

Uudet typpilannoituskokeet haastavat vanhat käsitykset nurmien satovasteista

Perttu Virkajärvi¹, Sanna Kykkänen¹, Maarit Hyrkäs¹, Panu Korhonen¹, Miika Hartikainen², Anna Kärkönen³, Minna Toivakka⁴ ja Raimo Kauppila⁴

¹*Luonnonvarakeskus, Tuotantojärjestelmät, Halolantie 31 A, 71750 Maaninka*

²*Luonnonvarakeskus, Tuotantojärjestelmät, Tutkimusasemantie 15, 92400 Ruukki*

³*Luonnonvarakeskus, Tuotantojärjestelmät, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki*

⁴*Yara Suomi Oy, Bertel Jungin aukio 9, 02600 Espoo
etunimi.sukunimi@luke.fi*

Typpilannoituksen satovastefunktio on merkittävä sekä nurmen sadontuoton että viljelyn ympäristökuormituksen kannalta. Uusimmissa yhteenvedoissa käytetyt satovastefunktiot perustuvat pääosin 1960–1970 luvulta peräisin oleviin aineistoihin. Viimeaikaiset havainnot nurmen korkeista sadoista sekä kokeissa että maataloilla antavat aiheen epäillä olemassa olevien satofunktioiden ajantasaisuutta. Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja Yaran yhteistyötutkimuksen tavoitteena oli selvittää typpilannoituksen vaikutus uusien nurmikasvilajikkeiden kasvuun, rehuarvoon ja ravinnetaseisiin. Tutkimus toteutettiin Luken toimipaikoissa Maaningalla ja Ruukissa. Kokeet perustettiin kivennäismaille (Maaninka: karkea hieta, orgaaninen aines 2.7%; Ruukki: hieno hieta, orgaaninen aines 5.4%) vuonna 2014 ja käsittelyt toteutettiin vuosina 2015–2017. Kokeessa oli neljä toistoa ja koeruodut niitettiin kolmesti vuodessa. Pääruutuina olivat timoteilajikkeet Nuutti ja Grindstad sekä nurminata Valteri. Osaruutuina olivat 8 typpilannoitustasoa (0, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 kg N ha⁻¹ v⁻¹), joista kahden korkeimman tason oletettiin alentavan satoa mahdollisten lisääntyvien talvituhojen takia. Typpilannoitus jaettiin niittojen välillä (1., 2. ja 3. niitto) suhteessa 0.44 – 0.36 – 0.20. Sekä vanhoissa aineistoissa että uudessa aineistossa typen satofunktio oli muodoltaan toisen asteen polynomi. Uudessa koesarjassa satovaste oli selvästi parempi kuin vanhoissa koearjoissa: vanhassa satofunktiossa satomaksimi oli 8.5 tn kuiva-ainetta (ka) ha⁻¹ v⁻¹, mikä saatiin 325 kg N ha⁻¹ v⁻¹ lannoituksella. Kolmen koevuoden perusteella (molemmat koepaikat, kaikki lajikkeet) samalla lannoituksella nurmi tuotti 12.4 tn ka ha⁻¹ v⁻¹ eli 43% enemmän kuin vanhassa aineistossa. Funktion mukainen satomaksimi oli aiempaa korkeampi eli 14 tn ka ha⁻¹ v⁻¹, joka saavutettiin 420 kg N ha⁻¹ vuosilannoituksella. Taloudellinen optimi on tätä matalampi. Kolmantena vuonna (2017) satotaso oli hieman alhaisempi ja typen vaste hieman matalampi kuin kokeen kahtena ensimmäisenä vuonna. Nurmen raakavalkuaispitoisuus nousi typpilannoituksen kasvaessa uudessa aineistossa hitaammin kuin aikaisemmissa kokeissa. Silti korkean sadontuoton seurauksena typen hyväksikäyttö oli parempi kuin aiemmissa kokeissa ja siksi typpitase saavutti suositellun maksimirajan +60 kg N ha⁻¹ v⁻¹ vasta lannoitustasolla 330 kg N ha⁻¹ kun se vanhassa aineistossa saavutettiin jo noin 260 kg N ha⁻¹ v⁻¹ lannoituksella. Parantuneen satovasteen taustalla ovat nurmilajikkeiden jalostuksen eteneminen, kasvukauden pidentyminen ja vastaava talven lyhentymisen sekä vähentyneet talvituhot. Mineraalilannoitteen typpi ohjautuu sadonmuodostukseen, mitä voidaan pitää sekä kasvintuotannon, lypsylehmien ruokinnan ja ympäristön kannalta edullisena ilmiönä. Typen satovastefunktion päivittäminen on välttämätöntä sekä nurmen tuotannon että ympäristövaikutusten realistisen arvioinnin kannalta.

Asiasanat: lannoitus, nurmenviljely, nurminata, ravinnetaseet, timotei, typpi

Johdanto

Typpi (N) on kasviravitsemuksessa tärkein yksittäinen ravinne. Typellä on keskeinen rooli esimerkiksi aminohapoissa ja klorofyllissä sekä monissa aineenvaihduntatuotteissa ja nukleiinihampoissa. Typen puute ilmenee yleensä kasvien keltaisena värinä puutteellisen klorofyllisynteesin seurauksena. Lehdissä olevasta typestä noin puolet on sitoutuneena ribuloosi-1,5-bis-fosfaattikarboksylaasi- (Rubisco) – entsyymeihin. Typellä on myös merkittävä rooli monien kasvihormonien osana tai niiden synteesissä.

Typpilannoituksen lisääminen nostaa kasvun lisäksi myös nurmisadon raakavalkuaispitoisuutta. Tämä ei ole yksiselitteisesti hyvä ilmiö, sillä lannoituksella aikaansaatu typen lisä kasvissa on hyödytöntä märehitjän ravitsemuksen kannalta sen jälkeen kun märehitjän minimitarve on tyydytetty (tyypillisesti 13–14% raakavalkuaista nurmirehun kuiva-aineessa (Luke). Ylimääräinen typpi poistuu eläimestä virtsan mukana ja voi lisätä nurmiviljelyn ympäristökuormitusta. Koska typpi huuhtoutuu helpohkosti pohjaveteen ja saattaa aiheuttaa typpirajoitteisissa vesistöissä rehevöitymistä, typpilannoituksen käyttöä säädelään tarkasti sekä ympäristökorvausjärjestelmän että nitraattiasetuksen puitteissa (VnA 235/2015, VnA 931/2000). Yksi keskeinen ympäristöindikaattori on lannoituksen ravinnetase, joka lasketaan aina kokonaisravinteesta (tase = annettu typpi – sadossa poistunut typpi; Turtola ym. 2017). Tase kuvaa ennen kaikkea viljelyn resurssitehokkuutta mutta myös typen huuhtoutumisriskiä (Turtola ym. 2017). Typpilannoituksen ylimäärä johtaa myös kasvuston nitraattipitoisuuden nousuun mikä on eläinten kannalta haitallista ja jopa vaarallista.

Typpilannoituksen satovastefunktion avulla voidaan arvioida mm. nurmen sadontuottoa, märehitjän ravitsemusta sekä viljelyn ympäristökuormitusta. Uusimmissa kotimaisissa nurmien typpilannoituksen yhteenvedoissa (Salo ym. 2013, Valkama ym. 2016) käytetyt satovastefunktiot perustuvat pääosin 1960–1970 luvulta peräisin oleviin aineistoihin, ja myöhempien aineistojen osuus on hyvin pieni. Julkaistujen funktioiden mukaan nurmen kuiva-ainesadon maksimi on noin 8.5 tn ha⁻¹ v⁻¹ ja se saavutetaan 325 kg ha⁻¹ v⁻¹ typpilannoituksella. Pääosin 1960–1970 lukujen kokeiden yhteenvedoissa päädyttiin suosittelemaan typpilannoituksen ylärajaksi 300 kg ha⁻¹ v⁻¹, koska suurempiin lannoituksiin liittyi selvästi kohonnut talvehtimisriski (Hiivola ym. 1974). Kun nurmen vuotuista typpilannoitusta myöhemmin EU:hun liityttäessä kiristettiin, kohdennettiin vähennys kolmannen lannoituksen määrään, jossa taustalla olivat sekä syksyllä käyttämättä jäävän typen huuhtoutumisriski että liian suuren tai liian myöhään annetun typen aiheuttama talvehtimisriski. Tämän hetkinen maksimilannoitus on 190–250 kg ha⁻¹ v⁻¹ riippuen niittokerroista ja maan orgaanisen aineksen pitoisuudesta (VnA 235/2015, VnA 931/2000).

Viimeaikaisissa kokeissa sadot ovat olleet nykyisten typpirajoitustenkin puitteissa paljon nykyisen satofunktion ennustetta korkeampia (mm. Laine ym. 2017). Sama ilmiö nähdään myös maatalo-aineistoissa, vaikka näissä keskimääräinen säilörehun satotaso onkin vain 5.5 tn ka ha⁻¹ (Virkajärvi ym. 2015). Nämä havainnot antavat aiheen epäillä olemassa olevien satofunktioiden ajantasaisuutta. Näistä syistä Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja Yaran yhteistyönä aloitettiin tutkimus, jossa tavoitteena oli selvittää typpilannoituksen vaikutus uusien nurmikasvilajikkeiden kasvuun, rehuarvoon ja ravinnetaseisiin, sekä verrata uusia tuloksia nykyisin käytössä oleviin satovastefunktioihin. Toinen tavoite oli saada tarkempaa tietoa typpilannoituksen vaikutuksesta nurmen rehuarvoon ja typen hyväksikäyttöön.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimus toteutettiin Luken toimipaikoissa Maaningalla ja Ruukissa. Kokeet perustettiin kivennäismaille (Maaninka: karkea hieta, orgaaninen aines 2.7%; Ruukki: hieno hieta, orgaaninen aines 5.4%) vuonna 2014 ja käsittelyt toteutettiin vuosina 2015–2017. Kokeessa oli neljä toistoa ja koeruudut niitettiin kolmesti vuodessa. Pääruutuina olivat timoteilajikkeet Nuutti ja Grindstad sekä nurminata Valtteri. Osaruutuina olivat kahdeksan typpilannoitustasoa (0, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 kg N ha⁻¹ v⁻¹), joista kahden korkeimman tason oletettiin alentavan satoa erityisesti suurempien talvihuhojen vaikutuksesta (Hiivola ym. 1974). Typpilannoitus jaettiin niittojen välillä (1., 2. ja 3. niitto) suhteessa 0.44 – 0.36 – 0.20. Koeasetelmana oli epätäydellisten lohkojen osaruutukoe, jossa yhteen lohkoon kuului neljä saman lajikkeen typpilannoitustasoa. Koeruudut niitettiin kolmesti kesässä säilörehuasteella

(D-arvotavoite 680–700 g kg⁻¹ ka) kukin lajike oman kasvurytminsä mukaisesti. Fosfori- ja kaliumlannoitus suureni typpilannoituksen myötä niin, ettei P- tai K-puutos rajoittaisi nurmen kasvua. Kokeessa määritettiin ka-sato, (kg ka ha⁻¹) ja talvituhot. Sadosta määritettiin sulavan orgaanisen aineen pitoisuus kuiva-aineessa (D-arvo; g kg⁻¹ ka) ja raakavalkuainen (g kg⁻¹ ka) NIRS-menetelmällä (Valio Oy) jokaisesta niitosta. Kokonaissadon D-arvo ja raakavalkuainen laskettiin kuiva-ainesadoilla painotettuina keskiarvoina. Rehun nitraattityypipitoisuus (g kg⁻¹ ka) määritettiin viideltä typpilannoitustasolta (0, 150, 250, 350 ja 450; Yara Oy, Pocklington, Iso-Britannia).

Tilastolliset analyysit tehtiin SAS 9.4-ohjelmiston Mixed-proseduurilla mallilla, jossa lajike, typpilannoitustaso, vuosi ja kaikki näiden yhdysvaikutukset olivat kiinteitä muuttujia. Satunnaisia muuttujia olivat kerranne ja lohko×kerranne, vuosi×kerranne ja vuosi×lohko×kerranne-yhdysvaikutukset. Mallissa käytettiin Kenward-Rogerin vapausasteiden korjausta. Koepaikat ja niitot analysoitiin erikseen ja parivertailut tehtiin Tukeyn testillä.

Tulokset

Typpilannoituksen taso vaikutti voimakkaasti kaikkiin mitattuihin muuttujiin, mutta vaikutukset riippuivat myös lajikkeesta, vuodesta ja lajike×vuosi -yhdysvaikutuksesta (Taulukko 1). Lisäksi vaikutukset erosivat hieman niittojen välillä. Tässä keskitytään paikkakunta- ja lajikekohtaisiin vuosikeskiarvoihin yli koejakson.

Typpi nosti selvästi satoa ja suurimmat sadot saatiin lannoitustasoilla 350–450 kg N ha⁻¹ v⁻¹ kummallakin paikkakunnalla (Taulukko 1). Kummallakin koepaikalla typen vaikutuksen suuruus riippui koevuodesta ja lajikkeesta. Suurin kolmen vuoden keskiarvosato saatiin Ruukissa, jossa Nuutti tuotti 14.4 tn ka ha⁻¹ v⁻¹. Ensimmäisen kahden vuoden aikana korkeimmilla typpilannoituksilla saatiin satoa lajikkeesta riippuen 13–15 tn ka ha⁻¹. Kolmannen vuoden sato oli selvästi heikompi Maaningalla (maksimi 9.8 tn ka ha⁻¹ v⁻¹ lannoituksella 350 kg N ha⁻¹ v⁻¹) kuin Ruukissa (maksimi 12.0 tn ka ha⁻¹ v⁻¹ lannoituksella 450 kg N ha⁻¹ v⁻¹). Maaningalla Valtterin sato oli korkeilla typpilannoituksilla pienempi kuin timoteilajikkeiden, kun taas Ruukissa Valtterin maksimisato oli parempi kuin Grindstadin. Ilman typpilannoitusta viljellyt ruudut tuottivat Ruukissa noin kaksinkertaisen sadon verrattuna Maaningalla saatuun satoon.

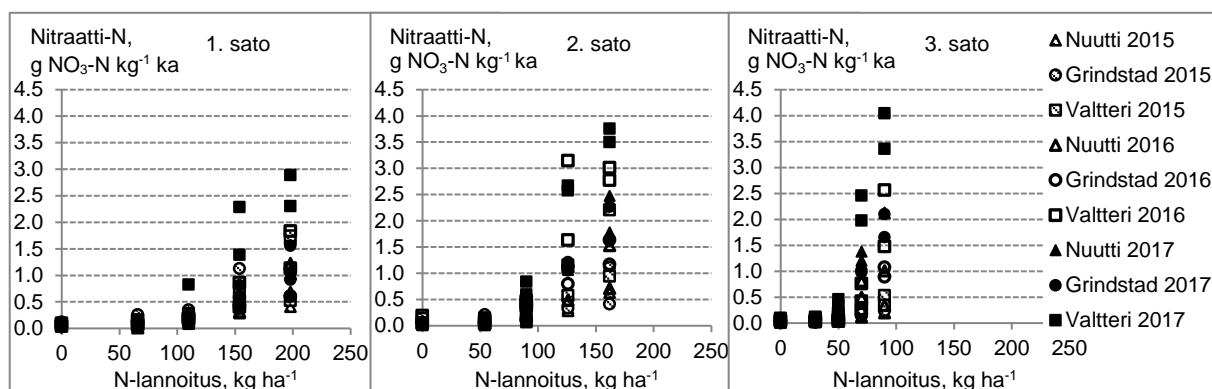
Typpilannoituksen nosto alensi kokonaissadon painotettua rehun D-arvoa, mutta eri tavoin eri vuosina ja eri lajikkeilla. Maaningalla lannoitusportaiden väliset erot eivät olleet merkityksellisiä välillä 300–350 kg N ha⁻¹ v⁻¹ ja Ruukissa vastaavasti välillä 200–450 kg N ha⁻¹ v⁻¹. Valtterin D-arvo laski vähiten typpilannoituksen seurauksena ja vastaavasti Grindstadin eniten. Typpilannoitus nosti sadon raakavalkuaispitoisuutta ja nousu riippui lajikkeesta ja vuodesta kummallakin paikkakunnalla.

Sadon nitraattityypipitoisuus (NO₃-N) oli molemmilla timoteilajikkeilla yleisesti alhaisempi kuin nurminata Valtterilla. Ensimmäisessä niitossa pitoisuudet olivat yleensä alle 2.0 g NO₃-N kg⁻¹ ka (Kuva 1). Toisessa ja kolmannessa niitossa nitraattityypipitoisuudet nousivat typpilannoituksen myötä mutta yli 2.0 arvoja esiintyi timoteilla vasta ylimmällä lannoitustasolla (450 kg N ha⁻¹ v⁻¹) ja Valtterilla kahdella korkeimmalla mitatulla lannoitustasolla (350 ja 450 kg N ha⁻¹ v⁻¹). Niittojen ero korostuu, kun tarkastellaan tuloksia niittokohtaisten lannoitusten kautta. Ensimmäisessä niitossa Valtterin korkein havaittu nitraattityypipitoisuus oli 2.9 g NO₃-N kg⁻¹ ka lannoitustasolla 198 kg N ha⁻¹ niitto⁻¹, toisessa niitossa 3.8 g NO₃-N kg⁻¹ lannoitustasolla 162 kg N ha⁻¹ niitto⁻¹ ja kolmannessa niitossa 4.0 g NO₃-N kg⁻¹ ka lannoitustasolla 90 kg N ha⁻¹ niitto.

Taulukko 1. Typpilannoituksen vaikutus kesän kokonaiskuiva-ainesatoon (Ka-sato), sulavuuteen (D-arvo), raakavalkuaispitoisuuteen (rv) ja N-taseeseen. Arvot ovat kolmen vuoden keskiarvoja.

			N-lannoitus (kg N ha ⁻¹ v ⁻¹)								SEM ¹	Merkitsevyys							
			0	150	200	250	300	350	400	450		Lajike (L)	N-lann (N)	Vuosi (V)	L×N	L×V	N×V	L×N×V	
Maaninka	Ka-sato	tn ka ha ⁻¹	Nuutti	2.0	8.0	9.8	10.2	11.6	11.6	12.5	11.9	0.17	***	***	***	***	***	***	
			Grindstad	2.4	8.1	9.9	10.7	12.6	12.2	12.3	13.0								
			Valtteri	2.6	8.6	9.7	10.1	10.9	11.1	10.7	11.1								
	D-arvo ²	g kg ⁻¹ ka	Nuutti	731	715	710	705	703	699	701	698	2.2	***	***	***	***	***	***	*
			Grindstad	727	712	704	698	688	688	686	685								
			Valtteri	716	717	712	710	704	707	706	706								
	Rv ²	g kg ⁻¹ ka	Nuutti	104	114	125	132	146	153	158	162	2.1	***	***	***	***	***	***	
			Grindstad	110	117	128	132	145	148	153	158								
			Valtteri	104	115	126	138	152	161	170	172								
N-tase	kg ha ⁻¹ v ⁻¹	Nuutti	-35	4	5	35	32	70	86	151	5.4		***	***	***	***	***	**	
		Grindstad	-44	3	1	28	17	70	104	131									
		Valtteri	-47	-6	9	31	39	71	116	150									
Ruukki	Ka-sato	tn ka ha ⁻¹	Nuutti	4.2	10.3	12.0	12.7	13.7	13.5	13.7	14.4	0.34	***	***	***	***	*	***	**
			Grindstad	3.9	9.7	11.0	11.8	12.1	13.0	12.7	12.7								
			Valtteri	5.1	11.0	11.9	12.4	12.8	13.2	13.4	13.2								
	D-arvo ²	g kg ⁻¹ ka	Nuutti	700	684	679	680	680	676	678	676	2.4	***	***	***	***	***	*	
			Grindstad	699	686	674	673	675	671	672	675								
			Valtteri	701	695	690	692	692	691	691	695								
	Rv ²	g kg ⁻¹ ka	Nuutti	99	107	115	123	133	141	149	150	2.4		***	***	*	***	***	
			Grindstad	102	109	116	120	129	132	146	146								
			Valtteri	98	110	118	123	135	140	145	154								
	N-tase	kg ha ⁻¹ v ⁻¹	Nuutti	-69	-28	-20	3	13	49	79	108	8.5	***	***	***	*	***		0
			Grindstad	-66	-19	-4	24	49	77	104	150								
			Valtteri	-75	-42	-23	8	26	56	90	125								

¹SEM = keskiarvon keskivirhe; ²Laskettu kuiva-ainesadoilla painotettuina keskiarvoina; *** P<0.001, ** P<0.01, * P<0.05, 0 P<0.10



Kuva 1. Niittokohtaisen typpilannoituksen vaikutus kasvuston nitraattityppi ($\text{NO}_3\text{-N}$)-pitoisuuteen niittoittain ja lajikkeittain 2015–2017 (Maaninka ja Ruukki)

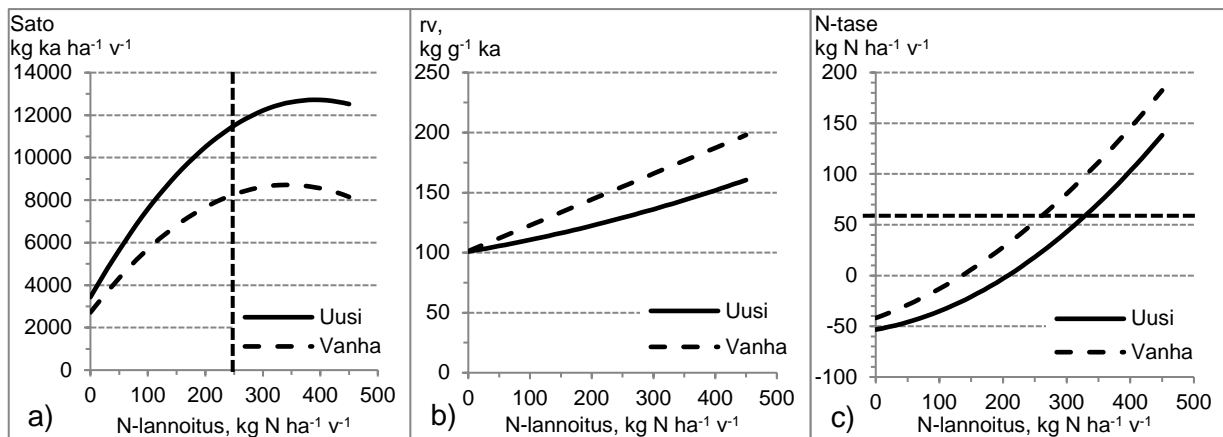
Viljelyn typpitase oli alle $200 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ lannoituksella negatiivinen tai lähellä nollatasetta. Erityisesti Ruukissa ilman typpilannoitusta viljeltyjen ruutujen typpitase oli keskimäärin lähes 30 kg N ha^{-1} (66%) negatiivisempi kuin Maaningalla.

Talvituhot olivat pienet (alle 10%) ensimmäisenä talvena molemmilla koepaikoilla. Myös toisena talvena Maaningalla talvituhot olivat alle 10%, kun typpilannoitus oli välillä $0\text{--}300 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$. Tätä suuremmat lannoitusmäärät lisäsivät selvästi talvituhoja, eniten Valtterilla (maksimi 28%) ja vähiten Grindstadilla (maksimi 12%). Ruukissa talvituhot olivat toisena talvena alle 10%, kun typpilannoitus oli välillä $0\text{--}250 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$. Tätä korkeampi lannoitus lisäsi talvituhoja tasaisesti kaikilla lajikkeilla. Suurimmat talvituhot olivat välillä 13–29% kun käytettiin lannoitustasoja $300\text{--}450 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$.

Tulosten tarkastelu

Kolmen koevuoden perusteella (molemmat koepaikat, kaikki lajikkeet) $325 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ lannoituksella nurmi tuotti $12.4 \text{ tn ka ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ eli satovaste oli 43% suurempi kuin vanhassa aineistossa (Kuva 2a). Funktion mukainen satomaksimi oli aiempaa korkeampi eli $14 \text{ tn ka ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$, joka saavutettiin 420 kg N ha^{-1} vuosilannoituksella. Koska nurmirehuilla ei ole markkinahintaa, lannoituksen taloudellisen optimin määrittäminen ei ole yksiselitteistä, mutta se on luonnollisesti biologista optimia matalampi. Optimoinnissa on kyse tilan eläinten tarvitseman nurmirehun tuottamisesta mahdollisimman edullisesti.

Nurmen raakavalkuaispitoisuus nousi typpilannoituksen kasvaessa uudessa aineistossa hitaammin kuin aikaisemmissa kokeissa (Kuva 2b). Sinänsä sadon raakavalkuaispitoisuus oli matalahko (vrt. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset 2015) ja korkeimmillaankin vain $172 \text{ g kg}^{-1} \text{ ka}$ vasta lannoitustasoilla $250 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ (Maaninka) ja $300 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ v}^{-1}$ (Ruukki). Matala raakavalkuaispitoisuus on tyypillinen kokeissa, joissa ei käytetä karjanlantaa. Korkeat nitraattityppipitoisuudet rehussa ($>2 \text{ g kg}^{-1} \text{ ka}$; Mayland ym. 2007) ovat haitallisia märehitjölle, mutta esitetyt raja-arvot vaihtelevat suuresti, etenkin koska nitraatin haitallisuuden vaikuttavat ruokinnan kokonaisuus ja nitraattipitoisuuden äkilliset muutokset (Mayland ym. 2007). Valtterin nitraattityppipitoisuus nousi herkemmin kuin Nuutin ja Grindstadin. Tämän taustalla saattaa olla se, että typpilannoitus edisti timotein korren kasvua erityisesti jälkisadoissa. Tämä alentaa kasvuston kokonaistyyppi- ja nitraattityppipitoisuutta, sillä suurin osa tpestä on lehdisissä (Virkejärvi ym. 2012).



Kuva 2. Vanhojen ja uusien typpilannoituksen vastefunktioiden vertailu a) Kokonaiskuiva-ainesato, b) kokonaissadon raakavalkuaispitoisuus (rv) ja c) viljelyn vuotuinen typpitase. Uudet käyrät pohjautuvat kahden paikkakunnan, kolmen koevuoden ja kolmen lajikkeen muodostamaan aineistoon. Vanhat käyrät Salo ym. 2013 (a ja c) ja Virkajärvi 2016, julkaisematon (b). Nykyinen N-lannoitusmaksimi (250 kg N ha⁻¹ v⁻¹; nitraattiasetus) ja suositeltu N-taseen maksimiraja (+60 kg N ha⁻¹ v⁻¹; Salo ym. 2013) on merkitty katkoviivoilla kuviin. Uusien funktioiden yhtälöt: Sato = 3436.4 + 47.401×N-lannoitus - 0.0605×N-lannoitus², Rv = 100.91 + 0.0874×N-lannoitus + 0.0001×N-lannoitus², N-tase = -53.262 + 0.1106×N-lannoitus + 0.0007×N-lannoitus²

Korkean sadontuoton seurauksena typen hyväksikäyttö oli selvästi parempi kuin aiemmissa kokeissa. Typen huuhtoutumisen kannalta hyväksyttävänä typpitaseena pidetään + 60 kg N ha⁻¹ (Salo ym. 2013). Vanhassa aineistossa kyseinen raja saavutettiin jo noin 260 kg N ha⁻¹ v⁻¹ lannoituksella (Kuva 2c). Nykyisessä kokeessa nurmelle voitiin antaa 300–350 kg N ha⁻¹ vuosi⁻¹ ennen kuin raja ylitettiin. Nurmien osalta voidaan myös ajatella, että hyväksyttävä taseen raja olisi yksivuotisia kasveja korkeampi, sillä sadossa poistumaton typpi on nurmivuosina sitoutunut maapäälliseen kasvustoon ja juuristoon (Turtola ym. 2017), eikä ole siis vastaavasti kokonaisuudessaan alttiina huuhtoutumiselle yksittäisenä vuotena, paitsi nurmen uusimisvuonna. Maaningan ja Ruukin välinen ero typpitaseessa ilman typpilannoitusta jääneillä koejäsenillä kuvaa maasta vapautuvan typen suurempaa vaikutusta Ruukissa (vrt. Salo ym. 2013, Valkama ym. 2016).

Parantuneen satovasteen taustalla ovat nurmilajikkeiden jalostushyöty, jonka arvioidaan olevan 0.5% vuodessa (Pärssinen 2016) ja kasvuolosuhteiden muuttuminen. Kasvukaudet ovat pidentyneet merkittävästi ja esimerkiksi timotein virallisten lajikekokeiden ensimmäinen niittopäivä on aikaistunut keskimäärin noin viikolla vuosien 1978 ja 2016 välisenä aikana, mikä mahdollistaa kolmannen niiton. Myös kasvukausien keskilämpötilan nousu (Tietäväinen ym. 2010) hyödyttää nurmikasveja pohjoisessa ilmastossa (Hakala ja Mela 1996, Höglind ym. 2013). Kasvukauden pidentymisen edullinen vaikutus liittyy myös talven lyhentymiseen. Talvituhojen merkitys on yleisesti vähentynyt ja esimerkiksi virallisten lajikekokeiden timotein ja nurminadan mittarilajikkeiden talvituhot olivat vuosina 1983–1990 7–16% (Mustonen ym. 1991) ja vuosina 2009–2016 3.3–3.5% (Laine ym. 2017). Lisäksi pidentynyt kasvukausi antaa nurmelle paremmat mahdollisuudet kompensoida mahdollisia talvituhoja.

Huomionarvoista on, että mineraalilannoitteen typpi ohjautui sadonmuodostukseen, mitä voidaan pitää sekä kasvintuotannon, lypsylehmien ruokinnan että ympäristön kannalta edullisena ilmiönä. Saatujen tulosten perusteella nurmen typpilannoitusta mineraalilannoitteena voisi nostaa kivennäismailla nykyisestä tasosta tasolle 300–350 kg ha⁻¹ v⁻¹ ilman että nurmen talvehtiminen, rehun laatu tai typpitase heikkenevät oleellisesti. Taloudellinen optimointi vaatii kuitenkin oman tarkastelunsa, jossa otetaan huomioon tilan eläinmäärä, käytettävissä oleva peltoala ja karjanlanta. Typen satovastefunktion päivittäminen on välttämätöntä sekä nurmen tuotannon tehostamisen että ympäristövaikutusten realistisen arvioinnin kannalta, etenkin, koska peltoalasta lähes kolmannes on nurmilajelyssä.

Johtopäätökset

Uusien tulosten perusteella nurmien typpilannoitusvaste on huomattavasti korkeampi kuin aikaisemmissa kokeissa. Typpi ohjautuu nimenomaan sadonmuodostukseen ja sen vaikutus raakavalkuaispitoisuuden nousuun on vähäisempi kuin aikaisemmissa kokeissa. Näiden seurauksena nurmen typpitase on alhaisempi kuin aikaisemmissa kokeissa. Typen käytön optimi kivennäismailla näyttää olevan selvästi korkeampi kuin aikaisempien aineistojen perusteella. Tämän tutkimuksen tulokset ovat myös osoitus siitä, että tutkimustietoa on päivitettävä aika-ajoin uusilla kokeellisilla tutkimuksilla muuttuvan tuotantoympäristön seurauksena. Saaduilla tutkimustuloksilla on merkittävä vaikutus arvioitaessa nurmien typpilannoituksen taloudellista optimia ja typpilannoituksen ympäristövaikutuksia. Nurmet kattavat yli kolmanneksen Suomen viljellystä peltopinta-alasta, joten niiden typpilannoituksen ympäristövaikutusten realistinen tarkastelu on välttämätöntä myös maatalouden kokonaiskuormituksen arvioinnin kannalta.

Kirjallisuus

- Hakala, K., & Mela, T. 1996.** The effects of prolonged exposure to elevated temperatures and elevated CO₂ levels on the growth, yield and dry matter partitioning of field-sown meadow fescue. *Agricultural and Food Science in Finland* 5: 285–298.
- Hiivola, S.-R., Huokuna, E., & Rinne, S.-L. 1974.** The effect of heavy nitrogen fertilization on the quantity and quality of yields of meadow fescue and cocksfoot. *Annales Agriculturae Fenniae* 13: 149–160.
- Höglind, M., Thorsen, S. M., & Semenov, M. 2013.** Assessing uncertainties in impact of climate change on grass production in Northern Europe using ensembles of global climate models. *Agricultural and Forest Meteorology* 170: 103–113.
- Laine, A., Högnäsbacka, M., Niskanen, M., Ohralahti, K., Jauhiainen, L., Kaseva, J. & Nikander, H. 2017.** Virallisten lajikekokeiden tulokset 2009–2016. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 1/2017. Luonnonvarakeskus. 270 s.
- Luonnonvarakeskus 2015.** Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. Märehtijät – Siat – Siipikarja – Hevoset. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 40/2015. Luonnonvarakeskus. 80 s.
- Mayland H.F., Cheeke, P.R., Majak, W. & Goff, J. P. 2007.** Forage induced animal disorders. Teoksessa: Barnes, R.F., Nelson, C.J., Moore, K.J. & Collins, M. (toim.). *Forages: The science of grassland agriculture*. 6th ed. Oxford, UK: Blackwell Publishing. s. 687–708.
- Mustonen, L., Rantanen, O., Niemeläinen, O., Pahkala, K. & Kontturi, M. 1991.** Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1983–1990. *Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote* 2/91. 147 s.
- Pärssinen, P. 2016.** henk. koht. tiedonanto 2.2.2016
- Salo, T., Turtola, E., Virkajärvi, P., Saarijärvi, K., Kuisma, P., Tuomisto, J., Muurinen, S. & Turakainen, M. 2013.** Nitrogen fertilizer rates, N balances and related risk of N leaching in Finnish agriculture. *MTT report 102*. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. 37 s.
- Tietäväinen, H., Tuomenvirta, H., & Venäläinen, A. 2010.** Annual and seasonal mean temperatures in Finland during the last 160 years based on gridded temperature data. *International Journal of Climatology* 30: 2247–2256.
- Turtola, E., Salo, T., Miettinen, A., Iho, A., Valkama, E., Rankinen, K., Virkajärvi, p., Tuomisto, J., Sipilä, A., Muurinen, S., Turakainen, M., Lemola, R., Jauhiainen, L., Uusitalo, R., Grönroos, J., Myllys, M., Heikkinen, J., Merilaita, S., Cano Bernal, J., Savela, P., Kartio, M., Salopelto, J., Finér, A. & Jaakkola, M. 2017.** Hyötyä taseista. Ravinnetaseiden tulkinta ympäristön ja viljelyn hyödyksi. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 15/2017. Luonnonvarakeskus. 70 s.
- Valkama, E., Rankinen, K., Virkajärvi, P., Salo, T., Kapuinen, P. & Turtola, E. 2016.** Nitrogen fertilization of grass leys: yield production and risk of N leaching. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 230: 341–352.
- Virkajärvi, P., Pakarinen, K., Hyrkäs, M., Lemettinen, J.-P., Rinne, M., Manninen, O. & Seppänen, M. 2012.** Nurmen kasvu- ja kehitysprosessit. NURFYS-hankkeen 2006–2011 loppuraportti. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. *MTT raportti* 56. 120 s.
- Virkajärvi, P., Rinne, M., Mononen, J., Niskanen, O., Järvenranta, K. & Sairanen, A. 2015.** Dairy production systems in Finland. Teoksessa: van den Pol-van Dasselaar, A., Aarts, H.F.M., De Vliegher, A., Elgersma, A., Reheul, D., Rei-jneveld, J.A., Verloop, J. & Hopkins, A. (toim.). Grassland and forages in high output dairy farming systems. Proceedings of the 18th symposium of the European Grassland Federation, in June in Wageningen, the Netherlands. *Grassland Science in Europe* 20: 51–66.