

Sään ääri-ilmiöiden aiheuttama stressi näkyy timotein ja nurminadan rehuarvoissa ja kivennäispitoisuuksissa

Kirsi Järvenranta¹, Oiva Niemeläinen², Arja Mustonen¹, Johanna Nikama³ ja Perttu Virkajärvi¹

¹Luonnonvarakeskus, Tuotantojärjestelmät, Halolantie 31A, 71750 Maaninka

²Luonnonvarakeskus, Peltokasvien tuotanto, Tietotie 4, 31600 Jokioinen

³Luonnonvarakeskus, Vesistökuormitus, Tietotie 4, 31600 Jokioinen

e-mail: kirsi.jarvenranta@luke.fi

Ilmastonmuutoksen myötä sään ääri-ilmiöt yleistyvät. Hyvinä esimerkkeinä äärisäistä ovat heinäkuun 2021 poikkeuksellinen kuivuus sekä kesän 2017 hyvin viileät kasvuolosuhteet. Sateisuuden ja lämpötilaan liittyvät sään ääri-ilmiöt aiheuttavat haasteita rehun tuotannossa, rehuarvoissa ja kivennäiskoostumuksessa ja heijastuvat myös eläinten ravitsemukseen ja hyvinvointiin. Sään ääri-ilmiöiden vaikutuksia rehun laatuun tutkittiin Tuotantovarmuutta nurmesta (VarmaNurmi) -hankkeessa. Kasvulämpötilan ja maan kosteuden vaikutusta timotein (Rhonia) ja nurminadan (Klaara) rehuarvoihin sekä ravinnepitoisuuksiin tutkittiin kasvihuoneessa kontrolloiduissa olosuhteissa kasvustastioissa (4.4 kg maata, $rm\ HtMr$, 220 mg l⁻¹ K, 12 mg l⁻¹ P). Vernalisoinnin ja tasausniiton jälkeen kasvustot lannoitettiin (1000 mg N ja 680 mg K/astia/niitto ja 220 mg P/astia kokeen alussa) ja altistettiin sekä ensimmäisessä että jälkiasadossa kaksi viikkoa ennen niittoa kolmelle eri lämpötilalle vuorokausirytmillä 18h/6h: 10/2 °C (kylmä), 17/12 °C (normaali) ja 25/17 °C (kuuma) sekä kolmelle kosteudelle, joissa maan vesipitoisuus oli 40% (kuiva), 50–70% (optimi) ja 100% (märkä) kenttäkapasiteetista laskettuna. Kevätsadon osalta kylmäkäsitellyt jouduttiin poistamaan, koska kylmiöön tuli toimintahäiriö. Molemmissa niitoissa kaikkien astioiden sato korjattiin samaan aikaan. Kivennäisanalyysit tehtiin kuivatuista sato näytteistä. Rehun kivennäistasapainoa kuvaava DCAD-arvo sekä laidunhalvausriskiä ennustava GT-indeksi laskettiin ravinnepitoisuuksien perusteella. Lämpötilan ja maan kosteuden nousu lisäsivät odotetusti kuiva-ainesadon määrää ja heikensivät sulavuutta molemmissa niitoissa kummallakin kasvulla. Kasvuston raakavalkuais (RV) pitoisuus oli kevätsadossa 127–170 g kg⁻¹ ka ja jälkiasadossa 174–205 g kg⁻¹ ka, mikä vastaa kentällä tehtyjen kokeiden RV-pitoisuuksia ja osoittaa, että kasvusto ei kärsinyt typen (N) puutteen aiheuttamasta stressistä, vaikka kasvun aiheuttama N-pitoisuuden laimenemisvaikutus oli havaittavissa. Kasvuston stressitasoa kuvaava pelkistävien sokereiden (PeS) pitoisuus laski selvästi molemmissa sadoissa lämpötilan ja maan kosteuden noustessa (jälkiasadossa PeS kylmä-kuivassa 213 g kg⁻¹ ka ja kuuma-kosteassa 63 g kg⁻¹ ka). Tulosten perusteella suurin stressitekijä oli kuivuus, vaikka myös kylmyys rajoitti sadonmuodostusta ja nosti PeS -pitoisuutta. Lisääntyvä kosteus suosi selvästi molempien kasvien fosforin (P) ottoa ja vaikutus korostui jälkiasadossa, missä erityisesti timotein P-pitoisuus kasvoi suhteessa enemmän kuin ka-sato siirryttäessä optimikosteudesta märkiin olosuhteisiin. Timotein DCAD -arvot olivat keskimäärin nataa alempia ja normaalilämpötila tuotti matalimmat arvot molemmissa sadoissa. GT-indeksi nousi lämpötilan ja maan kosteuden myötä erityisesti timoteilla. Tulosten perusteella voidaan arvioida säästressin vaikutuksia kasvuston laatuun.

Avainsanat: nurmi, timotei, nurminata, sääolosuhteet, kuivuus, märkyys, äärisää, rehuarvot

Johdanto

Ilmastonmuutoksen myötä sään ääri-ilmiöt yleistyvät. Hyvinä esimerkkeinä äärisäistä ovat heinäkuun 2021 poikkeuksellinen kuivuus sekä kesän 2017 hyvin viileät kasvuolosuhteet. Sateisuuden ja lämpötilaan liittyvät sään ääri-ilmiöt aiheuttavat haasteita rehun tuotannossa, rehuarvoissa ja kivennäiskoostumuksessa ja heijastuvat myös eläinten ravitsemukseen ja hyvinvointiin. Abioottisten stressien, kuten kuivuuden ja kuumuuden yhdistelmällä oletetaan yleisesti olevan additiivinen negatiivinen vaikutus satofysiologiaan ja sadon muodostumiseen verrattuna tilanteeseen, jossa stressitekijät esiintyvät erikseen, mutta joissain tilanteissa vaikutus voi olla myös neutraali tai jopa positiivinen (Loka ym. 2019). Nurmen fysiologinen vaste riippuu kasvien selviytymisstrategiasta stressaavassa ympäristössä, ja tämä voi vaihdella lajeittain (Okamoto ym. 2011). Loka ym. (2019) ehdotti, että olisi tärkeää tutkia yhdistelmästressin vaikutuksia kasveihin kentällä. Olosuhteiden hallinta kenttäolosuhteissa on kuitenkin hyvin haastavaa, joten tässä tutkimuksessa stressivaikutuksia tutkittiin kasvihuonekokeessa. Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää ilman lämpötilan ja maaperän kosteuden sekä niiden yhdistelmien vaikutuksia timotein (*Phleum pratense* L.) ja nurminadan (*Festuca pratensis* Huds.) satoon, rehuarvoon ja kivennäispitoisuuksiin kasvihuonekokeissa. Koe toteutettiin Tuotantovarmuutta nurmesta (VarmaNurmi) -hankkeessa.

Aineisto ja menetelmät

Kasvulämpötilan ja maan kosteuden vaikutusta timotein (*Phleum pratense*; Rhonia) ja nurminadan (*Festuca pratensis* Huds. Klaara) satoon, rehuarvoihin sekä ravinnepitoisuuksiin tutkittiin kasvihuoneessa kontrolloiduissa olosuhteissa kasvatusastioissa. Koe alkoi kesäkuussa 2020. Kasvatusastioiden tilavuus oli 5 l, korkeus 17 cm ja halkaisija yläreunasta 20 cm. Maata pakattiin astiaan 4 litraa (4.4 kg) ja sen pinnankorkeus oli 15 cm. Käytetty maa oli viljeltyä peltomaata, nostettu 0–20 cm kerroksesta, maalajikoostumukseltaan HtMr (KHk 2%, HHk 9%, KHt 32%, HHT 12%, KHs 7%, HHs 5%, S 33%, hehikutushäviö 6.6% ka (rm) ja tilavuuspaino 1.1 kg/l). Maan pH oli 5.7, johtoluku 1.0 mS cm⁻¹, Ca 1800 mg l⁻¹, P 12 mg l⁻¹, K 220 mg l⁻¹, Mg 340 mg l⁻¹, S 7.1 mg l⁻¹ ja kationinvaihtokapasiteetti (KVK) 18 cmol kg⁻¹. Maa seulottiin ja kalkittiin 5 ton ha⁻¹ Nordkalk Aito kalsiitti kalkilla (30% Ca) vastaten 2.5 g kalkkia/maalitra. Tämän jälkeen maahan lisättiin 250 mg N kg⁻¹, 155 mg K kg⁻¹ ja 50 mg P kg⁻¹, maa sekoitettiin ja punnittiin astioihin. Fosfori annettiin jauhettuna Superfosfaattina jolloin rikkilannoitukseksi tuli 61 mg S kg⁻¹. Lannoitemäärät laskettiin ylittämään hieman peltoviljelyssä käytetyt lannoitemäärät eli ne jäivät normaaleja kasvihuonekokeita pienemmiksi. Tällä haettiin vastaavuutta peltoviljelyolosuhteisiin ravinnetasapainon suhteen. Varsinaisten koeastioiden lisäksi pakattiin ja kylvettiin 80 kpl 3.2 l kokoisia suoja-astioita, jotka kokeessa aseteltiin koeastioiden ympärille vähentämään reunavaikutusta.

Kasvatusastioihin (2×36 astiaa kumpaakin kasvia) kylvettiin heinäkuun alussa 20 siementä puhtaina kasvustoina sekä ensimmäisen niiton että jälkisadon koejaksoa varten. Alkukasvatus jatkui kasvihuoneessa syyskuulle saakka, jolloin kaikki niitettiin 7 cm:n korkeuteen. Tämän jälkeen ensimmäisen niiton kasvustot siirrettiin kylmiöön vernalisoitumaan (päivänpituus 8h ja lämpötila +10 °C). Jälkisadon kasvustot ja suojakasvit vernalisoitiin kasvihuoneessa. Jälkisadon testaus toteutettiin ensin. Vernalisoituneet kasvustot tasausniitettiin ja lannoitettiin (1000 mg N ja 680 mg K /astia), minkä jälkeen niitä kasvatettiin 17/12 °C lämpötilassa normaalikastelussa 35 vrk, jonka jälkeen kasvusto niitettiin ja lannoitettiin uudelleen (1000 mg N ja 680 mg K /astia) jälkisatoa varten. Stressijakso aloitettiin 21 vrk kasvatuksen jälkeen.

Kasvit altistettiin sekä ensimmäisessä että jälkisadossa 14 vrk ennen niittoa kolmelle lämpötilalle: 10/2 °C (kylmä), 17/12 °C (normaali) ja 25/17 °C (kuuma), vuorokausirytmillä 18h/6h. Lämpösumman määrä kasvatuskauden aikana 269 astetta, keskimääräisessä 376 astetta ja kuumassa 478 astetta. Kevätsadon osalta kylmä 10/2 °C käsittely jouduttiin poistamaan, koska kylmiöön tuli toimintahäiriö. Ensimmäisen sadon stressikäsittelyssä kasveja kasvatettiin tasausleikkauksen jälkeen 16 päivää 17/12 °C:ssa 18/6 tunnin valo/pimeäjaksolla. Stressikäsittelyjakso kesti 14 vrk, minkä jälkeen sato korjattiin 7 cm sänkeen. Ennen toisen sadon stressikäsittelyä ensimmäistä satoa kasvatettiin 30 päivää 17/12 °C:ssa 18/6 tunnin valo/pimeäjaksolla, jonka jälkeen sato leikattiin 7 cm sänkeen. Ensimmäisen niiton jälkeen kasvustot lannoitettiin uudelleen (N, K) ja kasvatettiin 21 vrk 17/12 °C:ssa, minkä jälkeen tehtiin stressikäsittelyt (14 vrk) ennen toisen sadon niittoa. Kokeen lopussa sato korjattiin 7 cm:n sänkeen.

Lämpötilakäsittelyiden lisäksi kasvit altistettiin kolmelle maan kosteudelle, joissa maan vesipitoisuus pyrittiin pitämään 40% (kuiva), 50–70% (optimi) ja 100% (märkä) kenttäkapasiteetista laskettuna. Koejakson aikana kasveja kasteltiin päivittäin ja tarkkailtiin, että astioiden alusastiat eivät vuotaneet. Astiat punnittiin koejakson alussa ja jakson aikana kastelutarve määritettiin punnitsemalla. Testijakson lopulla varsinkin ensimmäisen niiton osalta kasvustojen haihdunta oli kuuma ja optimi -lämpötiloissa niin suurta, että tavoitellun märkä -olosuhteen pitäminen ei ollut täysin yhtäjaksoista. Kokeen toimenpiteet on kuvattu Taulukossa 1.

Taulukko 1. Astiakokeiden perustamisen, kasvatus- ja vernalisaatio- ja stressijaksojen ajoittuminen sekä niittoaajat. Koejaksoilla käytettiin erillisiä kasvustoja ja jälkisatokoe toteutettiin ennen ensimmäisen sadon koetta.

	Ensimmäinen sato	Jälkisato
Astioiden pakkaus, kalkitus ja lannoitus	kesäkuu 2020	kesäkuu 2020
Alkukasvatus, tasausniitto	30.6.–14.9.	30.6.–14.9.
Vernalisaatio	14.9.2020–1.2.2021	14.9.–8.12.2020
Tasausniitto	1.2.2021	8.12.2020
Lannoitus	1.2.2021	11.12.2020
Kasvatus	1.2.–9.3.2021	8.12.2020–12.1.2021
Stressijakso	22.2.–9.3.2021	
Niitto 1	9.3.2021	12.1.2021
Lannoitus, kasvatus		12.1.2021–17.2.2021
Stressijakso		3.2.–17.2.2021
Niitto 2		17.2.2021

Molemmat sadot punnittiin ja niistä tehtiin kuiva-ainemääritys sekä otettiin analyysinäyte (kuivatus 48h, 60 °C). Analyysinäytteestä määritettiin raakavalkuainen (RV), pelkistävät sokerit (PeS), NDF, iNDF, tuhka, NIR -menetelmällä (Valio Ltd). Rehun kivennäiskoostumus (Ca, K, Mg, P, Na, Cl, S, Cu, Mn, Zn ja Fe) määritettiin ICP-menetelmällä. Rehun kivennäistasapainoa kuvaava kationi-anioni suhde eli DCAD-arvo sekä laidunhalvausriskiä ennustava GT-indeksi laskettiin ravinnepitoisuuksien perusteella (Pelletier ym. 2008). Kokeen tulokset laskettiin ANOVA-menetelmällä (*Glimmix* -proseduuri; SAS 9.4).

Tulokset

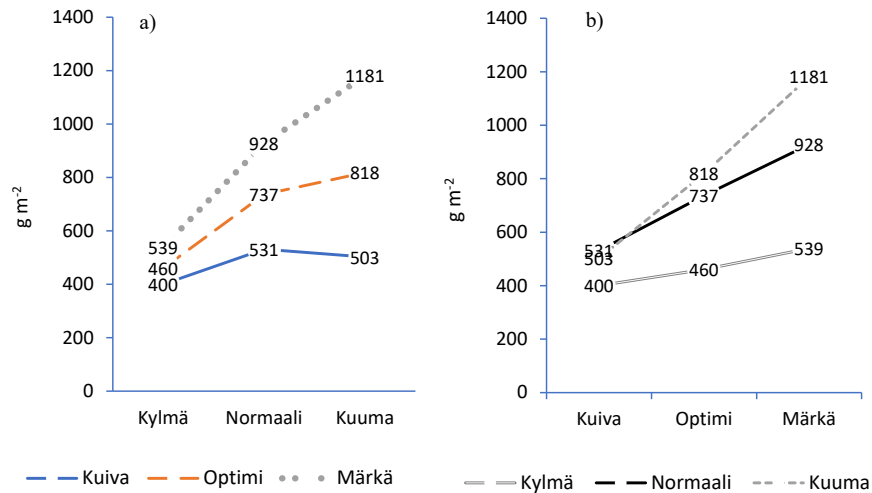
Ensimmäisen sadon osalta kylmä -käsittely jäi pois teknisen vian takia ja tässä verrataan vain normaali-kuuma -käsittelyitä. Timotein ensimmäisen niiton sato oli kokonaisuudessaan hieman pienempi kuin nurminadan (Taulukko 2). Lämpötilan nousu optimista kuumaan lisäsi timotein satoa n. 10 %, nurminadan satoon lämpötilan nousulla ei ollut vaikutusta. Molempien kasvien sato nousi maan kosteuden kasvaessa. Kuivan maan ja optimikosteuden välillä nousu oli suurempi kuin optimikosteuden ja märän maan välillä, erityisesti nurminadalla.

Taulukko 2. Timotein (TT) ja nurminadan (NN) kuiva-aine (ka), raakavalkuainen (RV), D-arvo, pelkistävät sokerit (PeS), NDF, iNDF ja tuhkapitoisuus ensimmäisessä sadossa

Laji	LPT	Maan kosteus	ka sato	ka	RV	D-arvo	PeS	NDF	iNDF	Tuhka
			g m ⁻²	%	g kg ka ⁻¹					
TT	Normaali	Kuiva	960	27.2	157	688	178	490	86	63
		Optimi	1220	20.4	167	637	62	596	103	69
		Märkä	1440	19.7	159	640	60	597	97	73
	Kuuma	Kuiva	1010	28.6	155	637	108	546	118	70
		Optimi	1410	27.4	147	611	78	592	132	72
		Märkä	1540	21.5	127	583	60	640	142	70
NN	Normaali	Kuiva	1010	20.4	161	696	148	504	66	79
		Optimi	1470	17.5	139	668	117	549	71	84
		Märkä	1680	17.9	129	679	113	576	67	80
	Kuuma	Kuiva	1060	21.1	171	661	66	549	83	86
		Optimi	1460	19.7	150	640	65	581	97	88
		Märkä	1580	16.7	137	633	60	597	98	84
		Keskiarvo	1320	21.5	150	648	93	568	96	76
		SEM	47	0.64	6	7	10.7	10	5.0	2.0
	p-arvot	Laji	***	***		***		**	***	***
		LPT		***		***	*	***	***	*
Laji*LPT		***	***	***		***		0		
Kosteus		***	***	***	***	***	***	**	*	
Laji*Kosteus		0	***	*	*	***	**		0	
LPT*Kosteus			***		*	***	0		0	
Laji*LPT*Kosteus		0	0				0			

SEM = keskiarvon keskivirhe; tilastolliset merkitsevyydet: *** (P < 0.001), ** (P < 0.01), * (P < 0.05) ja 0 (P < 0.10); LPT = lämpötila

Jälkisadon määrässä (g m⁻²) kasvilajien välillä ei ollut eroja. Lämpötilan nousu lisäsi satoa molemmilla kasveilla, samoin maan kosteuden nousu (Kuva 1). Kuivuus kuitenkin rajoitti kasvua enemmän kuin lämpötila. Kuivissa olosuhteissa sato jopa hieman laski, kun lämpötila nousi normaalista kuumaan. Myös teoreettisessa optimikosteudessa lämpötilan nousu kylmästä normaaliin lisäsi satoa suhteellisesti enemmän kuin nousu normaalista kuumaan (Kuva 1a). Näin ollen nimenomaan veden saatavuus rajoittaa kasvua teoreettisessa optimikosteudessa kuumassa säässä. Märässä olosuhteissa lämpötilan nousu sen sijaan lisää satoa lähes suoraviivaisesti (Kuva 1b).



Kuva 1. Lämpötilan ja maan kosteuden vaikutus kuiva-ainesadon (g m⁻²) muodostukseen jälkisadossa. Kasvilajien välillä ei ollut tilastollista eroa, joten kuvassa esitetään keskiarvot.

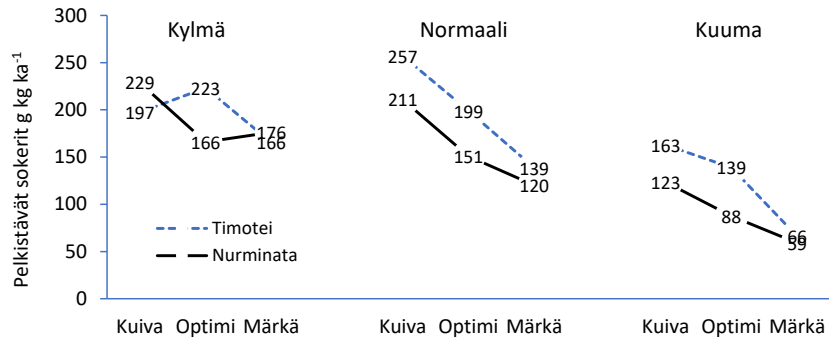
Kasvuston raakavalkuaispitoisuus vastasi kevätasadossa ja jälkisadossa kentällä tehtyjen kokeiden RV-pitoisuuksia. Lämpötilan nousu heikensi D-arvoa kummassakin sadossa molemmilla lajeilla ja vaikutus oli suurin jälkisadossa märän maan olosuhteissa, erityisesti timoteilla (Taulukko 3).

Taulukko 3. Timotein (TT) ja nurminadan (NN) kuiva-aine (ka), raakavalkuainen (RV), D-arvo, pelkistävät sokerit (PeS), NDF, iNDF ja tuhkapitoisuus jälkisadossa

Laji	Lämpötila	Kosteus	ka sato	ka	RV	D-arvo	PeS	NDF	iNDF	Tuhka
			g m ²	%					g kg ka ⁻¹	
TT	Kylmä	Kuiva	390	30.1	187	744	197	409	39.5	84.0
		Optimi	460	28.7	192	734	223	398	51.8	73.0
		Märkä	580	23.9	206	743	166	422	39.8	87.0
	Normaali	Kuiva	500	31.8	174	742	257	389	48.3	62.0
		Optimi	630	26.9	189	738	199	427	51.5	68.8
		Märkä	850	21.7	193	715	139	477	57.0	75.0
	Kuuma	Kuiva	480	32.8	178	709	163	453	65.0	73.8
		Optimi	830	27.7	181	695	139	471	69.8	77.5
		Märkä	1140	21.7	192	662	66	537	78.3	82.0
NN	Kylmä	Kuiva	400	28.9	191	743	229	395	42.5	80.3
		Optimi	450	24.2	201	759	166	419	23.0	91.0
		Märkä	480	25.1	201	742	176	432	42.5	80.8
	Normaali	Kuiva	550	26.8	182	761	211	402	25.3	85.0
		Optimi	820	23.8	199	753	151	452	25.0	84.8
		Märkä	980	19.3	195	738	120	484	23.5	88.5
	Lämmin	Kuiva	510	27.4	189	721	123	458	39.5	90.8
		Optimi	780	23.6	194	705	88	505	49.0	90.0
		Märkä	1180	19.9	194	696	59	528	47.5	97.5
		Keskiarvo	680	25.8	191	728	159	448	45.5	81.8
		SEM	71	0.90	7.10	6.52	12.64	7.81	5.78	3.32
	P-arvot	Laji			***	***	0	***	***	**
Lämpötila			***	*			***	*	**	***
Laji*LPT				*	0			*		**
Kosteus			***	***	***	**	***	***	***	
Laji*Kosteus				*	**			***	**	
LPT*Kosteus			***	**	**		**	**	***	
Laji*LPT *Kosteus				0				*		0

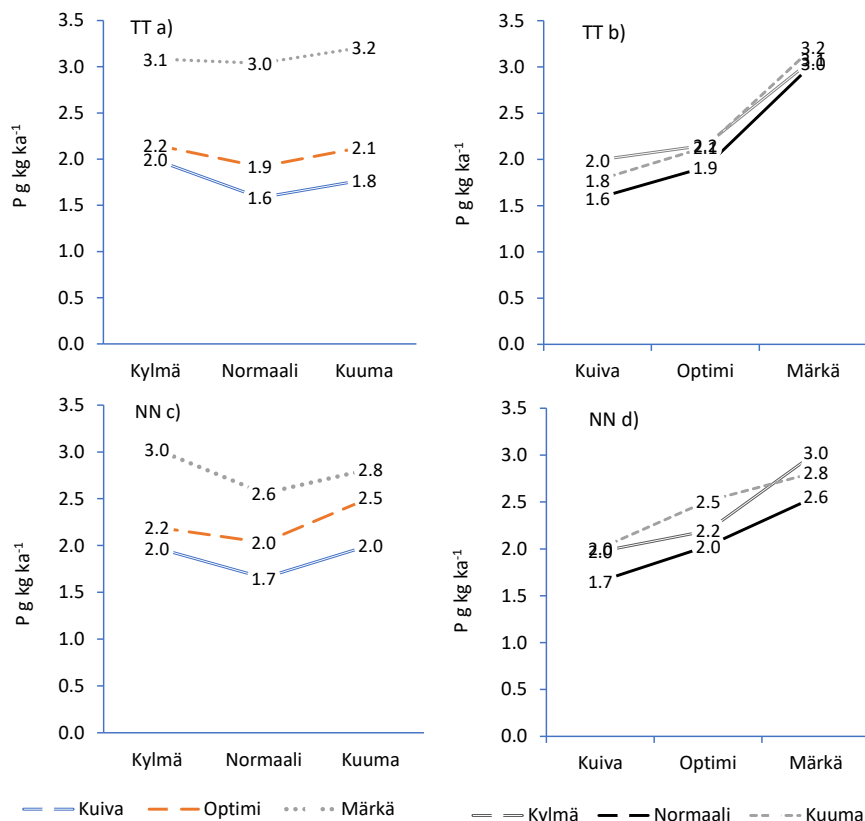
SEM = keskiarvon keskivirhe; tilastolliset merkitsevyydet: *** (P < 0.001), ** (P < 0.01), * (P < 0.05) ja 0 (P < 0.10); LPT = lämpötila

Heikoimmillaan D-arvo oli ensimmäisessä sadossa kuumissa ja märissä olosuhteissa. Ensimmäisessä sadossa kylmien olosuhteiden vaikutus jäi todentamatta kylmiön toimintahäiriön takia, mutta jälkisadossa kylmissä olosuhteissa maan kosteudella ei ollut vaikutusta sadon D-arvoon. Kasvuston stressitasoa kuvaava pelkistävien sokereiden (PeS) pitoisuus laski selvästi molemmissa sadoissa lämpötilan ja maan kosteuden noustessa (Kuva 2). Jälkisadossa normaalissa ja kuumassa lämpötilassa timotein PeS oli korkeampi kuin nurminadan.



Kuva 2. Lämpötilan ja maan kosteuden vaikutus timotein ja nurminadan pelkistävien sokereiden pitoisuuteen jälkisadossa

Lisääntyvä kosteus suosi selvästi molempien kasvien fosforin (P) ottoa molemmissa sadoissa ja molemmilla kasveilla (Taulukot 4 ja 5). Vaikutus korostui jälkisadossa, missä erityisesti timotein P-pitoisuus kasvoi suhteessa enemmän kuin ka-sato siirryttäessä optimikosteudesta märkiin olosuhteisiin (Kuva 3). Kalkituksen seurauksena kasvien Ca-pitoisuus oli molemmissa sadoissa korkea, joskin jälkisadossa pitoisuus laski kosteuden noustessa. Nurminadan Mg- ja S-pitoisuudet olivat selvästi korkeampia kuin timotein, erityisesti kuumassa. Timotein Na-pitoisuudet olivat aina nadan pitoisuuksia alempia, kun taas Zn-pitoisuudet olivat korkeampia (Taulukot 4 ja 5). Timotein DCAD-arvot olivat keskimäärin nataa alempia. Ensimmäisessä sadossa nurminadan DCAD-arvo nousi lämpötilan myötä ja laski, kun maan kosteus lisääntyi, timoteilla vastaavaa ilmiötä ei havaittu. Toisessa sadossa tulokset vaihtelivat paljon sekä satojen että kasvien välillä. GT-indeksi nousi lämpötilan ja maan kosteuden myötä erityisesti timoteilla.



Kuva 3. Lämpötilan ja maan kosteuden vaikutus timotein (TT) ja nurminadan (NN) P-pitoisuuteen jälkisadossa

Taulukko 4. Timotein (TT) ja nurminadan (NN) kuiva-aine sadon kivennäispitoisuudet ja DCAD sekä GT-indeksi ensimmäisessä sadossa

Laji	LPT	Maan kosteus	Ca	K	Mg	P	Na	Cl	S	Cu	Mn	Zn	Fe	DCAD meq	GT indeksi
			g kg ka ⁻¹						mg kg ka ⁻¹				kg ka ⁻¹		
TT	Normaali	Kuiva	5.01	27.1	1.62	1.63	0.04	1.28	1.83	5.98	26.5	22.3	435	544	1.81
		Optimi	5.56	30.0	1.94	2.19	0.05	1.26	2.19	8.95	43.0	29.8	562	584	1.76
		Märkä	5.33	30.3	1.63	3.10	0.07	1.50	2.19	9.06	38.8	28.3	508	604	1.94
	Kuuma	Kuiva	5.24	30.6	1.71	1.89	0.05	1.49	1.91	6.73	31.3	23.8	458	623	1.96
		Optimi	5.25	30.4	1.78	2.58	0.06	1.23	2.11	7.28	42.5	25.5	489	614	1.90
		Märkä	4.39	28.3	1.41	2.80	0.06	1.18	1.95	7.28	36.8	23.5	484	572	2.16
NN	Normaali	Kuiva	6.32	32.8	2.26	2.08	0.10	1.51	2.30	7.35	25.8	20.0	416	658	1.68
		Optimi	5.83	32.5	2.08	2.44	0.09	1.62	2.16	7.08	27.3	20.3	419	654	1.79
		Märkä	5.47	29.2	1.60	2.68	0.16	1.39	2.28	6.23	36.3	19.3	419	571	1.84
	Kuuma	Kuiva	7.10	39.6	2.63	2.52	0.11	1.84	2.45	8.70	34.3	21.8	428	814	1.77
		Optimi	5.88	38.1	2.41	2.81	0.11	1.77	2.42	7.85	36.0	21.3	438	779	2.01
		Märkä	5.91	34.2	2.21	3.13	0.17	1.69	2.27	7.70	39.5	20.8	431	694	1.90
		Keskiarvo	5.61	31.91	1.94	2.49	0.09	1.48	2.17	7.51	34.81	23.03	457	643	1.88
		SE													
	p-arvot	Laji		***	***		***	***	**	*	**	***	***	***	*
		LPT	***	0	0	0	***	***			***			***	0
		Laji*LPT			***		0	**		**		*	***	**	
		Kosteus	**	**	**	***			***	***	**	**	***	*	**
		Laji*Kosteus	*	**		**				**		*	***	*	**
		LPT*Kosteus								**			**		
		Laji*LPT *Kosteus			0			*		*		0	**		

SEM = keskiarvon keskivirhe; tilastolliset merkitsevyydet: *** (P < 0.001), ** (P < 0.01), * (P < 0.05) ja 0 (P < 0.10); LPT =lämpötila

Taulukko 5. Timotein (TT) ja nurminadan (NN) kuiva-aine sadon kivennäispitoisuudet ja DCAD sekä GT-indeksi jälkisolussa

Laji	LPT	Kosteus	Ca	K	Mg	P	Na	Cl	S	Cu	Mn	Zn	Fe	DCAD meq	GT indeksi
			g kg ka ⁻¹						mg kg ka ⁻¹						
TT	Kylmä	Kuiva	10.8	34.3	2.03	1.99	0.10	1.59	2.45	7.4	40	22	431	684	1.27
		Optimi	11.7	27.6	2.09	2.15	0.08	1.33	2.74	7.5	46	30	473	501	0.94
		Märkä	9.2	34.8	2.00	3.09	0.10	1.42	3.21	8.3	39	23	448	654	1.42
	Normaali	Kuiva	9.6	24.7	1.61	1.58	0.05	1.17	2.25	5.7	35	23	430	461	1.04
		Optimi	10.1	26.8	1.98	1.92	0.05	1.06	2.66	7.4	46	30	510	492	1.04
		Märkä	7.5	32.2	1.77	3.04	0.06	1.13	3.05	9.4	51	29	521	602	1.58
	Kuuma	Kuiva	10.4	28.0	1.77	1.78	0.05	1.36	2.47	5.8	48	23	437	527	1.08
		Optimi	8.4	32.3	1.94	2.13	0.05	1.37	2.36	6.9	52	26	453	643	1.42
		Märkä	7.9	36.3	2.03	3.21	0.07	1.23	2.92	10.0	55	29	498	715	1.65
NN	Kylmä	Kuiva	10.2	33.2	1.67	1.97	0.10	1.57	2.52	6.8	38	22	430	651	1.28
		Optimi	9.8	37.9	2.27	2.20	0.13	1.77	2.79	7.9	37	17	420	750	1.43
		Märkä	10.0	33.8	1.89	3.03	0.11	1.40	3.60	8.1	39	24	437	604	1.33
	Optimi	Kuiva	8.8	31.8	2.17	1.66	0.10	1.72	2.35	6.9	30	14	413	623	1.32
		Optimi	8.2	34.4	2.22	2.03	0.10	1.47	2.75	7.4	33	18	433	671	1.49
		Märkä	8.5	35.0	2.00	2.56	0.10	1.45	3.31	8.0	42	20	430	651	1.53
	Kuuma	Kuiva	9.7	35.8	2.36	2.01	0.10	1.81	2.73	7.2	40	16	423	699	1.36
		Optimi	9.3	39.2	2.67	2.51	0.09	1.76	2.88	8.8	45	19	436	778	1.47
		Märkä	8.8	39.2	2.56	2.82	0.10	1.98	3.29	10.1	53	20	431	745	1.54
Keskiarvo			9.4	33.2	2.06	2.31	0.08	1.48	2.79	7.7	43	22	447	633	1.35
SEM			0.62	1.72	0.104	0.124	0.010	0.094	0.176	0.36	4.0	1.9	1.9	37	0.075
P-arvot	Laji			***	***		***	***	**	*	**	***	***	***	***
	LPT		***	*	*	0	***	***			***			***	**
	Laji*LPT				***		0	**		**		*	**		
	Kosteus		**	**	**	***			***	***	**	**	***	*	***
	Laji*Kosteus		*	**		**				**		*	***	**	***
	LPT*Kosteus									**			**	*	*
	Laji*LPT*Kosteus				0			*		*		0	**	*	*

SEM = keskiarvon keskiarvo; tilastolliset merkitsevyydet: *** (P < 0.001), ** (P < 0.01), *(P < 0.05) ja 0 (P < 0.10); LPT = lämpötila

Tulosten tarkastelu

Lämpötilan ja maan kosteuden nousu lisäsivät odotetusti kuiva-ainesadon määrää molemmissa niitoissa kummallakin kasvilla. Märkä maa tuotti yli 25 % korkeamman sadon kuin kuiva maa kylmissä olosuhteissa, mutta sato jäi silti alle puoleen siitä, mitä kuuma ja märkä kasvuolosuhde tuottivat. Viileän ilmaston sopeutuneiden nurmikasvien versojen kasvulle optimaalinen lämpötila on 18–24 °C ja juurien kasvulle 10–18 °C (Paulsen 1994). Vaikka varsinkin timotei on selvästi viileän ilmaston kasvi, sen uudet eteläisen tyyppin lajikkeet ovat lämpötilan suhteen joustavampia. Satotulosten perusteella tässä kokeessa ei luultavasti syntynyt merkittävää kuumuudesta johtuvaa stressiä, vaan kuumatkin olosuhteet olivat vielä optimivaihtelun yläpäässä, mikä oli stressijakson pituuteen suhteutettuna hieman yllättävää. Ilmeisesti uudet lajikkeet pystyvät hyödyntämään pitkäänkin jatkuvaa korkeaa lämpötilaa, mutta vain kun vettä on runsaasti saatavilla. Kokeessa käytetty optimikosteus (50–70% kenttäkapasiteetista) lienee lähempänä pelto-olosuhteita ja niissä olosuhteissa kuumuuden aiheuttama stressi vähensi satoa. Kasvustasioiden koko suhteessa loppukasvatusvaiheen kasvuston ja juurimassan määrään (silämääräinen havainto) saattoi rajoittaa kasvua suotuisimmissa kasvuolosuhteissa, joten tavoiteltua liian märkyyden aiheuttamaa stressiä ei tässä kokeessa ehkä täysin saavutettu.

Kuivuus ei yleensä nopeuta kasvin kehittymistä tai vanhenemista, mutta kun kuivuus yhdistyy kuumuuteen, rehuarvo laskee tavallista nopeammin nimenomaan lämpötilan vaikutuksen vuoksi (Fales ja Fritz 2007). Tämä näkyi myös tässä kokeessa: lämpötilan ja maan kosteuden nousu heikensivät odotetusti sulavuutta sekä ensimmäisessä että jälkiasadossa (Taulukot 2 ja 4). Sadon D-arvoon vaikuttavat samanaikaisesti sekä päivittäinen lämpötila että tehoisan lämpösumman kertymä kasvatuspäivien lukumäärän ollessa sama. Lämpösumman kasvaminen alensi voimakkaasti D-arvoa ensimmäisessä sadossa (Taulukko 2). Myös jälkiasadossa D-arvo laski lämpösumman kasvaessa, mutta ei niin voimakkaasti kuin ensimmäisessä sadossa. Tulokset ovat yhteneväisiä kenttäkokeista tehtyjen havaintojen kanssa (Pulli 1980). Maan kosteuden vaikutus D-arvoon on mielenkiintoinen ja vaatii lisätutkimuksia. Selvitettäessä D-arvon vaihtelua lohkon sisällä maan kosteuden vaihtelut ja niiden vaikutus on aiheitta ottaa entistä tarkemmin huomioon. Kasvuston raakavalkuaispitoisuus vastasi kentällä tehtyjen kokeiden pitoisuuksia eli kasvusto ei kärsinyt typen (N) puutteen aiheuttamasta stressistä, vaikka suuremman sadon aiheuttama N-pitoisuuden laimennusvaikutus oli havaittavissa (Taulukot 2 ja 4; Termonen ym. 2020).

Kun tarkastellaan pelkistävien sokereiden pitoisuutta stressi-indikaattorina, suurin stressitekijä oli kuivuus, vaikka myös kylmyys rajoitti sadonmuodostusta ja nosti sokeripitoisuutta. Tässä kokeessa sokereiden määrä oli jälkiasadossa korkeimmillaan normaalilämpötilassa, kun kuivuus rajoitti kasvua. Normaali ja kuuma tuottivat samanlaisen sadon, mutta kuumuus todennäköisesti hidasti yhteyttämistä ja kiihdytti soluhengitystä, mikä alensi sokeripitoisuutta (Fales ja Fritz 2007). Jos yhteyttäminen on huonojen olosuhteiden takia tehokkaampaa kuin kasvu, osa sokereista muutetaan fruktaaneiksi ja varastoidaan solun sisäisiin vakuoleihin (Virkajärvi ym. 2012). Kun olosuhteet muuttuvat suotuisemmaksi, esimerkiksi kuivuuden jälkeen tulee sade tai kylmän jakson jälkeen ilma lämpenee, sokerivarastot puretaan nopeaan kasvuun. Nurmikasvien sokeripitoisuudella on merkitystä kasvien kasvun lisäksi myös nurmirehun säilyvyyden kannalta (Davies ym. 1998).

Kuivissa olosuhteissa kasvien fosforin saanti vaikeutuu, koska fosforia liukenee maasta heikosti. Tässäkin kokeessa lisääntyvä kosteus suosi lämpötilasta riippumatta molempien kasvien fosforinottoa (Kuva 3). Kasvusto myös näyttää ottavan fosforia ainakin hetkellisesti yli tarpeensa, ja nurminadalla tämä korostui jälkiasadossa erityisesti kylmissä ja märissä olosuhteissa. Koska kylmässä kasvu oli rajoittunutta, kyse ei ollut välittömästi sadonmuodostukseen tarvittavasta fosforista. Lämpötilan nousun vaikutus fosforin ottoon ei tässä kokeessa ollut merkittävä toisin kuin esimerkiksi ohralla, jolla aiemmissa suomalaisissa kokeissa kylmyys on vaikeuttanut fosforin ottoa (Ylivainio ja Peltovuori, 2018). Kasvilaji ja maan kosteus vaikuttivat myös kaliuminottoon. Erityisesti nurminadan K-pitoisuus nousi jälkiasadossa kuumissa ja kosteissa olosuhteissa haitallisen korkeaksi (Rérat ym. 2009). Kasvien DCAD -pitoisuus oli kauttaaltaan korkea (Huuskonen 2016). Rehun korkea DCAD-arvo ja samaan aikaan alhainen Mg sekä S – pitoisuus lisäävät poikimahalvausriskiä (Järvenranta 2019). GT-indeksi sen sijaan oli alle riskirajan (Pelletier ym. 2008).

Kuivuudenkestävyyden kehittäminen on tärkeä jalostuksen tavoite nurmikasveilla. Toinen keino pitää yllä nurmen sadontuottoa on kastelu (sadetus, säätösalaajitus). Kuumina ja kuivina kesinä kastelu voisi jopa kaksinkertaistaa jälkiasadon määrän. Lisätietoa kaivataan nurmikasvien metaboliasta stressitilanteissa sekä juurten stressifysiologiasta. Kasvufysiologiasta ja kehityksestä tulisi tunnistaa hetket, joilla on sadon- ja laadun kannalta suurin merkitys. Kiinnostavaa olisi myös tarkastella peltomittakaavassa kastelun vaikutusta nurmen ravinnetalouteen, hiilensidontaan erityisesti kivennäismailla sekä ympäristökuormituksen muodostumiseen.

Johtopäätökset

Normaalista poikkeavat lämpötila ja kosteusolosuhteet aiheuttavat muutoksia nurmikasvien sadonmuodostukseen sekä koostumukseen. Kuivuus aiheutti voimakasta stressiä, mikä näkyi sekä sadon määrässä, rehuarvossa että kivennäiskoostumuksessa molemmissa sadoissa molemmilla kasvilajeilla. Myös kylmyys rajoitti voimakkaasti sadontuottoa maan kosteudesta riippumatta. Sen sijaan kuumuuden aiheuttama stressi riippui maan kosteudesta. Ilmeisesti uudet timotei- ja nurminatalajikkeet pystyvät hyödyntämään pitkäänkin jatkuvaa korkeaa lämpötilaa, mutta vain kun vettä on runsaasti saatavilla. Kokeen optimikosteuskäsittely vastanee pelto-olosuhteita ja silloin kuumuuden aiheuttama stressi vähensi satoa. Lämpötilasta riippumatta kasvit ottivat fosforia sitä enemmän mitä kosteampi maa oli ja näyttivät ottavan sitä yli hetkellisen tarpeensa. Poikkeavien sääolosuhteiden aiheuttamat muutokset rehun koostumuksessa ovat merkittäviä ja ne tulee huomioida ruokinnan suunnittelussa.

Kiitokset

VarmaNurmi hanketta rahoittivat Euroopan Maaseuturahasto (EMR), Yara Suomi Oy, Hankkija Oy, Maitosuomi, Elho Oy, Olvi säätiö sekä Maatalouskoneiden tutkimussäätiö. Kiitokset MMT Tapio Salolle ja Kari Ylivainiolle astiakokeiden lannoitusmäärien pohdinnasta.

Kirjallisuusviitteet

- Davies, D.R., Merry, R.J., Williams, A.P., Bakewell, E.I., Leemans, D.K & Tweed, J.K.S. 1998. Proteolysis during ensilage of forages varying in soluble sugar content. *Journal of Dairy Science* 81: 444–453. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75596-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75596-1)
- Fales, S.L. & Fritz, J.O. 2007. Factors affecting forage quality. In: Barnes, R.F., Nelson, C.J., Moore, K.J. & Collins, M. (toim.) *Forages: the science of grassland agriculture*. 6th ed. Blackwell Publishing, Oxford, UK. s. 569–580.
- Järvenranta, K. 2019. Nurmirehun kivennäisainetasapaino ja siihen vaikuttavat tekijät. In: Hyrkäs, M. (toim.). *Nurmet rahaksi! NuRa-hankkeen (2015–2019) tulospöytäkirja*. Luonnonvara ja biotalouden tutkimus 17/2019. Luonnonvarakeskus.
- Loka, D., Harper, J., Humphreys, M., Gasior, D., Wootton-Beard, P., Gwynn-Jones, D., Scullion, J., Doonan, J., Kingston-Smith, A., Dodd, R., Wang, J., Chadwick, D., Hill, P., Jones, D., Mills, G., Hayes, F. & Robinson, D. 2019. Impacts of abiotic stresses on the physiology and metabolism of cool-season grasses: A review. *Food Energy Security* 8: e00152. <https://doi.org/10.1002/fes3.152>
- Okamoto, H., Ishii, K. & An, P. 2011. Effects of soil moisture deficit and subsequent watering on the growth of four temperate grasses. *Grassland Science*. 57:192–197. <https://doi.org/10.1111/j.1744-697X.2011.00232.x>
- Paulsen, G.M. 1994. High temperature responses of crop plants. In: Boote, K.J., Bennett, J.M., Sinclair, T.R. & Paulsen, G.M. (toim.). *Physiology and determination of crop yield* Madison, WI: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. s. 365–389. <https://doi.org/10.2134/1994.physiologyanddetermination.c25>
- Pelletier, S., Bélanger, G., Tremblay, G.F., Virkajärvi, P. & Allard, G. 2008. Timothy mineral concentration and derived indices related to cattle metabolic disorders: A review. *Canadian journal of Plant Science* 88: 1043–1055. <https://doi.org/10.4141/CJPS08082>
- Pulli, S. 1980. Growth factors and management technique used in relation to the developmental rhythm and yield formation pattern of a pure grass stand. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 52: 281–330. <https://doi.org/10.23986/afsci.72036>
- Rérat, M., Philipp, A., Hess, H.D. & Liesegang, A. 2009. Effect of different potassium levels in hay on acid-base status and mineral balance in periparturient dairy cows *Journal of Dairy Science* 92: 6123–6133. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2449>
- Termonen, M., Korhonen, P., Kykkänen, S., Kärkönen, A., Toivakka, M., Kauppila, R. & Virkajärvi, P. 2020. Effects of nitrogen application rate on productivity, nutritive value and winter tolerance of timothy and meadow fescue cultivars. *Grass and Forage Science* 75:111–126. <https://doi.org/10.1111/gfs.12461>
- Ylivainio, K. & Peltovuori, T. 2018. Phosphorus acquisition by barley (*Hordeum vulgare* L.) at suboptimal soil temperature. *Agricultural and Food Science* 12: 453–461. <https://doi.org/10.23986/afsci.6389>