

Viljelytekniset ratkaisut säilörehunurmen juuribiomassan hiilisyötteen määrän ja kemiallisen koostumuksen hallinnassa

Sanna Kykkänen, Panu Korhonen, Saara Lind ja Perttu Virkajärvi

Luonnonvarakeskus, Halolantie 31A, 71750 Maaninka

e-mail: sanna.kykkänen@luke.fi

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen ohella maaperän hiilivarastojen lisääminen on välttämätön keino ilmaston lämpenemistä hillittäessä. Monivuotiset nurmikasvit ovat avainasemassa maatalousmaiden hiilen sidonnassa ja hiilivarojen vähenemisen hillinnässä. Tämä perustuu sekä viljelytekniikkaan että nurmikasvien biologisiin ominaisuuksiin, erityisesti monivuotisuuteen ja siihen liittyvään yksivuotisista kasveista poikkeavaan juuriston kasvudynamiikkaan. Myös orgaaniseen hiilisyötteeseen kiinteästi liittyvät maan biologinen, kemiallinen ja fysikaalinen viljavuus ovat keskeisiä tekijöitä peltomaiden hiilen kierron ja hiilen pysyvyyden näkökulmasta. Pohjoisilla lyhytkierteisillä säilörehunurmilla juuristotutkimusta on tehty huomattavan vähän. Keskeisimpinä keinoina vaikuttaa juuribiomassan määrään ja profiiliin ovat nousseet esiin erityisesti typpilannoituksen määrä, kasvilajivalinta sekä nurmen niittokorkeuden nosto. Luonnonvarakeskuksen Kuopion Maaningan toimipaikassa on tutkittu näiden vaikutusta juuriston massaan, profiiliin, hiilipitoisuuteen, hiilen kemialliseen koostumukseen sekä verso/juuri-suhteeseen. Kolme säilörehunurmen juuristodynamiikkaa selvittävää kenttäkoetta toteutettiin Maaningalla vuosina 2018–2020 kivennäismaalla. Kokeessa 1 vertailtiin kahta juuristo-ominaisuuksiltaan poikkeavaa kasvilajia (ruokonata 'Retu' ja timotei 'Nuutti'). Analyysyjä varten kerätyt juuristo- ja satonäytteet otettiin kunkin niiton yhteydessä ensimmäisenä nurmivuotena. Kokeessa seurattiin myös juuristodynamiikkaa minirhizotron-kuvauksilla 80 cm:n syvyyteen asti. Kokeessa 2 tutkittiin typpi (N) lannoituksen vaikutusta N-tasolla 0, 150 ja 300 kg N ha⁻¹ v⁻¹ jaettuna kolmelle sadolle. Kokeessa 3 koekäsittelyinä olivat niittokorkeudet 6 ja 12 cm. Kokeet 2 ja 3 toteutettiin timotei ('Nuutti')-nurminata ('Valtteri')-seoksilla. Juuristonäytteet otettiin toisena nurmivuotena kolmannen korjuun yhteydessä. Kaikissa kokeissa juuristonäytteet jaettiin neljään syvyysprofiiliin (0–2, 2–10, 10–20, 20–40 cm). Juuristomassa, C- ja N-pitoisuus sekä hiilen kemiallinen koostumus (EWAN) selvitettiin profiileittain. Lisäksi laskettiin juuri/verso-suhde. Tulokset osoittavat, että kasvilajivalinta ja N-lannoitustaso vaikuttivat juuristonmäärään ja hiilisyötteeseen. Ruokonadan juuristomassa oli merkittävästi timotein juuristomassaa korkeampi kaikissa kolmessa niitossa ja kasvilajien välinen ero kasvoi kesän edetessä (niitot 1, 2 ja 3: ruokonata 5160, 5960, 6360 kg ka ha⁻¹ vs timotei: 3990, 4360, 4620 kg ka ha⁻¹). Kokeessa 2 N-lannoitustaso 150 kg N ha⁻¹ v⁻¹ tuotti merkittävästi suuremman juuribiomassan (6860 kg ka ha⁻¹) kuin lannoitustasot 0 ja 300 kg N ha⁻¹ v⁻¹ (4760 ja 4050 kg ka ha⁻¹). Niittokorkeus ei vaikuttanut juurimassaan tai hiilisyötteeseen. Sadon ja juuristomassan välillä ei havaittu korrelaatiota. Tulokset osoittivat kasvilajivalinnan ja typpilannoituksen säädön vaikuttavan juuristomassaan ja siitä tulevan hiilisyötteen määrään nurmenviljelyssä.

Avainsanat: juuristo, nurmi, timotei, ruokonata, hiili

Johdanto

Maaperän hiilivaraston kasvattaminen on yksi keskeisimmistä tavoitteista ilmaston muutoksen torjunnassa. Globaali sopimus kasvattaa maan hiilivaroja 4 promillea vuodessa (<https://www.4p1000.org/>) edellyttäen toimenpiteitä myös maatalousmaalla. Globaalin tavoitteen ohella peltomaiden hiilensidonnasta toivotaan keskeistä ratkaisua myös maataloussektorin ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Maan hiilivarastojen kasvattamisen edellytyksenä on maanalaisen biomassan ja edelleen hiilensidonnann parempi ymmärtäminen. Juuristo on merkittävin maahan kohdistuva hiilisyöte, minkä vuoksi sen rooli on kiistanon yritettäessä löytää keinoja hiilivaraston kasvattamiseksi. Monivuotisten nurmien viljelyn on osoitettu lisäävän tai ylläpitävän maaperän hiilivarastoja yksivuotisia kasveja tehokkaammin (mm. Kätterer ym. 2011). Hiilivaroja ylläpitävän vaikutuksen on arvioitu perustuvan sekä nurmikasvien biologisiin (monivuotisuus ja pitkä yhteyttämiskausi, juuriston määrä, profiili ja kemiallinen koostumus) että viljelytekniisiin (harva kyntöväli) ominaisuuksiin (Rasse ym. 2005).

Nurmikasvien juuriston määrän on havaittu vaihtelevan lajien välillä (Bolinder ym. 2002) ja esimerkiksi ruokonadan juuriston määrän on todettu olevan esimerkiksi nurminataa ja englannin raiheinää suurempi (Cognon ym. 2017). Kasvilajin lisäksi juuriston kehitykseen vaikuttavat kasvuolosuhteet. Peltokasveista typpilannoitus on yksi merkittävin kasvuun vaikuttava tekijä, jolla tiedetään olevan vaikutusta myös juuristoon (Fornara ja Tilman 2012, Cognon ym. 2017, Poeplau ym. 2019), mutta vaikutuksen suunta on epäselvä. Nurmiviljelyssä typpilannoitteita käytetään niiden merkittävän satovaikutuksen vuoksi suhteellisen paljon, vaikkakin vaihtelu tilojen ja lohkojen välillä on iso. Typpilannoituksen ohella niittokorkeuden on arvioitu voivan vaikuttaa juuriston määrään, lisäämällä kasvuston yhteyttämispotentiaalia heti niiton jälkeen verrattuna matalaan sänkeen (Virkajärvi ym. 2003).

Samalla versojen hiilihydraattivarastot ovat suuremmat mahdollistaen niiden käytön myös juurten toimintaan (Richard 1993). Korkeampi niittokorkeus voi myös jättää enemmän kasvupisteitä peltoon jäävän biomassaan ja vaikuttaa siten kuolevan juuriston määrään. Vaikka nurmikasvien merkitys maan hiilivarojen ylläpitäjänä on tunnustettu laajasti, on pohjoisissa olosuhteissa viljeltyjen nurmikasvilajien juuristosta ja sen hiilisyötteestä maahan hyvin vähän tutkittua tietoa (Palosuo ym. 2016). Tietoa tarvitaan paitsi maan hiilivarastoja ylläpitävien viljelytekniikoiden nimeämiseen myös maaperän hiilimallien kehittämiseksi.

Materiaalit ja menetelmät

Tässä artikkelissa esitetään tuloksia kolmelta eri kenttäkokeelta: typpilannoituskokeelta, niittokorkeuskokeelta ja lajivertailukokeelta. Kokeet toteutettiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) Maaningan toimipaikalla vuosina 2018–2021 ja juuristonäytteet otettiin vuonna 2020 toisen (typpilannoituskoe ja niittokorkeuskoe) ja ensimmäisen (lajivertailukoe) vuoden nurmesta. Typpilannoituskokeessa koekäsittelyinä oli kolme typpilannoitustasoa: 0 (0N), 150 (150N) ja 300 (300N) kg N ha⁻¹ v⁻¹. Niittokorkeuskokeessa koekäsittelyinä olivat kaksi niittokorkeutta, 6 cm ja 12 cm. Lajivertailukokeessa käsittelyinä oli nurmilajien puhdaskasvustot: timotei (T) ja ruokonata (RN). Kaikki kokeet toteutettiin juuristonäytteiden osalta neljällä toistona eli kerranteena. Taulukkoon 1 on koottu perustietoa kustakin koealasta. Kokeet lannoitettiin mineraalilannoitteilla. Taulukkoon 2 on koottu kokeissa käytetyt typpilannoitustasot niitoittain. Fosfori- ja kaliumlannoitus toteutettiin suositusten mukaisesti käyttäen fosforin osalta sato-sakorjausta. Juuristonäytteet otettiin typpilannoitus- ja niittokorkeuskokeella kolmannen niiton yhteydessä. Lajivertailukokeessa näytteet otettiin jokaisen niiton yhteydessä. Kaikki juurinäytteet otettiin 40 cm:n syvyyteen traktoriavusteisella kairalla (Ø 4.8 cm). Kustakin koeruudusta otettiin kaksi rinnakkaista näytesarjaa, jotka kukin sisälsivät kaksi kairallista maata kylvörivistä ja rivivälistä. Kukin kaira jaettiin neljään profiiliin: 0–2 cm, 2–10 cm, 10–20 cm ja 20–40 cm. Näytteenoton jälkeen näytteet pakastettiin ja pesu toteutettiin juuristopesurilla (Smucker et al. 1982) talvikaudella 2020–2021. Kuiva-ainepitoisuuden (KA g kg⁻¹ ka) määrittämiseksi juuret kuivattiin 50 °C lämpötilassa, kunnes kuivapaino pysyi vakiona. Kuivatuista näytteistä määritettiin kuivapolttomenetelmällä (Leco® CHN 900 or TruMac® CN analyser) hiili (C)- ja typpi(N)pitoisuus Luken Jokioisten kasvilaboratoriossa. Juuriston hiilen hajotuskestävyyden arvioimiseksi juurinäytteistä selvitettiin vesi- (W), etanoli- (E) ja happoliukoisena (A) hiilen määrä sekä ei-liukoisena (N_i) hiilen määrä. Menetelmä kuvattu tutkimusartikkelissa Heikkinen ym. 2021. Laboratorio-analyysit toteutettiin Luken Jokioisten kasviainelaboratoriossa. Tulosten tilastollinen testaus (ANOVA) tehtiin SAS 9.3 -tilasto-ohjelman MIXED -proseduurilla. Jokaisessa kokeessa niitto testattiin erikseen. Kiinteänä muuttujana oli käsittely ja satunnaismuuttujana oli kerranne. Lisäksi lajivertailukokeen aineisto laskettiin niitto toistotekijänä ja käsittely, niitto sekä käsittely × niitto-yhdysvaikutus kiinteinä tekijöinä, jolloin kerranne ja kerranne × niitto - yhdysvaikutus käsiteltiin satunnaismuuttujina.

Taulukko 1. Perustietoja kokeiden toteutuksesta ja maasta lähtötilanteessa vuonna 2019

	Typpilannoituskoe	Niittokorkeuskoe	Lajivertailukoe
Perustamisvuosi	2018	2018	2019
Koevuosi	2020	2020	2020
Nurmen satovuosi	2. satovuosi	2. satovuosi	1. satovuosi
Kasvilaji ja seossuhde	timotei 'Nuutti' nurminata 'Valtteri'	timotei 'Nuutti' nurminata 'Valtteri'	timotei 'nuutti' ruokonata 'Retu'
Maalaji	KHt	KHt	KHt
C %, 0-20 cm	2.0	2.0	1.7
Juurinäytteiden otto pvm	3.9.2020	3.9.2020	16.6. 24.7. ja 9.10.
Niittojen lkm	3	3	3

Taulukko2. Kokeissa käytetty lannoitustypen määrä (kg ha⁻¹) niitoittain

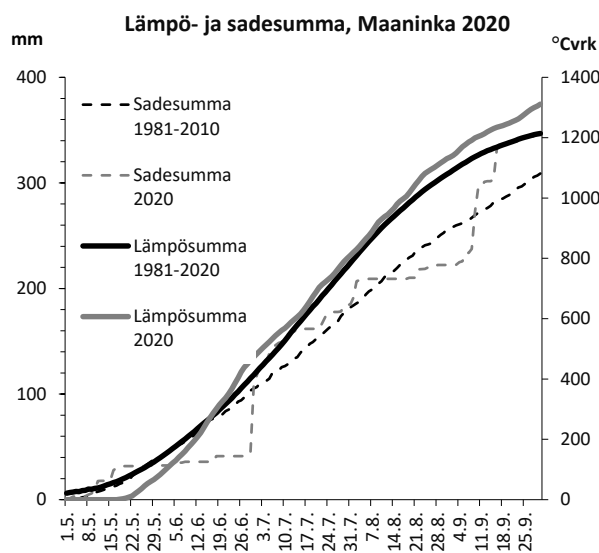
	1. sato	2. sato	3. sato
Typpilannoituskoe			
0N	0	0	0
150N	66	54	30
300N	132	108	60
Niittokorkeuskoe*	100	90	50
Lajivertailukoe*	100	90	50

*kaikki koejäsenet saivat saman typpilannoitusmäärän

Tulokset

Kasvukauden sää

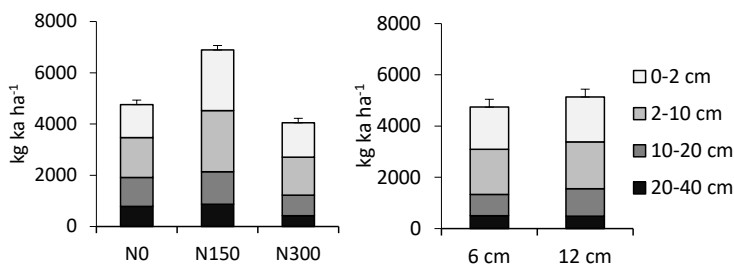
Kasvukaudella 2020 tehoisaa lämpösomaa kertyi hieman keskimääräistä enemmän (Kuva 1), vaikka kasvukausi alkoi suhteellisen myöhään (18.5.). Sadetta kertyi epätasaisesti ja kuivuus ajoittui etenkin ensimmäisen sadon kasvuun sekä toisen sadon kasvuunlähdtöön, jolloin myös lämpötilat olivat korkeita. Lämpösomaa kertyi typpilannoitus- ja niittokorkeuskokeen juuristonäytteenottoon (3.9.2020) mennessä 1149 astepäivää. Lajivertailukokeen viimeiseen juurinäytteenottoon (9.10.2020) mennessä 1364 astepäivää. Vastaavalle ajalle kertyneet sadesummat olivat 223 mm ja 363 mm.



Kuva 1. Koevuoden 2020 (toukokuu-syyskuu) sekä vertailukauden 1981–2010 lämpö- ja sadesumma

Typpilannoituksen vaikutus juuriston määrään, syvyysprofiiliin ja kemialliseen koostumukseen

Tulosten perusteella typpilannoitus lisäsi juuriston määrää mitatussa 40 cm:n profiilissa epälineaarisesti niin, että juuriston määrä oli korkein (6890 kg ka ha⁻¹ v⁻¹) maltillisella typpilannoitustasolla 150 kg N ha⁻¹ v⁻¹ (Kuva 2). Ero oli tilastollisesti merkitsevä (P<0.001) molempiin lannoitustasoihin nähden. Matalin juuristomassa (4050 kg ka ha⁻¹ v⁻¹) mitattiin korkeimmalla typpilannoitustasolla 300 kg N ha⁻¹ v⁻¹, mutta tilastollisesti ero oli vain suuntaa antava (P=0.06).



Kuva 2. Juuristomassa (kg ka ha⁻¹ v⁻¹) kolmannen niiton jälkeen a) typpilannoituskokeessa typpitasoilla 0 (N0), 150 (N150) ja 300 (N300) kg N ha⁻¹ v⁻¹ sekä b) niittokorkeuksilla 6 cm tai 12 cm

Typpilannoituksen vaikutus juuristobiomassaan oli hieman erilainen eri profiileissa (Kuva 2, Taulukko 3). Ylimmässä kymmenessä senttimerissä (maaprofiilit 0–2 cm ja 2–10 cm) juuristomassa oli merkitsevästi muita korkeampi maltillisella typpilannoituksella (N150). Kahdessa syvimmässä profiilissa 10–20 cm ja 20–40 cm typpilannoitus näytti vaikuttavan siten, että korkea lannoitustaso (N300) vähensi juuriston määrää, mutta ilman typpilannoitusta (N0) ja maltillisella typpilannoituksella (N150) juuriston määrä oli sama.

Typpilannoitus vaikutti juuriston kemiallisen koostumuksen osalta merkitsevästi vain N-pitoisuuteen (Taulukko 3), joka nousi merkitsevästi 0 kg N ha⁻¹ v⁻¹ tasolta lannoitustasolle 300 kg N ha⁻¹ v⁻¹ (1.05 → 1.5 %, p<0.0001). Tämä N-pitoisuuden nousu alensi C/N-suhdetta (39.5 → 29).

Taulukko 3. Typpilannoituskokeessa (0 (N0), 150 (N150) ja 300 (N300) kg N ha⁻¹ v⁻¹) ja niitto-korkeuskokeessa (niittokorkeuden 6 ja 12 cm) mitatut juuristomassat (JM kg ka ha⁻¹ v⁻¹) profiileittain (JM1=0–2 cm, JM2= 2–10 cm, JM3=10–20 cm, JM4=20–40 cm) juuriston kemiallinen koostumus (% kuiva-aneesta) sekä verso/juuri-suhde (V/J). W= vesiliukoinen hiili. E=etanoliiliukoinen hiili. A=happoliukoinen hiili ja Ni=ei liukoinen hiili. C/N=hiili/typpi -suhde sekä V/J=verso/juurisuhde.

	Typpilannoituskoe					Niittokorkeuskoe			
	N0	N150	N300	P	SEM	6 cm	12 cm	P	SEM
JM1	1290	2370	1340	**	125.2	1647	1747		115.1
JM2	1550	2390	1470	**	100.0	1760	1833		144.9
JM3	1130	1260	800	***	49.5	829	1069		126.8
JM4	783	874	423	*	83.2	504	486		21.4
W	7.5	9.1	6.1		0.77	9.0	7.9		0.41
E	2.6	2.0	2.0		0.16	2.4	2.3		0.10
A	69.5	68.8	70.5		0.64	68.2	67.9		0.52
N _i	20.7	20.2	21.7	0	0.27	20.4	21.9	0	0.17
C	41.7	42.2	42.2	0	0.19	42.6	42.3		0.28
N	1.0	1.1	1.5	***	0.02	1.3	1.3		0.03
C/N	40.6	38.4	29.0	***	0.73	33.6	32.9		0.93
V/J	0.06	0.21	0.62	***		0.42	0.25	0	

***P < 0.001, **P < 0.01, *P < 0.05, 0 P < 0.10; SEM = keskiarvon keskivirhe

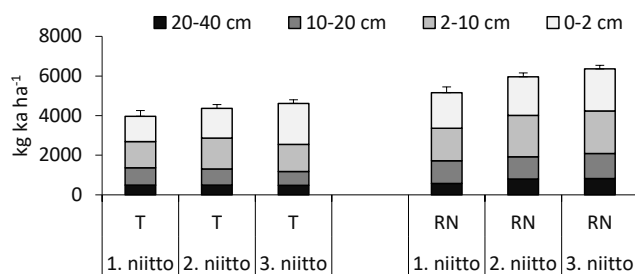
Niittokorkeuden vaikutus juuriston määrään, syvyysprofiiliin ja kemialliseen koostumukseen

Kokeessa juuriston massaksi mitattiin 4940 kg ka ha⁻¹ v⁻¹ (Kuva 2). Niittokorkeus ei vaikuttanut juuriston kokonaismäärään (p=0.39), eikä juuriston määrään eri profiileissa (Taulukko 3). Käsittelyllä ei ollut vaikutusta myöskään juuriston kemialliseen koostumukseen.

Nurmilajin vaikutus juuriston määrän ja syvyysprofiiliin sekä kemialliseen koostumukseen

Tulokset osoittivat ruokonadan juuriston olevan timoteita suurempi (Kuva 3, Taulukko 4). Ero oli tilastollisesti merkitsevä toisessa (P=0.006) ja kolmannessa (P=0.007) niitossa. Ensimmäisessäkin niitossa ero oli suuntaa antava (P=0.06). Ruokonadalla mitattiin keskimäärin 1500 kg ka ha⁻¹ v⁻¹ (profiili 0–40 cm) enemmän juuristobiomassaa kaikissa niitoissa (P<0.05). Ero suureni kasvukauden edetessä. Ruokonadan juuristomassa oli suurempi jo ensimmäisessä niitossa profiileissa 0–2 cm ja 2–10 cm. Toisessa ja kolmannessa niitossa ero oli merkitsevä kaikissa profiileissa, pois lukien kolmannen niiton ylin 0–2 cm profiili, jossa timotein ja ruokonadan juuristomassat eivät eronneet toisistaan.

Ruokonadan juuriston määrä kasvoi ensimmäisestä niitosta toiseen ja kolmanteen niittoon (5160 → 5960 → 6357 kg ka ha⁻¹ v⁻¹, p<0.05). Juuriston määrä lisääntyi erityisesti (p<0.05) profiilissa 2–10 cm, mutta myös profiilissa 20–40 cm mitattiin suuntaa antavaa nousua verratessa niittoja 1 ja 3 (P=0.08). Timotein juuristobiomassa pysyi samana kaikissa niitoissa (P>0.10). Ainoastaan profiilin 0–2 cm juuristomassa oli kolmannessa niitossa korkeampi kuin ensimmäisessä ja toisessa (P<0.05).



Kuva 3. Timotein (T) ja ruokonadan (RN) juuriston biomassat (kg ka ha⁻¹) profiileittain (0–2 cm, 2–10 cm, 10–20 cm, 20–40 cm) ja niitoittain

Timotein ja ruokonadan juuriston C- ja N-pitoisuus eivät eronneet toisistaan (Taulukko 4). Siten myöskään C/N-suhteessa ei lajien välillä havaittu eroja. Juuriston tyyppipitoisuus vaihteli molemmilla lajeilla niitoittain (P>0.05). Korkein N-pitoisuus mitattiin toisessa niitossa (120 g kg⁻¹ ka) ja matalin pitoisuus kolmannessa niitossa (100 g kg⁻¹ ka). Vesi-, etanoli- ja happouuttoisen sekä ei-liukoisen hiilen osuuksissa oli lajien välillä pieniä eroja (Taulukko 4). Eroja oli myös niittojen välillä. Yleisesti ruokonadan juuriston vesi- ja etanoliiuuttoisen sekä ei-liukoisen hiilen osuudet olivat timoteita korkeampia. Vastaavasti happouuttoisen hiilen osuus oli timoteilla ruokonataa korkeampi. Fraktioista vesiuuttoisen hiilen osuus selvästi nousi kolmanteen niittoon (P<0.05).

Taulukko 4. Kokeen niittokohtaiset juuristomassat (JM kg ka ha⁻¹ v⁻¹) profiileittain (JM1=0–2 cm, JM2= 2–0 cm, JM3=10–20 cm, JM4=20–40 cm) sekä juuriston kemiallinen koostumus (% kuiva-aneesta) sekä kokokasvukauden tilastollisten analyysien tulokset. k=kasvilaji W= vesiliukoinen hiili, E=etanoliuukoinen hiili, A=happoliukoinen hiili ja N_i=ei liukoinen hiili, C/N=hiili/typpi -suhde sekä V/J=verso/juuri-suhde.

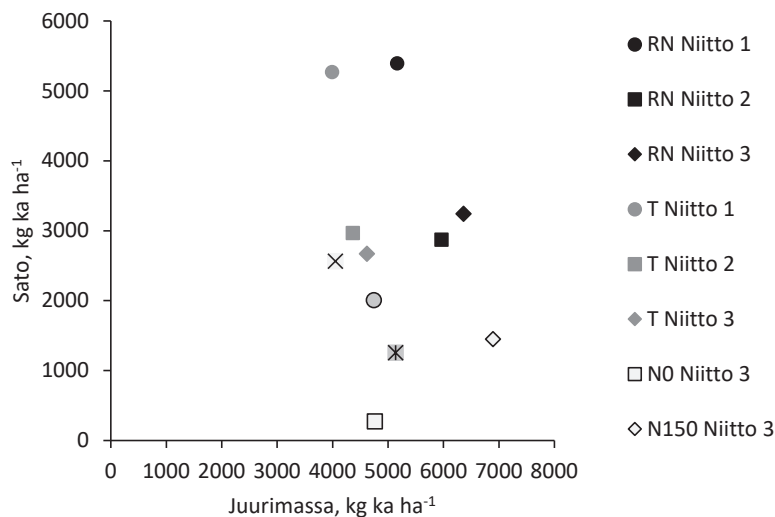
	1. niitto				2. niitto				3. niitto				p		
	T	RN	<i>p</i>	sem	T	RN	<i>p</i>	sem	T	RN	<i>p</i>	sem	k	niitto	s*niitto
JM1	1290	1800	*	120	14500	1950	*	156	2080	2130		123	**	*	
JM2	1320	1640	0	121	1560	2090	**	87.2	1360	2140	*	114	***	0	
JM3	881	1140		101	812	1120	*	56.6	696	1260	***	26.9	***		
JM4	490	572		52.4	497	805	*	62.1	487	827	**	32.8	**	0	0
W	4.2	5.1	0	0.22	4.5	5.9	*	0.29	10.0	10.0		0.32	**	***	0
E	1.6	2.5	**	0.09	1.4	2.2	***	0.09	1.8	2.3		0.24	***	**	**
A	74.9	70.8	**	0.45	73.0	68.3	**	0.34	68.4	65.1	**	0.52	***	***	**
N _i	19.3	21.7	*	0.55	21.1	23.6	*	0.48	19.7	22.5	*	0.43	***	*	
C %	42.1	40.6		0.51	41.4	40.2		0.63	40.6	40.6		0.52			
N %	1.1	1.1		0.03	1.2	1.2		0.03	1.0	1.0		0.02		*	
C/N	39.1	36.2		1.54	36.0	34.8		1.21	39.1	40.7		0.72		*	
V/J	1.34	1.06		1.543	0.682	0.48		1.21	0.584	0.509		0.717	**	***	

***P < 0.001, **P < 0.01, *P < 0.05, 0 P < 0.10; SEM = keskiarvon keskivirhe

Verso/juuri-suhde

Verso/juuri-suhde (V/J) vaihteli aineistossa merkittävästi niitoittain ja kokeittain (Kuva 4, Taulukko 3 ja 4). Tyypilannoituskokeessa käsittelyssä ON suhde oli 0.06, käsittelyssä 150N 0.21 ja käsittelyssä 300N 0.62. Niittokorkeuskokeessa V/J-suhde oli matalammalla niittokorkeudella 0.42 ja korkeammalla niittokorkeudella 0.25. Huomioin arvoista on, että suhde on laskettu sadonmäärällä, minkä vuoksi poikkeavat niittokorkeudet vääristävät suhdetta. Lajivertailukokeessa vaihteluväli oli 0.51–1.34. Niitoittain tarkasteltuna lajien välillä ei ollut eroa V/J-suhteessa, mutta suhde

oli selvästi korkein 1 niitossa verrattuna 2 ja 3 niittoon. Koko kasvukauden yli tarkastellessa timotein V/J suhde oli korkeampi kuin ruokonadan ($P < 0.01$)



Kuva 4. Juuriston massan ($\text{kg ka ha}^{-1} \text{v}^{-1}$) suhde sadon määrään ($\text{kg ka ha}^{-1} \text{v}^{-1}$) kolmessa eri kokeessa v. 2020. Kuva sisältää lajivertailukokeen tulokset niittoittain (T=timotei, RN=ruokonata) sekä typpilannoituskokeen (lannoitustasot $0 \text{ kg N ha}^{-1} \text{v}^{-1} = \text{NO}$, $150 \text{ kg N ha}^{-1} \text{v}^{-1} = \text{N150}$, $300 \text{ kg N ha}^{-1} \text{v}^{-1} = \text{N300}$) ja niittokorkeuskokeen (niittokorkeus 6 cm, niittokorkeus 12 cm) kolmannen niiton juuristomassan ja sadon määrään.

Tulosten tarkastelu

Maltillinen typpilannoitus edistää juuriston kasvua

Typpilannoituksen vaikutuksesta nurmikasvien juuriston kasvuun on rajallisesti tietoa ja olemassa oleva tieto on osin ristiriitaista (Fornara ym. 2016, Coughon ym. 2017, mm. Poehlau ym. 2021). Typpilannoituksen tiedetään pienentävän juuristoon allokoituvan hiilen osuutta ja suurentavan siten verso/juuri-suhdetta (Pausch ja Kuzyakov 2017), mikä havaittiin myös tässä raportoidussa typpilannoituskokeessa (Kuva 4). Verso/juuri-suhteen suureneneminen ei kuitenkaan automaattisesti tarkoita juurimassan määrällistä vähentymistä, jos suhteen muutos kompensoituu versomassan kasvuna. Kokeessa havaittiin korkean typpilannoituksen ($300 \text{ kg ka ha}^{-1} \text{v}^{-1}$) vähentävän juuriston määrää syvissä maaprofiileissa ($< 10 \text{ cm}$ syvyydessä) ja toisaalta maltillisen lannoituksen ($150 \text{ kg N ha}^{-1} \text{v}^{-1}$) lisäävän juuristomassaa maan pintakerrokseen ($0\text{--}10 \text{ cm}$). Ilmiön merkitys hiilen pitkäaikaisen varastoitumisen kannalta voi olla merkittävä, koska pintakerroksen hiilisyötteen on todettu hajoavan nopeasti. Se, kuinka paljon kasvi panostaa juurten kasvuun riippuu myös muista ympäristötekijöistä. Esimerkiksi tarve louhia muita ravinteita, kuten kaliumia ja fosforia maaperästä, voi lisätä juuriston kasvua (Fornara ym. 2013).

On hyvä huomioida, että vaikka juuristo on merkittävin peltomaan hiilisyötteistä, ei hiilisyöte yksin määritä muutoksia maan hiilivarastoissa ja erityisesti mikrobiston rooli maan pitkäaikaiselle hiilivarastolle on suuri (mm. Fornara ym. 2016, Poehlau 2021). Typpilannoituksen on useissa tutkimuksissa todettu nostavan maan hiilipitoisuutta ilman, vaikka juuriston määrän ei havaittu kasvavan. Hiilivarastojen kasvun taustalla voi olla lisääntynyt mikrobibiomassa, juuriston hiilisyöte tai muu hiilisyöte (kuten karjanlanta). Maan hiilivarojen kehittymiseen eniten vaikuttava tekijä voi vaihdella systeemistä toiseen.

Juuriston C/N-suhteen todettiin kokeessa pienenevän suhteellisen paljon typpilannoituksen lisääntyessä. Tällä voi on merkitystä hiilen pysyvyyden kannalta koska mitä lähempänä C/N -suhde on mikrobien C/N suhdetta, sitä helpommin hajotettavaa se on (Hijbeek ym. 2019). Olennaista on ”siirtykö” hajotettavan aineksen sisältämä hiili pysyvämmäksi osaksi mikrobikiertoa vai hengitetäänkö se nopeasti hiilidioksidina ilmakehää.

Niittokorkeuden vaikutus juuristoon oli vähäinen

Vastoin odotuksia, niittokorkeudella ei tässä tutkimuksessa todettu olevan vaikutusta juuriston määrään (Kuva 4). Kokeessa vertailtiin niittokorkeuksia 6 cm ja 12 cm, joiden tekninen toteuttaminen ruutukokeessa oli haastavaa. Todellinen leikkuukorkeus oli kaikissa sadoissa vähintään 2 cm tavoitetta korkeampi ja erityisesti jälkisadoissa,

kasvuston lakoontuvan kasvutavan vuoksi, toteutunut niittokorkeus oli tavoitetta korkeampi. Esimerkiksi ylilaidunnuksessa peltoon jäävän sängen korkeus on huomattavasti nyt toteutunutta matalan niiton korkeutta (6–8 cm) alhaisempi ja siten sen vaikutukset juuristoon ovat todennäköisesti negatiivisemmat kuin tässä kokeessa.

Runsasjuurinen ruokonata

Lajivertailu kokeessa ruokonadan juuristobiomassa oli timoteita huomattavasti suurempi (profiili 0–40 cm). Kolmannessa niitossa ero oli suurimmillaan 1700 kg ka ha⁻¹ v⁻¹. Ruokonadan juuristo lisääntyi koko kasvukauden ja oli biomassaltaan suurempi verrattuna lähes kaikissa profiileissa, aivan pintaprofiilia lukuun ottamatta (0–2 cm). Timoteilla juuriston määrä lisääntyi kasvukauden aikana vain kerroksessa 0–2 cm. Tulokset timotein pintajuuruisuudesta ja vähäisemmästä juuristobiomassasta ruokonataan nähden tukevat aiempia havaintoja (Bolinder ym 2002). Maahan kohdistuvan orgaanisen syötteen hiilen kemiallinen koostumus vaikuttaa sen hajoamisnopeuteen (mm. Heikkinen ym. 2021). Hiilen kemiallisille fraktioille (W=vesiliukoinen C, A=happoliukoinen C, E=etanoliukoinen C, N_i=ei-liukoinen C) on määritetty hajoamiskertoimia, joita käytetään myös maaperän hiilimalleissa (kuten Yasso07, Tuomi ym. 2011). Fraktioista etanoliukoinen hiili ja ei-liukoinen hiili ovat kaikkein hitaimmin hajoavia hiilen fraktioita, vahoja ja ligniiniä. Tässä kokeessa ruokonadan juuriston ei-liukaisen hiilen ja etanoliukaisen hiilen osuudet olivat timoteita korkeammat, mikä voi vaikuttaa niiden hajoamisnopeuteen maassa ja siten myös maaperä hiilivarastoihin.

Arvioitaessa juuristoa ja sen hiilisyötevaikutusta on huomioitava, että juuristoa syntyy ja kuolee läpi kasvukauden. Niin kutsuttu juuriston kiertonopeus (engl. turnover rate) kuvaa sitä, kuinka paljon juuristoa kuolee vuoden aikana. Sen on arvioitu olevan noin 65–100% juuriston kokonaismäärästä (sisältää kuolleet juuret ja juurieritteet). Kiertonopeus vaihtelee lajeittain (Kagiva ym. 2019), joten sen vaikutus todelliseen juuriston hiilisyöteeseen voi olla merkittävä ja sen tarkempi selvittäminen vaatii jatkotutkimuksia.

Verso/juurisuhde vaihteli merkittävästi kokeen aineistossa. Tulokset osoittavat, ettei versomassalla voida ennustaa juuriston määrää. Tuotantonurmilla satotaso, kuten myös esimerkiksi juuriston määrään vaikuttava N-lannoitustaso, vaihtelevat huomattavasti niittojen välillä, mikä vaikuttaa merkittävästi verso/juuri-suhteen käyttöä nurmilla. Myös vuosien välinen vaihtelu verso/juuri-suhteessa voi olla merkittävää (Bolinder ym. 2002). Tarkempi juuristobiomassan ennustaminen vaatii useampien tekijöiden huomioimista laskennassa esimerkiksi prosessipohjaisten agroekologisten mallien avulla.

Johtopäätökset

Tutkituista viljelyteknisistä ratkaisuista (typpilannoitustaso, niittokorkeus ja lajivalinta) typpilannoituksella ja lajivalinnalla osoitettiin näissä kokeissa olevan vaikutusta nurmen juuristonmäärään ja kemialliseen koostumukseen. Typpilannoituksen vaikutus juuriston määrään oli epälineaarinen. Maltillisella typpilannoituksella juuriston määrä oli suurin ja korkea lannoitustaso vähensi juuriston määrää merkittävästi. Ruokonadan juuristo oli merkittävästi timotein juuristoa suurempi ja painottui syvempiin maaprofiileihin. Niittokorkeudella ei tässä tutkimuksessa ollut vaikutusta juuriston määrään tai profiiliin. Kokeiden tulokset osoittivat, ettei pelkän versomassan avulla voida arvioida juuriston määrää intensiivisesti hoidetulla pohjoisilla nurmilla.

Kiitokset

Kiitokset Luke Kuopion Maaningan toimipaikan tutkimusmestareille (Johanna Kanninen, Juliana Roivainen, Jenni Laakso ja Arto Pehkonen), Maa- ja metsätalousministeriölle JuuriHiili- ja OrmiNurmi-tutkimushankkeiden rahoituksesta sekä Business Finlandille CarboNurmi-hankkeen rahoituksesta.

Kirjallisuusviitteet

Bolinder, M.A., Angers, D.A., Bélanger, G., Michaud, R. & Laverdière, M.R. 2002. Root biomass and shoot to root ratios of perennial forage crops in eastern Canada. *Canadian Journal of Plant Science* 82: 731–737. <https://cdnsciencepub.com/doi/pdf/10.4141/P01-139>

Cougnon, M., De Swaef, T., Lootens, P., Baert, J., De Franne, P., Shahidi, R., Roldán-Ruiz, I. & Rehaul, D. 2017. *In situ* quantification of forage grass root biomass, distribution and diameter classes under two N fertilisation rates. *Plant and Soil* 411: 409–422. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-016-3034-7>

- Fornara, D.A., Banin, L. & Crawley, M.J. 2013. Multi-nutrient vs. nitrogen-only effects on carbon sequestration in grassland soils. *Global Change Biology* 19: 3848–3857. <https://doi.org/10.1111/gcb.12323>
- Fornara, D., Wasson, E.-A., Christie, P., & Watso, C.J. 2016. Long-term nutrient fertilization and the carbon balance of permanent grassland: any evidence for sustainable intensification? *Biogeochemistry* 13: 4975–4984. <https://bg.copernicus.org/articles/13/4975/2016/>
- Heikkinen, J., Ketoja, E., Seppänen, L., Luostarinen, S., Fritze, H., Pennanen, T., Peltoniemi, K., Velmala, S., Hanajik, P. & Regina, K. 2021. Chemical composition controls the decomposition of organic amendments and influences the microbial community structure in agricultural soils. *Carbon Management* 12: 359–376. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gfs.12537>
- Hijbeek, R., van Loon, M. & van Ittersum, M. 2019. Fertiliser use and soil carbon sequestration: opportunities and trade-offs. CCAFS Working Paper no. 264. Wageningen, the Netherlands: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/101190>
- Kagiya, N., Reinsch, T., Taube, F., Salminen, J.-P., Kluß, C., Hasler, M. & Malisch, C. 2019. Turnover rates of roots vary considerably across temperate forage species. *Soil Biology and Biochemistry* 139: 107–614. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071719302780>
- Kätterer, T., Bolinder, M., Andrén, O., Kirchmann, H. & Menichetti, L. 2011. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 14: 184–192. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880911000818>
- Palosuo, T., Heikkinen, J. & Regina, K. 2016. Method for estimating soil carbon stock changes in Finnish mineral cropland and grassland soils. *Carbon Management* 6: 207–220. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17583004.2015.1131383>
- Poeplau, C. 2021. Grassland soil organic carbon stocks along management intensity and warming gradients. *Grass and Forage Science* 76: 186–195. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gfs.12537>
- Rasse D.P., Rumpel C. & Dignac M.-F. 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. *Plant and soil* 269: 341–356. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-004-0907-y>
- Richards, J.H. 1993. Physiology of plants recovering from defoliation. *Proceedings of the XVII International Grassland Congress* 1993: 85–94.
- Tuomi, M., Rasinmäki, J., Repo, A., Vanhala, P. & Liski, J. 2011. Soil carbon model Yasso07 graphical user interface. *Environmental Modeling and Software* 26: 1358–1362. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815211001265>
- Virkajärvi, P. 2003. Effects of defoliation height on regrowth of timothy and meadow fescue in the generative and vegetative phases of growth. *Agricultural and Food Science in Finland* 12: 177–193. <https://doi.org/10.23986/afsci.5755>