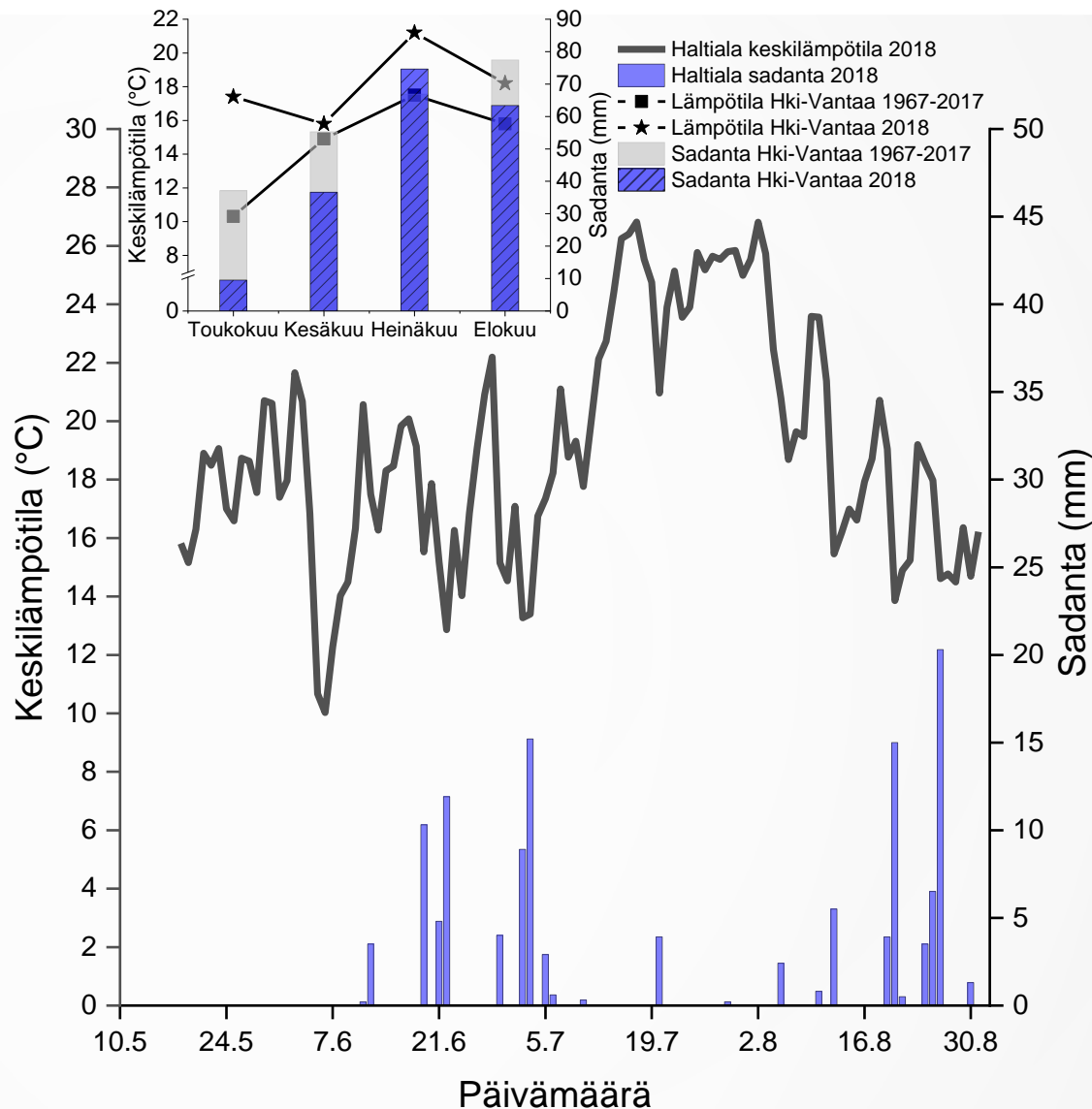
- Biomassa- ja typpisatojen varianssianalyysi SPSS:llä, kerranne ja ruudun kasvusto/lannoitus kiinteät vaikutukset
 - Viimeisen näytteenottokerran keskiarvojen eroavaisuudet Tukeyn testillä



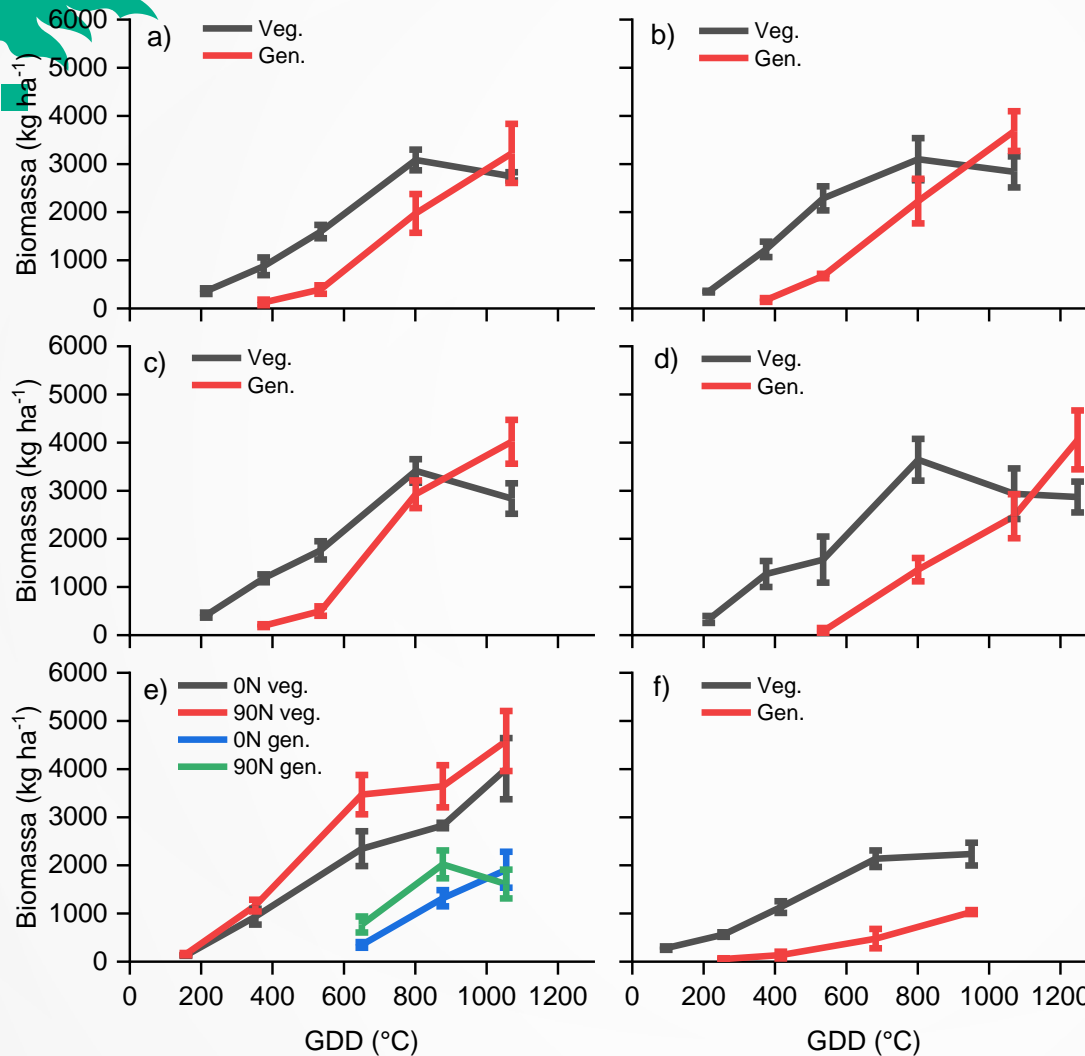
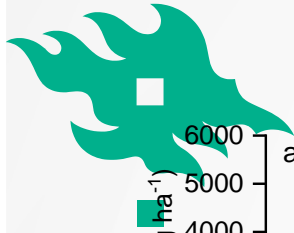
Lämpötila ja sadanta

TULOKSET (1)

30 mm sadetus
14.6.2018



TULOKSET (2)



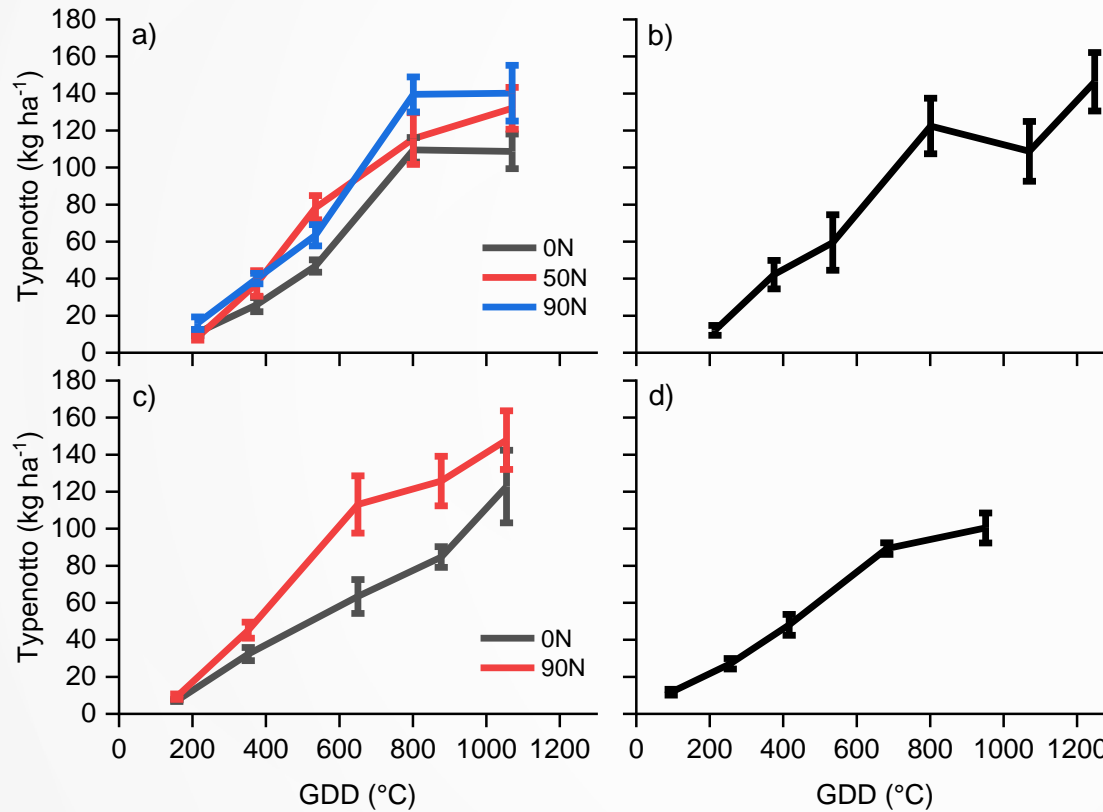
Viljelykasvien vegetatiivisen ja generatiivisen massan kertymä Hailialassa kasvukaudella 2018: a) kaura 0N, b) kaura 50N, c) kaura 90N, d) kevätheinä, e) rapsi ja f) härkäpapu.

Veg. = vegetatiivinen massa
Gen. = generatiivinen massa.

GDD= lämpösumma



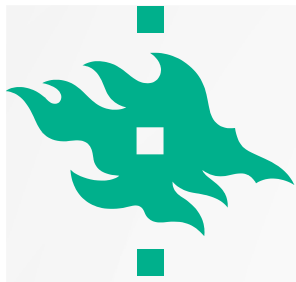
TULOKSET (3)



Kauran (a),
kevätvehnän (b),
rapsin (c) ja
härkäpavun (d) N-
otto Haltialan
kenttäkokeessa
kasvukaudella 2018.

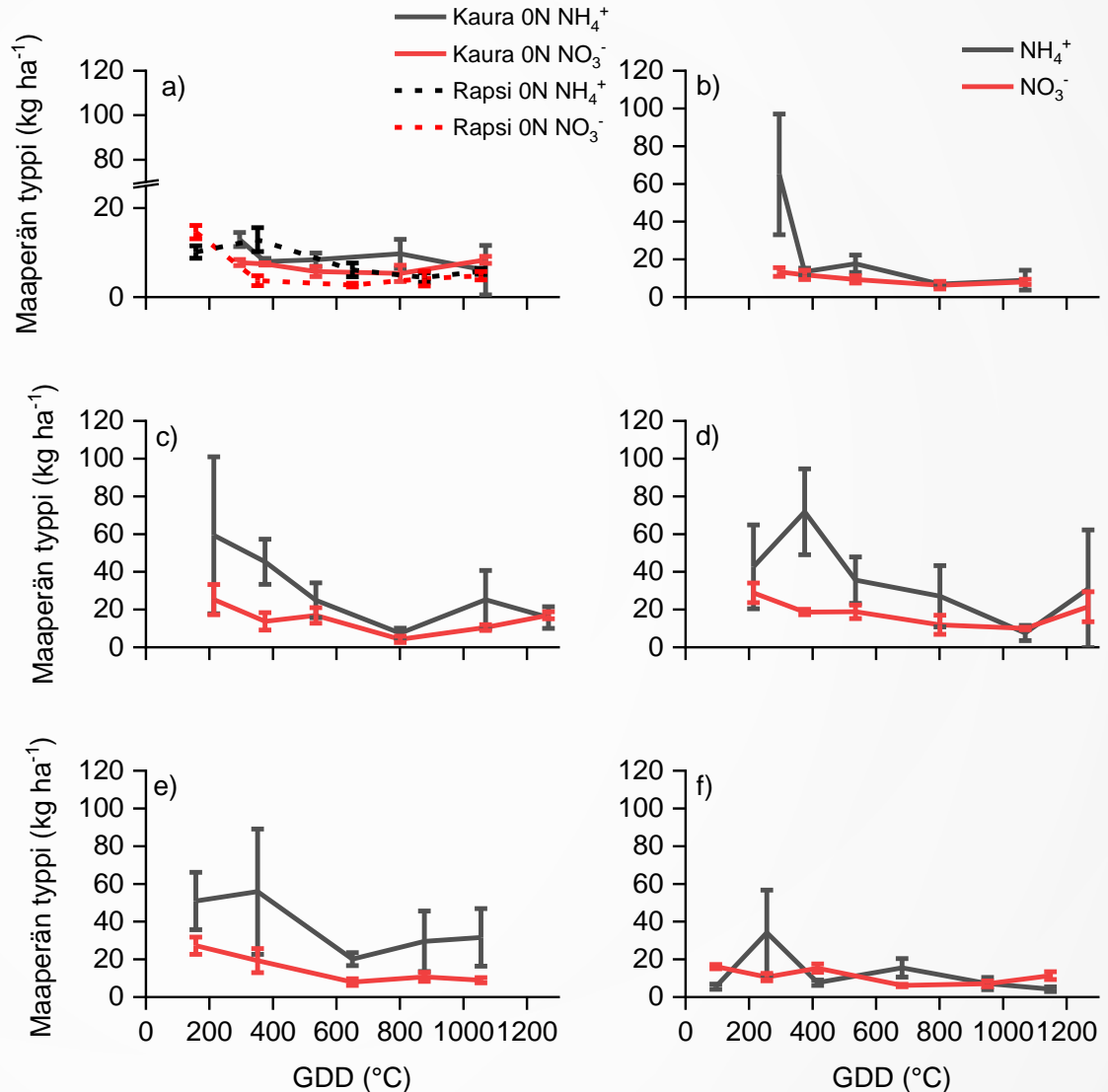
0/50/90 N =
0/50/90 kg/ha
lannostyyppiä

GDD=
lämpösumma



TULOKSET (3)

Koeruutujen ammonium- ja nitraattityypipitoisuus Haltialassa kasvukaudella 2018: a) kaura 0N ja rapsi 0N, b) kaura 50N, c) kaura 90N, d) kevätvehnä, e) rapsi 90N ja f) härkäpapu. GDD = lämpösumma





TULOKSET (4)

Viljelykasvien lehtialankesto (LAD), typpisato, typen sadonmuodostuksen tehokkuus (UTE), lannoitetypenoton tehokkuus (UPE) ja typenkäytön hyötysuhde (NUE) sekä ruutujen typpitaso ja typen mineralisaatio Haltialan kenttäkokeessa kasvukaudella 2018.

Viljelykasvi	Typpilannoitus (kg ha ⁻¹)	LAD (°C)	Typpisato (kg ha ⁻¹)	UTE (kg kg ⁻¹ typpeä)	UPE (%)	NUE (kg kg ⁻¹ typpeä)	Mitattu typpitaso* (kg ha ⁻¹)	Mineralisaatio (kg typpeä ha ⁻¹)
Kaura	0	1296	60,5±14,2	24,5±3,2			123,2	118,3
Kaura	50	1103	77,1±9,1	24,0±1,5	46±19	11,9±4,8	149,0	94,2
Kaura	90	987	87,4±8,7	25,4±0,8	35±14	8,7±3,5	175,9	81,0
Kevätvehnä	90	1055	80,8±12,4	18,5±1,4	42±15	8,5±3,1	198,8	102,5
Rapsi	0	> 1075	27,2±7,4	4,3±0,9			133,4	133,2
Rapsi	90	> 1075	21,6±5,5	3,0±0,9	28±15	0,5±0,2	188,4	98,2
Härkäpapu	20	> 1251	28,8±1,5	5,9±1,0			114,6	89,0

*: kokonais-N-otto + maaperän N-pitoisuus 0-25 cm maaprofiilissa kokeen lopussa



TULOSTEN TARKASTELO

(1)

- Viljakasvustojen kokonaisbiomassat kehittyivät ”normaalisti”, mutta kuivuus alensi merkittävästi rapsin ja härkävavun sadonmuodostusta
 - Päänteellinen kasvukyky oli edullisempi ominaisuus
- Lannoitusvaste oli matala kaura- ja rapsikasvustoilla
 - Kaurojen typenotossa eroa 0 kg N ha⁻¹ lannoitukseen 24 kg N ha⁻¹ (50 kg N ha⁻¹) ja 32 kg N ha⁻¹ (90 kg N ha⁻¹)
 - Typenotto oli korkeaa huomioiden kuivan kasvukauden (Fischer 1993)



TULOSTEN TARKASTELO

(2)

- Rapsit ottivat runsaasti typpeä -> taimettuminen **heinäkuun alussa**
 - Hockingin ym. (1997) tutkimuksessa syysrapsi otti edullisimmissa olosuhteissa kukinnan alkuun mennessä 100 kg N ha^{-1} lannoituksella n. 100 kg N ha^{-1} , kun tässä tutkimuksessa 90 kg N ha^{-1} lannoituksella kevätrapsi otti 113 kg N ha^{-1}



TULOSTEN TARKASTELO

(3)

- Maanäytteenottotapa virheellinen, suuret keskihajonnat
 - Ruutujen NH_4^+ - ja NO_3^- -pitoisuudet laskivat selvästi kukinnan aikaan
- Esikasvihärkäpavun suuren biomassan olisi pitänyt korreloida seuraavan kasvin typenoton kanssa (Peoples ym. 2001)
 - Viime kesään (2018) verrattuna (20 kg N ha^{-1}) vuodelta 2017 tyyppitaseen olisi pitänyt kasvaa huomattavasti enemmän
 - Nollaruutujen tulosten perusteella uskottava (mineralisaation keskiarvo 127 kg N ha^{-1})



TULOSTEN TARKASTELU (4)

- Maan kosteusolot eivät mahdollistaneet tehokasta mineralisaatiota kesän aikana
- Kasvinjäänteiden mineralisaatiota toteutunut vain lyhyinä aikoina sateiden jälkeen
 - Edellisenä syksynä tai keväällä (Toukoluoto ja Peltonen 2015)
 - Härkäpavun kasvukauden aikana (Nyberg ja Lindén 2008)
 - Mineralisaation asynkronisaation mahdollisuus (Båth 2000)



TULOSTEN TARKASTELU (5)

- Kaura- ja kevätvehnäkasvustojen typenkäytön hyötysuhde ja sadonmuodostuksen tehokkuus parhaimmillaan puolet Fischerin (1993), Dreccerin ym. (2000) ja Muurisen ym. (2007) tuloksista
 - Kuivuus vaikutti lannoitetyypen ottoon
- Lannoitus vaikutti typen satoindeksiin jonkin verran
 - Toisaalta epätasaisten kasvustojen typensiirto saattoi olla kesken viimeisellä näytteenottokerralla



JOHTOPÄÄTÖKSET

- Tavoitteena oli selvittää kasvusto- ja maanäytteidien avulla esikasvina olleen härkäpavun vaikutusta seuraavien viljelykasvien
 - Typenottoon ja dynamiikkaan
 - Liukoisiin typpivaroihin kasvukauden aikana
- Määritysten pohjalta
 - Härkäpavun viljelyn aikana ja/tai sen jälkeen on tapahtunut runsaasti mineralisaatiota
 - Ei varmuutta tarkoista arvoista, koska määritykset epätasaisia ja epäonnistuivat osin
 - Nollalannoitusruutujen korkeat typenotot luovat positiivisen kuvan härkäpavun jäännöstypen mahdollisuuksista
- Normaali kasvukausi ja syvemmät maanäytteet mahdollistaisivat tarkemmat arviot lannoitusarvosta



LÄHTEET

Bardgett, R.D. 2005. The Biology of Soil: A Community and Ecosystem Approach. Biology of Habitats. Oxford: Oxford Press. 254 s.

Berry, P.M., Spink, J., Foulkes, M.J. & White, P.J. 2010. The physiological basis of genotypic differences in nitrogen use efficiency in oilseed rape (*Brassica napus* L.). Field Crops Research 119: 365-373.

Biederbeck, V.O. & Campbell, C. A. 1973. Soil microbial activity as influenced by temperature trends and fluctuations. Canadian Journal of Soil Science 53: 363-376.

Båth, B. 2000. Matching the Availability of N Mineralized from Green-Manure Crops with the N-Demand of Field Vegetables. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae: Agraria 222. Uppsala: SLU Service/Repro. 29 s.

Drecer, M.F., Schapendonk, A.H.C.M., Slafer, G.A. & Rabbinge, R. 2000. Comparative response of wheat and oilseed rape to nitrogen supply: absorption and utilisation efficiency of radiation and nitrogen during the reproductive stages determining yield. Plant and Soil 220: 189-205.

Duc, G. 1997. Faba bean (*Vicia faba* L.). Field Crops Research 53: 99-109.

Fischer, R.A. 1993. Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. II. Physiology of grain yield response. Field Crops Research 33: 57-80.

Fowler, D., Coyle, M., Skiba, U., Sutton, M.A., Cape, J.N., Reis, S., Sheppard, L.J., Jenkins, A., Grizzetti, B., Galloway, J.N., Vitousek, P., Leach, A., Bouwman, A.F., Butterbach-Bahl, K., Dentener, F., Stevenson, D., Amann, M. & Voss, M. 2013. The global nitrogen cycle in the twenty-first century. Philosophical Transactions of the Royal Society 368: 1-13.

Gregory, P.J. & Nortcliff, S. 2013. Soil Conditions and Plant Growth. 12th edition. Chichester: Wiley-Blackwell. 472 s.



LÄHTEET

Guérin, V., Pladys, D., Trinchant, J-C. & Rigaud, J. 1991. Proteolysis and nitrogen fixation in faba-bean (*Vicia faba*) nodules under water stress. *Physiologia Plantarum* 82: 360-366.

Haynes, R.J. 1986. Mineral nitrogen in the plant-soil system. Orlando: Academic Press, Inc. 483 s.

Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L. & Nelson, W.L. 2005. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 7th edition. New Jersey: Pearson Education, Inc. 528 s.

Hocking, P.J., Randall, P.J. & DeMarco, D. 1997. The response of dryland canola to nitrogen fertilizer: partitioning and mobilization of dry matter and nitrogen and nitrogen effects on yield components. *Field Crops Research* 54: 201-220.

Jensen, E.S. 1986. Symbiotic N₂ fixation in pea and field bean estimated by 15N fertilizer dilution in field experiments with barley as a reference crop. *Plant and Soil* 92: 3-13.

Kaye, J.P & Hart, S.C. 1997. Reviews: Competition for nitrogen between plants and soil microorganisms. *TREE* 12(4).

Lupwayi, N.Z. & Soon, Y.K. 2015. Carbon and Nitrogen release from Legume Crop Residues for Three Subsequent Crops. *Soil Science Society of America Journal* 79: 1650-1659.

Lupwayi, N.Z. & Soon, Y.K. 2016. Nitrogen-Related Rotational Effects of Legume Crops on Three Consecutive Subsequent Crops. *Soil Science Society of America Journal* 80: 306-316.

Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., Gregory, J.M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J.M., Noda, A., Raper, S.C.B., Watterson, I.G., Weaver, A.J. & Zhao, Z-C. 2007. Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press ja New York, NY, USA.

<https://wg1.ipcc.ch/publications/wg1-ar4/ar4-wg1-chapter10.pdf>. Viitattu 27.1.2019.



LÄHTEET

Mikkonen, S., Laine, M., Mäkelä, H.M., Gregow, H., Tuomenvirta, H., Lahtinen, M. & Laaksonen, A. 2014. Trends in the average temperature in Finland, 1847-2013. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 29(6): 1521-1529.

Moll, R.H., Kamprath, E.J. & Jackson, W.A. 1982. Analysis and Interpretation Factors Which Contribute to Efficiency of Nitrogen Utilization. *Crop Science* 74: 562-564.

Muurinen, S. 2007. Nitrogen dynamics and nitrogen use efficiency of spring cereals under Finnish growing conditions. Academic dissertation. Department of Applied Biology, Section of Crop Husbandry, Publication no. 29. Helsinki: University of Helsinki.

Muurinen, S., Kleemola, J. & Peltonen-Sainio, P. 2007. Accumulation and Translocation of Nitrogen in Spring Cereal Cultivars Differing in Nitrogen Use Efficiency. *Agronomy Journal* 99: 441-449.

Muurinen, S., Slafer, G.A. & Peltonen-Sainio, P. 2006. Breeding Effects on Nitrogen Use Efficiency of Spring Cereals under Northern Conditions. *Crop Science* 46: 561-568.

Nyberg, A. & Lindén, B. 2008. Åkerbönor som förfrukt till vårsäd i ekologisk odling. Avdelningen för precisionsodling 15. SLU: Avdelningen för precisionsodling.
http://www.vaxteko.nu/html/sll/slu/rapport_precisionsodling/RPO15/RPO15.PDF. Viitattu 10.12.2018.

Nyiraneza, J., Cambouris, A.N., Ziadi, N., Tremblay, N. & Nolin, M.C. 2012. Spring Wheat Yield and Quality Related to Soil Texture and Nitrogen Fertilization. *Agronomy Journal* 104: 589-599.

Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. 2016. Maan vesi- ja ravinnetalous. Ojitus, kastelu ja ympäristö. 2. täydennetty painos. Helsinki: Salaojayhdistys ry. 487 s.

Paul, E.A. 2007. *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*. Canada: Elsevier Academic Press. 532 s.



LÄHTEET

Peltonen-Sainio, P. 1991. Effect of moderate and severe drought stress on the pre-anthesis development and yield formation of oats. *Journal of Agricultural Science in Finland* 63: 379-389.

Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Hakala, K. & Ojanen, H. 2009. Climate change and prolongation of growing season: changes in regional potential for field crop production in Finland. *Agricultural and Food Science* 18: 171-190.

Peltonen-Sainio, P., Salo, T., Jauhiainen, L., Lehtonen, H. & Sieviläinen, E. 2015. Static yields and quality issues: Is the agri-environment program the primary driver? *Ambio* 44: 544-556.

Peoples, M.B., Bowman, A.M., Gault, R.R., Herridge, D.F., McCallum, M.H., McCormick, K.M., Norton, R.M., Rochester, I.J., Scammell, G.J. & Schwenke, G.D. 2001. Factors regulating the contributions of fixed nitrogen by pasture and crop legumes to different farming systems of eastern Australia. *Plant and Soil* 228: 29-41.

Peoples, M.B., Bowman, A.M., Gault, R.R., Herridge, D.F., McCallum, M.H., McCormick, K.M., Norton, R.M., Rochester, I.J., Scammell, G.J. & Schwenke, G.D. 2001. Factors regulating the contributions of fixed nitrogen by pasture and crop legumes to different farming systems of eastern Australia. *Plant and Soil* 228: 29-41.

Preissel, S., Reckling, M., Schläfke, N. & Zander, P. 2015. Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. *Field Crops Research* 175: 64-79.

Schwenke, G.D., Peoples, M.B., Turner, G.L. & Herridge, D.F. 1998. Does nitrogen fixation of commercial, dryland chickpea and faba bean crops in north-west New South Wales maintain or enhance soil nitrogen? *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38: 61-70.

Senaratne, R. & Hardarson, G. 1988. Estimation of residual N effect of faba bean and pea on two succeeding cereals using ¹⁵N methodology. *Plant and Soil* 110: 81-89.



LÄHTEET

Toukoluoto, N. & Peltonen, S. 2015. Viljelykiertojen monipuolistaminen. ProAgria Keskusten Liiton julkaisu nro 1142. Vantaa: ProAgria Keskusten Liitto. 96 s.

Turpin, J.E., Herridge, D.F. & Robertson, M.J. 2002. Nitrogen fixation and soil nitrate interactions in field-grown chickpea (*Cicer arietinum*) and fababean (*Vicia faba*). Australian Journal of Agricultural Research 53(5): 599-608.

Van Schreven, D.A. 1968. Mineralisation of the carbon and nitrogen of plant material added to soil and of the soil humus during incubation following periodic drying and rewetting of the soil. Plant Soil 28: 226-245.