

Kasvintuhoojilla merkitystä ravinnekuormituksessa -Verkkolaikkutartunta vähentää ohran ravinteiden ottoa

Erja Huusela-Veistola, Marja Jalli, Kari Ylivainio, Eila Turtola, Riitta Lemola, Pentti Ruuttunen
MTT Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

Tiivistelmä

Peltoviljelyn typpi- ja fosforikuormitus vesistöihin on yksi merkittävimmistä maatalouden aiheuttamista ympäristöhaitoista. Torjunta-aineiden käytöstä voi myös aiheutua päästöjä vesistöihin ja pieniä jäämiä elintarvikkeisiin, mutta Suomessa ravinnepäästöjä on pidetty suurempana ongelmana kuin torjunta-ainejäämiä. Kasvinsuojelulla ja hallitulla torjunta-aineiden käytöllä on kuitenkin monitahoisia kytkentöjä maatalouden ympäristönsuojeluun.

Kasvinsuojelua ja kasvinsuojeluaineiden käyttöä on perinteisesti tarkasteltu vain kasvintuhoojien torjunnan ja viljelykasvin sadontuoton kannalta, eikä ole huomioitu kasvinsuojelun välillisiä vaikutuksia kasvin ravinteiden käyttöön ja sitä kautta ravinnekuormitukseen. Jos kasvinsuojelusta ei huolehdita, seurauksena voi olla kasvuston kunnon heikentyminen tai jopa täydellinen tuhoutuminen, jolloin osa kasvustolle suunnatuista ravinteista jää käyttämättä ja riski ravinnepäästöihin kasvaa.

Uutta perustietoa kasvintuhoojien merkityksestä kasvien ravinteiden ottoon tutkittiin astiakokeen avulla. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mikä on kasvintuhoojan vaikutus satokomponenttien mukana poistuviin ravinne-määriin ja -taseisiin. Kokeessa tutkittiin verkkolaikkutartunnan vaikutusta kasvin ravinteiden käyttöön kahdella ohralajikkeella (altis vs. resistentti). Astiakokeen tuloksia täydennettiin torjunta-ainetarkastuksen yhteydessä tehdyn verkkolaikku/fungisidi -kenttäkokeen ravinneanalyysillä ja ravinnetaselaskelmilla.

Tulosten mukaan alttiilla lajikkeella sadon mukana poistuvat typpi- ja fosforimäärät pienenevät 19-26 %, kun ohran verkkolaikkutartunta voimistui. Tämä osoitti, että kasvintuhoojien vioittamassa kasvustossa osa lannoitteista jää käyttämättä, ravinteita voi kertyä maahan ja kuormitusriski voi kasvaa. Verkkolaikkuvioituksen määrä ei vaikuttanut jyvien typpi- ja fosforipitoisuuksiin, joten ravinnetaselaskelmat voitaisiin ainakin tässä tapauksessa tehdä suhteellisen luotettavasti pelkkiin satomääriin perustuen.

Tuotantopanosten (lannoitteet, torjunta-aineet) käytön optimointi korostuu viljelytekniikoiden, ilmasto-olojen ja tuotantopanosten hintojen muuttuessa. Kasvukauden sääolosuhteet vaikuttavat sekä kasvien kasvuun että kasvintuhoojien määrään. Ilmaston muuttuessa leudot talvet lisäävät ravinteiden huuhtoutumisriskiä, ja toisaalta ne saattavat parantaa kasvintuhoojien talvehtimismahdollisuuksia. Tutkimuksen tulokset avaavat mielenkiintoisen näkökulman arvioitaessa kokonaisvaltaisesti kasvinsuojelun merkitystä maatalouden ympäristönsuojelussa.

Asiasanat

kasvinsuojelu, kasvitaudit, vesiensuojelu, ravinnepäästöt, ravinteet, ravinnetase, typpi, fosfori, ohra, verkkolaikku, taudinkestävyys

Johdanto

Vesistöjen ja erityisesti Itämeren tilan heikkeneminen on ajankohtainen ympäristöongelma. Peltoviljelyn typpi- ja fosforikuormitus vesistöihin on yksi merkittävimmistä maatalouden aiheuttamista ympäristöhaitoista. Maatalouden vesistökuormituksen vähentämiseksi on käynnistynyt useita hankkeita, joissa kehitetään ja otetaan käyttöön tehostettuja maatalouden vesiensuojelutoimia.

Torjunta-aineiden käytöstä voi myös aiheutua päästöjä vesistöihin ja pieniä jäämiä elintarvikkeisiin, mutta Suomessa ravinnepäästöjä on pidetty suurempana ongelmana kuin torjunta-ainejäämiä. Kasvinsuojelulla ja hallitulla torjunta-aineiden käytöllä on kuitenkin monitahoisia kytkentöjä maatalouden ympäristönsuojeluun.

Kasvintuhoojat (kasvitaudit, tuhoeläimet ja rikkakasvit) alentavat satopotentiaalia monin tavoin. Kasvitaudit heikentävät fotosynteesitehokkuutta ja nopeuttavat lehtien vanhenemista ja kuolemista. Tuhoeläimet imevät kasvinesteitä, vähentävät biomassaa tai tuhoavat tärkeitä kasvinosia. Rikkakasvit kilpailevat valosta ja ravinteista. Kasvintuhoojaryhmien merkitys vaihtelee viljelykasveittain, mutta globaalien arvioiden mukaan noin kolmannes sadosta menetetään kasvintuhoojien vuoksi (Oerke 2006).

Muutokset viljelytekniikassa voivat lisätä kasvintuhoojien merkitystä. Esimerkiksi kevennetty muokkaus saattaa lisätä maa- ja kasvijätelevintäisten kasvitautien esiintymistä. Laaja monokulttuuriviljely ja vähentynyt viljelykierto kärjistävät tilannetta. Vaikka kasvinjalostuksen ansioista lajikkeiden satopotentiaali on kasvanut, ei satotaso käytännössä ole kuitenkaan noussut vastaavasti. Yhtenä syynä on pidetty kasvintuhoojien merkitystä (Peltonen-Sainio ym. 2007, Salo ym. 2008).

Kasvinsuojelua ja kasvinsuojeluaineiden käyttöä on perinteisesti tarkasteltu vain kasvintuhoojien torjunnan ja viljelykasvin sadontuoton kannalta, eikä kasvinsuojelun välillisiä vaikutuksia kasvin ravinteiden käyttöön ja sitä kautta ravinnekuormitukseen ole huomioitu. Jos kasvinsuojelusta ei huolehdi, seurauksena voi olla kasvuston kunnan heikentyminen tai jopa täydellinen tuhoutuminen, jolloin osa kasvustolle suunnatuista ravinteista jää käyttämättä ja riski ravinnepäästöihin kasvaa.

MTT:llä vuonna 2008 alkanut KARA (Kasvinsuojelu vesistöjen ravinnekuormituksen vähentäjänä) -hanke selvittää kasvinsuojelun välillisiä vaikutuksia ravinnekuormitukseen. Hanke liittyy MTT:n Vesistöystävällinen maatalous -tutkimusohjelmaan.

Uutta perustietoa kasvintuhoojien merkityksestä kasvien ravinteiden ottoon saatiin astiakokeen avulla. Tutkimuksessa selvitettiin, mikä on kasvintuhoojan vaikutus satokomponenttien mukana poistuviin ravinnemääriin ja –taseisiin. Mallikasvina oli ohra ja kasvitautina ohranverkkolaikku (*Pyrenophora teres*). Astiakokeen tuloksia täydennettiin torjunta-ainetarkastuksen yhteydessä tehdyn kahden verkkolaikku/fungisidi -kenttäkokeen ravinneanalyysillä ja ravinnetaselaskelmilla.

Ravinnetaseiden laskeminen on yleisesti käytetty menetelmä ravinteiden käytön tehokkuuden ja ravinnekuormitusriskin arviointiin. Ravinnetaselaskelma on maatalouden ympäristötuen yksi lisätoimenpide tukikaudella 2007–2013. Taselaskelmat tehdään tyyppelle ja fosforille lohko-kohtaisesti. Tässä tutkimuksessa oltiin kiinnostuneita siitä, miten kasvintuhoojien merkitys tulisi huomioida taselaskelmissa.

Aineisto ja menetelmät

Astiakoe

Astiakokeessa tutkittiin verkkolaikkutartunnan vaikutusta kasvin tyyppiin ja fosforin käyttöön kahdella ohragenotyypillä: A1) Rolfi (altis) ja A2) Rolfi⁶ x CI9819 (kestävä). Verkkolaikkutartunnan tasoja oli neljä: B1) ei tartuntaa (kontrolli), B2) keskimääräinen aikainen tartunta (1 tartutus orasvaiheessa), B3) keskimääräinen myöhäinen tartunta (1 tartutus lippulehtivaiheessa) ja B4) voimakas tartunta (2 tartutusta, oras- ja lippulehtivaihe). Toistoja oli neljä. Koeasetelma oli rivi-sarake (row-column) -malli, jonka mukaisesti koeastiat laitettiin 8 riviin ja 4 sarakkeeseen. Koe toteutettiin kasvihuoneessa keuhällä 2008.

Maa-aines astiakokeeseen haettiin pellolta Jokioisten Rehtijärveltä tammikuussa 2008. Maasta tehtiin viljavuusanalyysi, jonka perusteella laskettiin kokeessa käytettävien lannoitteiden määrät. Maa seuloittiin 6-14 mm:n seuloilla. Seulotusta maasta otettiin näyte maalajianalyysiä varten.

Koe tehtiin n. 3,5 litran (läpimitta 18,4 cm) muovipurkeissa, joihin punnittiin 2,8 kg maata. Ravinneliuokset sekoitettiin koko maatilavuuteen erillisessä astiassa. Ravinnemäärät purkkia kohti esitetään taulukossa 1. Koemaata ei kalkittu, koska sen pH oli jo valmiiksi 6,5.

Täyssato-valmisteella (*karboksiini + imatsaliili*) peitattu tasakokoinen siemen kylvettiin peruslannoitettuun multaun 8.2.2008. Kylvömäärä oli 13 siementä/purkki. Orastumisen jälkeen kuhunkin purkkiin

jätettiin 10 kasvia. Purkit kasteltiin 2-3 kertaa viikossa samalla vesimäärällä. Kasvatusolot olivat normaalit viljojen kasvatusolot: lämpötila 18–20 °C (päivä), 12 °C (yö), valojaksotus 16h/8h. Kasvit tuettiin tukikepein ennen ensimmäistä kasvitautitartutusta.

Kasvihuone sumutettiin ennen kasvitautitartutusta niin, että huoneen suhteellinen ilmankosteus oli 100 %. Kasvitautitartukkeena oli ohranverkkolaikkuisolaatista pt87 valmistettu itiösuspensio, jota annosteltiin orasvaiheessa (25.2.2008) 80 000 itiötä ja lippulehtivaiheessa (31.3.2008) 200 000 itiötä purkkia kohti. Tartuntatehoa parannettiin sumutuksella, joka piti kosteusolot kasvitautille optimaalisena.

Verkkolaikkuoireiden määrä tarkistettiin NIAB-asteikolla (NIAB 1985) 10 vrk:n kuluttua 1. tartutuksesta, juuri ennen 2. tartutusta, 10 vrk 2. tartutuksen jälkeen sekä maitotuleentumisasteella 11.4.2008. Sato määritettiin tuleentuneesta kasvustosta, josta otettiin samalla näytteet ravinneanalyysiin sekä jyvistä että oljista 27.5.2008.

Taulukko 1. Astiakokeessa käytetyt ravinne määrät.

ravinne	yhdiste	ravinne määrä/astia mg
N	NH ₄ NO ₃	1500
K	KCl	1500
P	Na ₂ HPO ₄ *2H ₂ O	400
Mg	MgSO ₄ *6H ₂ O	200
S	väk. H ₂ SO ₄	300
Ca	CaCl ₂	400
Fe	FeSO ₄ *7H ₂ O	10
Mn	MnSO ₄ *H ₂ O	10
Zn	ZnSO ₄ *7H ₂ O	10
Cu	CuSO ₄ *5H ₂ O	5
B	H ₃ BO ₃	1
Mo	Na ₂ MoO ₄ *2H ₂ O	1
Cl	NaCl + CaCl ₂	700
Na	NaCl	20

Kenttäkokeet

Astiakokeen tuloksia täydennettiin kahden torjunta-ainetarkastuksen yhteydessä tehdyn verkkolaikuntorjunta/fungisidi -kenttäkokeen ravinneanalyysillä. Kokeissa oli mukana useampi kasvitautien torjunta-aine ja käyttömäärä, joista ravinneanalyysiin valittiin vuonna 2008 kaksi erityyppistä ainetta (fungisidi 1: Proline, *protiokonatsoli* 200 g/ha, ja fungisidi 2: *Bixafen + Protiokonatsoli*) ja kontrolli. Vuoden 2007 kokeesta mukana oli vain toinen em. fungisidivalmisteista (fungisidi 1: Proline). Jokioisissa toteutettujen kenttäkokeiden viljelytekniiset tiedot löytyvät taulukosta 2. Kummassakin kokeessa kustakin koejäsenestä oli neljä toistoa. Kasvitautivioituksen määrä ja sato määritettiin NIAB-asteikolla (NIAB 1985). Lajitellusta sadosta tehtiin N- ja P-analyysit.

Taulukko 2. Fungisidikenttäkokeissa käytetyt viljavuusanalyysiin perustuvat lannoitemäärät sekä kokeiden kylvö-, käsittely-, havainto- ja puintipäivämäärät. Vuoden 2008 koe ravinteikkaalla eloperäisellä maalla.

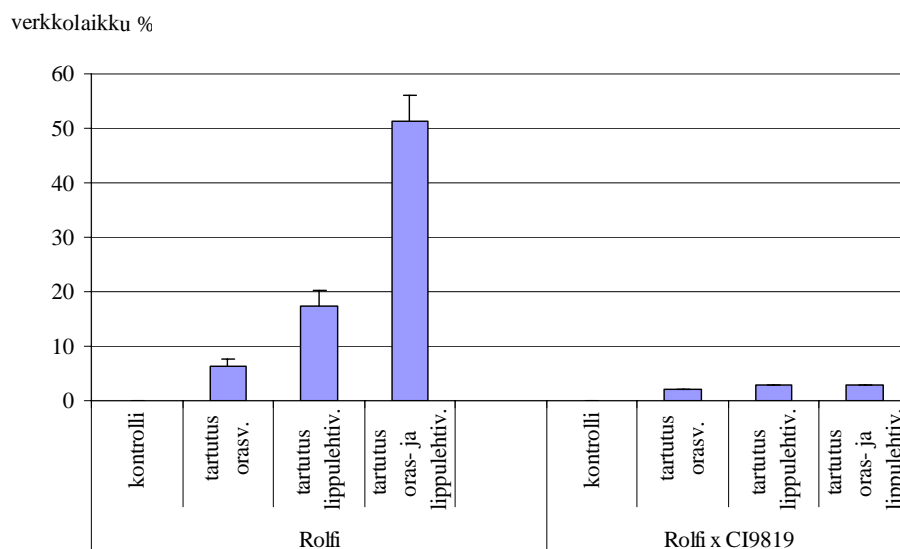
Toimenpide	2007	2008
Lannoitus, kg/ha*		
N	85	39
P	13	6
K	34	17
Kylvö	14.5.07	13.5.08
Kasvitautitorjunta	21.6.07	16.6.08
Kasvitautihavainnot	3.8.07	4.8.08
Puinti	16.8.07	22.8.08

* Vuonna 2007 käytetty lannoite Kevätviljan Y3 (424 kg/ha N-P-K 20-3-8) ja vuonna 2008 Pellon Y3 (185 kg/ha N-P-K 21-3-9)

Tulokset

Astiakoe

Oletusten mukaisesti verkkolaikkuvioitus oli voimakkaampaa alttiilla Rolfi-lajikkeella, jossa kaksi tartutuskertaa tuottivat voimakkaan verkkolaikkutartunnan. Kestävällä genotyypillä verkkolaikun vioitukset jäivät pieniksi kaikilla tartutustavoilla (Kuva 1, Taulukko 3).



Kuva 1. Verkkolaikkuvioituksen voimakkuus ohran maitotuleentumisasteella eri käsittelyissä astiakokeessa.

Taulukko 3. Verkkolaikkutartunta-% astiakokeessa sekä jyväsato, kokonais- ja olkibiomassa sekä 1000 siemenen paino keskimäärin käsittelyittäin. Alla koetekijöiden tilastollisesti merkitsevät erot.

	verkko- laikku-%	jyväsato g/astia	kokonais- biomassa g	oljen biomassa g	1000-sp g
Rolfi					
kontrolli	0.0	23.3	59.7	36.5	42.5
tartutus orasv.	6.3	20.6	58.1	37.6	44.8
tartutus lippulehtiv.	17.5	20.5	58.3	37.8	42.4
tartutus oras- ja lippulehtiv.	51.3	17.5	54.3	36.8	44.8
Rolfi x CI9819					
kontrolli	0.0	17.7	60.4	42.7	42.2
tartutus orasv.	2.0	16.2	58.4	42.2	41.9
tartutus lippulehtiv.	3.0	17.0	57.0	40.1	41.9
tartutus oras- ja lippulehtiv.	3.0	17.3	59.6	42.3	42.7
Tilastolliset erot					
lajike	***	**	o	***	***
vl-tartutus	***		*		*
lajike x vl-tartutus	***				*

Alttiilla Rolfi-lajikkeella jyväsato väheni, kun verkkolaikkutartunta voimistui. Ero ei ollut kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä (Taulukko 3), vaikkakin kontrolli erosi voimakkaasta tartutuksesta ($P=0,025^*$). Rolfin jyväsato oli merkitsevästi suurempi ja olkibiomassa pienempi kuin ohran verkkolaikua kestävällä Rolfi⁶ x CI9819 -genotyypillä. Verkkolaikkutartunta vähensi kokonaisbiomassaa kummallakin lajikkeella (Taulukko 3).

Verkkolaikkuvioituksen voimakkuudella ei ollut vaikutusta jyvien N- ja P-pitoisuuksiin (Taulukko 4). Sen sijaan Rolfi-lajikkeella oljen N- ja P-pitoisuus nousi, kun verkkolaikkutartunta voimistui (Taulukko 4). Jyvien mukana poistuvan fosforin määrä väheni merkitsevästi verkkolaikulle alttiilla Rolfilla, kun verkkolaikkuvioituksen määrä kasvoi, mikä selitti lajikkeen ja verkkolaikun välisen yhdysvaikutuksen

(Taulukko 4). Myös jyvien mukana poistuva kokonaistyyppimäärä väheni verkkolaikkuvioituksen voimistuessa, mutta ero oli suuntaa antava vain analysoitaessa verkkolaikulle altis Rolfi -lajike erikseen ($P=0,096^\circ$). Olkiin sitoutuneen typen ja fosforin määrät olivat pienemmät Rolfilla kuin Rolfi⁶ x CI9819 – genotyypillä. Olkiin sitoutunut tyyppimäärä kasvoi, kun kasvustossa oli verkkolaikkua, mutta fosforimäärissä ei havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa kasvitautikäsittelyjen välillä (Taulukko 4).

Taulukko 4. Jyvien ja oljen N- ja P-pitoisuudet, maan P-pitoisuus sekä jyvien ja olkien mukana poistuneet N- ja P-määrät astiakokeessa. Alla koetekijöiden tilastollisesti merkitsevät erot.

	Ravinnepitoisuudet					Sadon mukana poistuneet ravinteet			
	jyvässä N % ka	jyvässä P g/kg	oljessa N % ka	oljessa P g/kg	maassa P mg/g	jyvä Ntot mg	jyvä Ptot mg	olki Ntot mg	olki Ptot mg
Rolfi									
kontrolli	2.8	5.8	0.9	1.8	52.8	652	135	337	66
tartutus orasv.	2.9	5.8	1.0	2.1	50.7	601	118	374	79
tartutus lippulehtiv.	2.8	5.2	1.1	2.2	56.9	562	106	433	82
tartutus oras- ja lippulehtiv.	3.1	5.7	1.2	2.4	54.8	529	99	452	87
Rolfi x CI9819									
kontrolli	2.7	5.3	1.0	2.1	53.8	468	92	435	91
tartutus orasv.	2.8	5.7	1.1	2.2	56.6	439	90	446	91
tartutus lippulehtiv.	2.9	5.5	1.0	2.2	54.0	483	93	412	86
tartutus oras- ja lippulehtiv.	2.7	5.2	1.1	2.3	54.3	462	90	459	95
Tilastolliset erot									
lajike	*					***	***	*	**
vl-tartutus			***	*			*	o	
lajike x vl-tartutus			**				*		

Kenttäkokeet

Fungisidikäsittelyt vähensivät ohranverkkolaikkuvioituksen määrää ja paransivat satoa kummassakin kenttäkokeessa (Taulukko 5). Sadon N- ja P-pitoisuuksiin fungisidikäsittelyllä tai verkkolaikun määrällä ei ollut merkitsevää vaikutusta. Sadon mukana poistuneet ravinnemäärät (kokonais-N ja -P kg/ha) olivat suuremmat fungisidikäsittelyissä kuin kontrollikoejäsenissä. Kasvitautitorjunta paransi ravinnetasetta, koska torjunnan avulla ohranverkkolaikku pysyi kurissa ja saatiin parempi sato. Ero oli suurempi vuonna 2008, jolloin ohran verkkolaikkua esiintyi runsaammin kuin vuonna 2007.

Taulukko 5. Verkkolaikun määrä, sato, jyvien N- ja P-pitoisuudet sekä sadon mukana poistuneet N- ja P-määrät kahdessa verkkolaikuntorjuntakokeessa Jokioisissa. Fungisidi1: Proline; fungisidi2: Bixafen + Protiokonatsoli.

vuosi	kontrolli	fungisidi1	fungisidi2	Tilastolliset erot
2007				
verkkolaikku-%	26.3	13.1	-	<0.001 ***
sato (kg/ha)	6299	6899	-	0.035 *
N (% kuiva-aineesta)	1.86	1.90	-	0.475
P (mg/kg)	4.11	4.15	-	0.376
kokonais-N (kg/ha)	117.0	134.0	-	0.071 °
kokonais-P (kg/ha)	25.9	29.3	-	0.007 **
2008				
verkkolaikku-%	75.0	20.0	5.5	<0.001 ***
sato (kg/ha)	5769	6948	7972	0.002 **
N (% kuiva-aineesta)	1.64	1.56	1.55	0.258
P (mg/kg)	3.66	3.66	3.67	0.666
kokonais-N (kg/ha)	94.2	109.0	124.3	0.023 *
kokonais-P (kg/ha)	21.1	24.9	29.3	0.007 **

Tulosten tarkastelu

Tulosten mukaan ohrasadon mukana poistuvat typpi- ja fosforimäärät pienenevät, kun ohran verkkolaikkutartunta voimistui. Tämä osoitti selvästi, että kasvintuhoojien vioittamassa kasvustossa lannoitteissa annettujen ravinteiden hyväksikäyttö laskee, ravinteita voi kertyä maahan ja kuormitusriski voi kasvaa. Verkkolaikkuvioituksen määrä ei vaikuttanut jyvien typpi- ja fosforipitoisuuksiin, joten ravinnetaselaskelmat voitaisiin ainakin tässä tapauksessa tehdä suhteellisen luotettavasti pelkkiin satomääriin perustuen.

Tulostemme perusteella kasvitautien torjunnalla voidaan tehostaa ohran ravinteiden käyttöä. Vastaavia tuloksia typen osalta on saatu vehnän kasvitautien torjunnalla (Dimmock & Gooding 2002, Delin ym. 2009). Viljelykasvuston pitäminen kunnossa pidentää fotosynteesijaksoa ja parantaa ravinteiden käyttöä. Kasvinsuojelun avulla estetään tai vähennetään kasvintuhoojista aiheutuvia satotappioita. Kasvinsuojelun ansioista satotaso ja sadon mukana poistunut ravinemäärä ovat selvästi suurempia kuin kasvintuhoojien vioittamassa kasvustossa. Torjunnalla voidaan vaikuttaa myös sadon laatuun (Gooding ym. 2000).

Astiakoe ilmensi selkeät erot kahden eri ohragenotyypin välillä. Verrattavina oli Suomessa yleisesti viljelty Rolfi-lajike sekä genotyyppi, jossa Rolfi-lajikkeeseen oli risteyttämällä siirretty verkkolaikkukestävyys etiopialaisesta CI9819-ohrasta. Lajikkeen ominaisuudet osoittautuivat merkittäväksi tekijäksi jyvien ja olkisadon typpi- ja fosforisadossa. Tämä oli kuitenkin suorassa suhteessa lajikkeen sadontuottoon.

Lajikevalinnoilla voidaan vaikuttaa lannoiteravinteiden hyötysuhteeseen suoraan valitsemalla viljelyolosuhteisiin parhaiten sopivia lajikkeita (El Bassan 1998) tai välillisesti valitsemalla kasvitaukeille vastustuskykyisiä lajikkeita (Wolfe ym. 2008).

Viljan valkuais- ja typpipitoisuutta ja niiden vaihteluun vaikuttavia tekijöitä on kasvinsuojelun näkökulmasta tutkittu enemmän kuin fosforin merkitystä. Fosforin merkitys sadontuotannon kannalta kuitenkin korostuu tulevaisuudessa, koska varannot ovat maailmanlaajuisesti vähenemässä. Toisaalta fosforia on suomalaisissa peltomaassa paikoin ylimäärin aiemman lannoituksen seurauksena (Uusitalo ym. 2007, Valkama ym. 2009).

Viljelykasvien tutkimuksessa huomio kiinnittyy yleensä vain kasvin maanpäälliseen osaan. Hyväkuntoinen juuristo on kuitenkin avaintekijä ravinteiden otossa ja hyväksikäytössä. Kasvintuhoojien vioitukset kasvin maanpäällisissä osassa heijastuvat usein myös juurten kasvuun. Osa kasvintuhoojista vioittaa myös ainoastaan juuria. Nopea taimettuminen ja kasvuun lähtö edesauttavat kasvuston kehitystä ja ravinteiden käyttöä sekä vähentävät ravinnepäästöjen riskiä kasvukauden alussa. Elinvoimaisella kylvösiemennellä ja tarpeenmukaisilla kasvinsuojelutoimilla taataan osaltaan hyvä satopotentiali. Kasvukauden olosuhteista johtuen satopotentialin realisoituminen vaihtelee vuosittain, samoin sadon valkuaispitoisuus.

Johtopäätökset

Tulokset osoittivat, että kasvintuhoojien vioittamassa kasvustossa osa lannoitteista jää käyttämättä, joten ravinteita voi ajan oloon kertyä maahan ja kuormitusriski voi kasvaa. Ravinteiden ja lannoitteiden tehokas hyväksikäyttö on tärkeää sekä taloudellisesti että ympäristön kannalta. Tuotantopanosten (lannoitteet, torjunta-aineet) käytön optimointi korostuu viljelytekniikoiden, ilmasto-olojen ja tuotantopanosten hintojen muuttuessa. Kasvukauden sääolosuhteet vaikuttavat sekä kasvien kasvuun että kasvintuhoojien määrään. Ilmaston muuttuessa leudot talvet lisäävät ravinteiden huuhtoutumisriskiä, ja toisaalta ne saattavat parantaa kasvintuhoojien talvehtimismahdollisuuksia. Tutkimuksen tulokset avaavat mielenkiintoisen näkökulman arvioitaessa kokonaisvaltaisesti kasvinsuojelun merkitystä maatalouden ympäristönsuojelussa.

Kiitokset

Kiitokset kaikille KARA-hankkeeseen osallistuneille.

Kirjallisuus

- Delin, S., Nyberg, A., Linden, B., Ferm, M., Torstensson, G., Lerenius, C. & Gruvaeus, I. 2008. Impact of crop protection on nitrogen utilization and losses in winter wheat production. *European Journal of Agronomy* 28: 361-370.
- Dimmock, J.P.R. & Gooding, M.J. 2002. The influence of foliar diseases, and their control by fungicides, on the protein concentration in wheat grain: a review. *Journal of Agricultural Science* 138: 349-366.
- Gooding, M.J., Dimmock, J.P.R., France, J. & Jones, S.A. 2000. Green leaf area decline of wheat flag leaves: the influence of fungicides and relationships with mean grain weight and grain yield. *Annals of Applied Biology* 136:77-84.

- El Bassam, N. 1998.** A concept of selection for 'low input' wheat varieties. *Euphytica* 100: 95–100.
- NIAB (1985).** Disease Assessment Manual for Crop Variety Trials. National Institute of Agricultural Botany: Cambridge.
- Oerke, E.-C. 2006.** Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science* 144: 31-43.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Hannukkala, A. 2007.** Declining rape seed yields in Finland: how, why and what next? *Journal of Agricultural Science* 145: 587-598.
- Salo, T., Jauhiainen, L., Kartio, M. 2008.** Viljasadon määrä ja laatu ympäristöohjelmakausien aikana. In: Eila Turtola ja Riitta Lemola (toim.). Maatalouden ympäristötuen vaikutukset vesistökuormitukseen, satoon ja viljelyn talouteen 2000-2006(MYTVAS 2). Maa- ja elintarviketalous 120: p. 72-77.
- Uusitalo, R., Turtola, E., Grönroos, J., Kivistö, J., Mäntylähti, V., Turtola, A., Lemola, R., Salo, T. 2007.** Finnish trends in phosphorus balances and soil test phosphorus. *Agricultural and Food Science* 16, 4: 301-316. [
- Valkama, E., Uusitalo, R., Ylivainio, K., Virkajärvi, P., Turtola, E. 2009.** Phosphorus fertilization: a meta-analysis of 80 years of research in Finland. *Agriculture, ecosystems & environment* 130, 3-4: 75-85. doi:10.1016/j.agee.2008.12.004
- Wolfe, M. S., Baresel, J.P., Desclaux, D., Goldringer, I., Hoad, S., Kovacs, G., Löschenberger, F., Miedaner, T., Østergård, H., Lammerts van Bueren, E.T. 2008.** Developments in breeding cereals for organic agriculture. *Euphytica* 163: 323-34.