

TALINISU SAAGIKUS, SAAGI KVALITEET JA KÜPSETUSOMADUSED SÖLTUVALT LÄMMASTIKU NING VÄÄVLIGA VÄETAMISEST

Malle Järvan^{1*}, Lea Lukme², Ann Akk², Liina Edesi¹, Ando Adamson¹

¹ Eesti Maaviljeluse Instituut, taimekasvatuse osakond, Teaduse 13, Saku 75501

² Põllumajandusuuringute Keskus, taimse materjali labor, Teaduse 4/6, Saku 75501

*e-mail: malle.jarvan@eria.ee

ABSTRACT. *The present study is based on the field trials conducted on break-stony soil during 2004–2008. The objective of this work was to investigate the effect of sulphur fertilization on the grain yield, quality and baking properties of winter wheat (*Triticum aestivum*). Sulphur was applied with NS-fertilizer Axan at the rate of S 10–13.6 kg ha⁻¹ accompanied with nitrogen background of N 100 kg ha⁻¹, which effect was compared to effect of ammonium nitrate at the same rate of N. The rates of N- and NS-fertilizers were divided into two portions and applied at the beginning and at the end of tillering.*

Sulphur application increased the grain yield as the average of four years by 21.7%. But, with the increasing yields under influence of sulphur, the protein and wet gluten concentrations in grains decreased. However, sulphur supply increased significantly the quality of wet gluten because the gluten index – a measure of gluten strength – rose by 27.6% as the average of four years. Although sulphur application in many cases decreased protein and wet gluten content in wheat grain significantly, it improved the biological quality of protein because the amino acids concentration in protein increased as the average of four years as follows: methionine – 28%, cysteine – 20%, threonine – 11% and lysine – 8%. Due to sulphur fertilization all major parameters of winter wheat's baking quality improved: stability and quality number of dough, loaf volume and specific volume, round loaf's height to diameter ratio, and porosity of bread.

Keywords: *sulphur fertilization, winter wheat, yield, protein, wet gluten, amino acids, baking properties.*

Sissejuhatus

Veel mõnikümmend aastat tagasi esines põllukultuuridel väävlipuudust harva. Tänapäeval aga – seoses vääveldioksiidi olulise vähenemisega atmosfääris ja väetiste sortimendi muutumisega – on väävel saanud üheks põhiliseks taimekasvatustoodangut limiteerivaks toitaineiks (McGrath, 2003; Loudet, 2008; Reinbold *et al.*, 2008). Üha suuremal määral leiab kajastamist väävlipuuduse mõju taimede kasvule ja saagikusele, uuritud on ka väävlivaeguses kasvanud nisu omadusi ja sobivust toodete valmistamiseks (MacRitchie, Gupta, 1993; Reinbold *et al.*, 2008).

Väävli olulisust nisu kasvatamisel rõhutavad paljud teadusuuringud (Randall *et al.*, 1990; Zhao *et al.*, 1999; McGrath, 2003; Järvan *et al.*, 2006; Weber *et al.*, 2008; Mars, 2009). Enamasti on leitud, et väävliga väetamine suurendas paralleelselt nii saagikust kui saagi kvaliteeti (Byers, Bolton, 1979; Podlesna, Cacak-Pietrzak, 2008;

Habtegebrial, Singh, 2009; Mars, 2009), kuid mõnel puhul on saagi suurenemisega kaasnunud terade proteiinisalduse vähenemine (Järvan *et al.*, 2006; Weber *et al.*, 2008). On ilmnud ka, et mulla omadustest ja ilmastiku tingimustest sõltuvalt võib talinisu saagikuse ja proteiinisalduse vaheline korrelatsioon olla kas negatiivne või positiivne (Järvan *et al.*, 2009).

Taimede toitumises on väävel kogu taime kasvuperioodi jooksul tihedalt seotud lämmastikuga (Fitzgerald *et al.*, 1999; Flaete *et al.*, 2005; Thomason *et al.*, 2007). Kui tegemist on nende toiteelementide optimaalsete kasutusnormidega, on suhted sünergistlikud, st mõlemad elemendid soodustavad teineteise omastamist. Kui aga üht nendest elementidest on liiga suure kontsentratsioon, hakkab see teise elemendi omastamist pärsima ning võib seeläbi saagikust vähendada ja saagi kvaliteeti halvendada (Järvan, 2008). Väävli kättesaadavus mõjutab oluliselt proteiini kvaliteeti, sest väävel kuulub paljude tähtsate ühendite, nagu tsüsteiini, metioniini, koensüümide, sulfolipiidide jt, koostisesse (Aulakh, 2003; Singh, 2003; Loudet, 2008). On leitud, et väävli toimel kiireneb valkude ainevahetusrada ja suureneb väävlit sisaldavate aminohapete – metioniini ja tsüsteiini – sisaldus proteiinis (Byers, Bolton, 1979; Wrigley *et al.*, 1980; Granvogl *et al.*, 2008; Reinbold *et al.*, 2008; Habtegebrial, Singh, 2009). Kui väävli kättesaadavus on piiratud, soodustab see väävlivabade või madala väävlisisaldusega reservvalkude moodustumist väävlirikaste valkude arvel. Proteiini erinevad fraktsioonid teatavasti aga mängivad tähtsamat rolli küpsetusomaduste kujunemisel. Gliadiinidest ja gluteeniinidest, mis moodustavad 80–85% jahu kogu proteiini, sõltuvad nisujahu funktsionaalselt tähtsad omadused, mis annavad taigale elastsuse ja venivuse (Kuktaite, 2004). Nisujahu tehnoloogilised omadused ja valmistoote kvaliteet olenevad kleepvalgu kvaliteedist, mida omakorda on võimalik mõjutada väävli kättesaadavusega (Randall, Wrigley, 1986; Zhao *et al.*, 1999; Koehler *et al.*, 2004). Mitmed uurimused (Zhao *et al.*, 1999; McGrath, 2003) kinnitavad, et nisu küpsetuskvaliteeti mõjutab niivõrd mitte lämmastiku kontsentratsioon terades kui just väävli kontsentratsioon.

Poolas läbiviidud talinisu väetuskatsetes selgus, et parimate tehnoloogiliste omadustega terasaak saadi, kui väetamisel lämmastiku ja väävli vahekord (N : S) oli 8–10.5 : 1 (Podlesna, Cacak-Pietrzak, 2008). Sellisel juhul suurenes proteiini ja kleepvalgu kontsentratsioon terades ning ühtlasi avaldus positiivne mõju mitmele taigna kvaliteedi parameetritele – nagu moodustumise aeg, stabiilsus, pehmenemise aste ja kvaliteedinumber. Ka meie 10-variandilistes, N ja S erineva vahekorraga väetuskatsetes, mida mitmel aastal korraldati Eesti erinevates mullastik- ja kliimatilistes tingimustes, selgus, et talinisu suurimad

saagid saadi variantides, kus pealtväetamisel anti lämmastikku ja väävlit vahekorras 10 : 1 (Järvan, Adamson, 2005; Adamson, Järvan, 2006). Käesolevas artiklis on vaatluse alla võetud väävliga väetamise mõju talinisu saagi kvaliteedile, aminohappelisele koostisele ja küpsetusomadustele just sellise N : S vahekorra puhul.

Materjal ja meetodika

Käesoleva töö alus on põldkatsed, mis korraldati Sakus talinisu sordiga 'Lars' aastail 2004–2008. Katsed viidi läbi Üksnurmes külvikorraldajal. Talinisu eelnes varajane punane ristlik, mis pärast seemne koristamist mulda künti. Katsed paiknesid rähkmullal – *Calcaric Cambisoi* (FAO–UNESCO, 1994), mille agrokeemilised näitajad olid järgmistes piirides: pH_{KCl} 6.6–7.2, C_{org} 1.9–2.3%, P 90–116 mg kg⁻¹ (Egner-Riehm, DL-meetod), K 168–206 mg kg⁻¹ (DL), Ca 2040–2320 mg kg⁻¹ (Egner-Riehm-Domingo, A-L meetod), Mg 52–87 mg kg⁻¹ (A-L). Veelahustuva väävlis (ISO 11048) sisaldus mullas kevaditi, vegetatsiooniperioodi algul oli S 6–12 mg kg⁻¹. Kuna mulla fosfori- ja kaaliumisisaldus oli kõrge, siis 2004. ja 2005. aasta talinisu ei antud külvi eel mineraalväetist; 2007. ja 2008. aasta talinisu alla anti sügisel kompleksväetisega N12 P26 K50 S15 kg ha⁻¹.

Põldkatses oli kümme varianti, milles uuriti erinevate väävlis sisaldavate väetiste, väävlis andmise aegade ja kasutusnormide mõju N100 foonil. Käesolevas töös on nendest vaatluse alla võetud kolm järgmist varianti: 0- ehk väetamata variant; N-variant ehk ammoniumsalpeetrina N 100 kg ha⁻¹; NS-variant, milles anti Axaniga N100 S10 kg ha⁻¹ (2004. ja 2005. aastal) ja Axan Superiga N100 S13.6 kg ha⁻¹ (2007. ja 2008. aastal). Väetisnorm jaotati kaheks annuseks ning külvati katselappidele talinisu võrsumise alg- ja lõppfaasides, see on arenguastmetes 21–22 ja 25–30 (Zadocks *et al.*, 1974). Katsed viidi läbi 25 m² suurusel katselappidel neljas korduses. Kasvuperioodide ilmastiku andmed on esitatud tabelis 1. Sademed ja õhutemperatuur registreeriti katsepõldude vahetus läheduses paikneva mõõteaparatuuriga.

Tabel 1. Kasvuperioodide keskmised õhutemperatuurid ja sademed Sakus aastail 2004–2008 ning pikaajalised keskmised Jõgeval (1922–2009)

Table 1. Mean air temperature and precipitation for growing seasons 2004–2008 at Saku, and long-term average at Jõgeva (1922–2009)

Kuu/Month	2004	2005	2007	2008	Keskmine Average
Keskmine õhutemperatuur / Air temperature, °C					
Mai/May	9.5	9.7	10.8	8.8	10.2
Juuni/June	12.4	13.0	15.1	13.2	14.4
Juuli/July	15.7	17.2	16.2	15.3	16.7
August	16.3	15.7	17.3	14.1	15.3
Mai–august/May–August	13.5	13.9	14.8	12.8	14.2
Sademed/Precipitation, mm					
Mai/May	35	47	27	10	50
Juuni/June	75	39	8	96	66
Juuli/July	218	82	42	53	81
August	48	136	75	161	87
Mai–august/May–August	376	304	152	320	284

Saagid koristati kombainiga, kuivatati, sorteeriti ning arvestati 86% kuivainele. Võeti teraproovid variantide kõikidelt kordustelt, millest Põllumajandusuuringute Keskuses määrati igäühes eraldi esmased kvaliteedinäitajad (langemisarv, proteiini- ja kleepvalgusisaldus, gluteenindeks). Aminohapete määramiseks koostati iga variandi kohta keskmine teraproov, millest laboris tehti analüüsid kolmes korduses. Talinisu küpsetusomaduste määramise ja prooviküpsetuste tegemise jaoks võeti katsevariandi iga korduse saagist keskmine teraproov mahuga á 1.5 liitrit ning ühendati koonddprooviks massiga ~4 kg.

Teravilja kvaliteedianalüüsid ja prooviküpsetused viidi läbi Põllumajandusuuringute Keskuse taimse materjali laboris. Proteiin määrati AOAC 2001.11 järgi. Märja kleepvalgu sisaldus ja kvaliteet määrati ICC Standard No. 155:1994 järgi. Märj kleepvalk eraldati nisušrotist Glutomatic seadmega, saadud kogust nimetatakse märja kleepvalgu sisalduseks. Kleepvalgu kogust tsentrifuugiti ettenähtud tingimustel läbi erikonstruktsiooniga sõela. Sõelale jäänud märja kleepvalgu suhet kogu kleepvalku nimetatakse gluteenindeksiks ja see iseloomustab märja kleepvalgu kvaliteeti. Langemisarv määrati EN ISO 3093:2009 järgi. Aminohapete määramiseks kasutati meetodeid EVS-EN ISO 13903:2005 ja HPLC UV (Perkin Elmer LC System).

Küpsetuskatsed viidi läbi etapiviisiliselt. Kõigepealt toimus laborile küpsetusomaduste määramiseks esitatud teraproovide jahvatamiseks ettevalmistamine. Terad jahvatati laboratoorse veskiga QC 109. Jahudel lasti teatud aeg laagerduda. Seejärel määrati jahu kvaliteedinäitajad: niiskus vastavalt EVS-EN ISO 712:2010 või PMK/TML 1:2005; toorproteiini sisaldus vastavalt AOAC 2001.11 või infrapuna analüsaator Infratec NIT 1275 Analüseriga; langemisarv vastavalt EN ISO 3093: 2009; märja kleepvalgu sisaldus ja kvaliteet vastavalt ICC 155:1994. Taigna küpsetusomaduste määramine toimus Farinograaf Brabender seadme abil vastavalt ICC 115/1:1992. Taigna staadiumis määrati jahu veesidumisvõime %-des, taigna moodustumise aeg minutites, taigna stabiilsus minutites, taigna pehmenemisaste FU-des ja kvaliteedinumber (Maslov *et al.*, 1960; Põld, Maasing, 1971). Järgnes taigna valmistamine retseptuuri järgi, taigna tükeldamine, vormimine ja küpsetamine. Valmistootte ehk saia staadiumis määrati pätsi ruumala, eriruumala ning eriruumala ja proteiini suhe, ümara toote kõrguse ja diameetri suhe, sisu poorsus 1 : 10 ja poorsus %-des (Maslov *et al.*, 1960; Põld, Maasing, 1971).

Saagikuse ja keemiliste analüüside tulemuste statistiline analüüs tehti andmetöötlusprogrammiga JMP 5.0.1 (SAS Institute, Cary, N.C.), kasutades Tukey-Krameri testi (HSD).

Tulemused ja arutelu

Katseala mullas oli liikuva väävlis (S) sisaldus kõikidel aastatel madal – taimekasvu algul vaid 10 mg kg⁻¹ ringis. Talinisu pealtväetamisel koos lämmastikuga antud väävel osutus eriti efektiivseks 2004. aasta tingimustes, mil väävlis vabanemine mulla varudest oli väga jaheda varakevade tõttu tõenäoliselt pidurdunud. Sel aastal saadi Axaniga (N60 S6 + N40 S4 kg ha⁻¹) väetamisega 1.48 t ha⁻¹ ehk 43.0% suurem saak kui ammonium-

salpeetriga (N60 + N40 kg ha⁻¹) väetamisel (tabel 2). 2005. aastal suurenes saagikus väävlil mõjul 15.7% ja 2008. aastal – 28.6%. 2007. aastal korraldati Sakus kaks identset katset erinevatel külvikorraväljadel, kus mullarim oli küll sama (rähkmuld), kuid mõnevõrra erinevad olid mulla agrokeemilised näitajad – pH, P- ja K-sisaldused. 2007. aasta katsete tulemused olid peaaegu ühesugused – N-variantis oli talinisu saagikus 63.1–66.5% suurem ja NS-variantis 70.6–73.1% suurem kui väetamata variantis. Selle aasta ülimalt põuastes tingimustes ei avaldanud väävel usaldusväärset mõju talinisu saagikusele. Sakus rähkmullal läbi viidud viie põldkatse keskmisena suurenes talinisu saagikus väävliga väetamise mõjul 0.96 t ha⁻¹ võrra ehk 17.6%.

Talinisu langemisarv vastas toidunisu esitatavatele nõuetele 2004., 2007. ja 2008. aasta kõikides katsevariantides. N- ja NS-variantides oli langemisarv kahel aastal kõrgem kui väetamata variantis. 2005. aasta talinisu saagi erakordselt madala langemisarvu peapõhjuse oli see, et sagedased vihmahood ei võimaldanud õigeaegset koristamist ja osa teri kippus peas kasvama hakkama. Kuid nagu hilisemad kvaliteedianalüüsid ja küpsetustestid (tabel 3) näitasid, oli ka sellisest viljast võimalik saada päris normaalse kvaliteediga lõpptooted.

Suured erinevused, sõltuvalt aastast, ilmnisid nisu proteiini- ja kleepvalgusisalduses. Kui võrrelda nende sisaldusi näiteks N-variantis, milles anti N 100 kg ha⁻¹, ja kui 2004. ja 2005. aastal oli proteiinisaldus 14% ringis, siis 2007. ja 2008. aastal oli see vaid umbes 10.5%. Samasuu-

nalised ja olulised olid erinevused ka kleepvalgusisaldustes. Kuigi mõne autori (Thomason *et al.*, 2007) järgi on põua ja kõrge temperatuuri tingimustes kasvanud nisu proteiinitase tavaliselt kõrgem, ei saa seda järeldust täies ulatuses rakendada meie 2004.–2008. aasta katsete kohta. Kui võrrelda nende aastate ilmastikutingimusi, siis maist kuni augusti keskpaigani, mil nisu koristati, oli sademete hulk järgmine: 2004 – 394 mm, 2005 – 260 mm, 2007 – 95 mm ja 2008 – 270 mm. Seega, 2005. ja 2008. aasta kasvuperioodid olid normaalse sademete hulgaga, 2004. aasta oli sademerohke, 2007. aasta aga erakordselt põuane. 2004. ja 2005. aasta kevadel tuli vihma piisavalt ja regulaarselt, seetõttu oli pealtväetiste mõju kiire. Teatavasti lämmastiku kõrge omastatavus soodustab nii nisutaimede biomassi formeerumist kui ka lämmastiku viimist aminohapete kujul kasvavatesse teradesse (Wrigley *et al.*, 1980; Zörb *et al.*, 2010). Arenevad terad vajavad reservalkude sünteesimiseks lämmastikku ja väävlit, mida nad generatiivse kasvu ajal peavad saama kas väliskeskkonnast või vegetatiivsetes kudedes talletunud reservidest (Fitzgerald *et al.*, 1999). Kui väetamisel kasutatakse kõrgeid lämmastikunorme, kuid väävlit lisaks ei anta, võib see esile kutsuda väävlipuuduse, mis suuresti mõjutab terade kvaliteeti (Timms *et al.*, 2006; Grove *et al.*, 2009). Rohke lämmastikuga väetamine, samal ajal kui taimed olid väävlinaljas, on suurendanud küll proteiini üldkogust, kuid proteiini reoloogilised omadused, mis on väga olulised nisujahu küpsetuskvaliteedi seisukohalt, muutusid seejuures tublisti (Wieser *et al.*, 2004; Flaete *et al.*, 2005).

Tabel 2. N- ja NS-väetamise mõju talinisu 'Lars' saagile, saagi kvaliteedile ja aminohapete sisaldusele Sakus rähkmullal aastail 2004–2008

Table 2. The effect of N- and NS-fertilization on the grain yield, quality and content of amino acids of winter wheat on break-stony soil at Saku in 2004–2008

Näitajad <i>Properties</i>	2004			2005			2007 – I katse / <i>trial</i>			2007 – II katse / <i>trial</i>			2008			2004–2008		
	0	N	NS	0	N	NS	0	N	NS*	0	N	NS*	0	N	NS*	0	N	NS
Saak/Yield, t ha ⁻¹	3.15 ^b	3.44 ^b	4.92 ^a	4.58 ^c	5.08 ^b	5.88 ^a	3.47 ^b	5.66 ^a	5.92 ^a	3.49 ^b	5.81 ^a	6.04 ^a	3.44 ^c	7.20 ^b	9.26 ^a	3.63 ^c	5.44 ^b	6.40 ^a
Langemisarv / <i>Falling number</i> , sek	358 ^a	352 ^a	364 ^a	62 ^a	62 ^a	66 ^a	305 ^b	340 ^a	342 ^a	290 ^b	334 ^a	321 ^a	276 ^b	309 ^a	322 ^a	258	279	283
Proteiin/ <i>Protein</i> , %	10.6 ^b	14.1 ^a	11.6 ^b	11.1 ^c	13.9 ^a	13.4 ^b	7.9 ^c	10.6 ^a	10.1 ^b	7.8 ^b	10.4 ^a	10.2 ^a	7.8 ^b	10.4 ^a	10.2 ^a	9.0	11.9	11.1
Kleepvalk / <i>Wet gluten</i> , %	23.0 ^b	31.9 ^a	25.1 ^b	21.9 ^b	31.6 ^a	30.2 ^a	11.2 ^b	22.8 ^a	21.0 ^a	11.7 ^b	23.0 ^a	21.5 ^a	11.7 ^b	19.4 ^a	18.6 ^a	15.9	25.7	23.3
Gluteeniindeks / <i>Gluten index</i> , %	77 ^a	45 ^b	74 ^a	79 ^a	32 ^c	51 ^b	98 ^a	75 ^b	90 ^a	98 ^a	76 ^c	84 ^b	90 ^a	79 ^b	80 ^b	88	61	76
Sisaldus terades / <i>Content in grains</i> , g kg ⁻¹																		
CYS	2.60 ^a	2.34 ^b	2.53 ^a	2.35 ^b	2.23 ^b	2.91 ^a	1.47 ^b	1.74 ^a	1.76 ^a	1.43 ^b	1.77 ^a	1.82 ^a	1.25 ^b	1.45 ^a	1.48 ^{ab}	1.82	1.91	2.10
THRE	3.17 ^a	3.73 ^a	3.75 ^a	2.82 ^{ab}	2.74 ^b	3.40 ^a	3.09 ^b	4.03 ^a	3.90 ^a	3.13 ^b	3.97 ^a	4.08 ^a	2.01 ^b	2.43 ^a	2.41 ^a	2.84	3.38	3.51
METH	2.04 ^b	1.86 ^c	2.14 ^a	1.77 ^a	1.26 ^b	1.98 ^a	1.12 ^b	1.44 ^a	1.40 ^a	1.07 ^c	1.36 ^b	1.44 ^a	0.95 ^b	1.11 ^a	1.15 ^a	1.39	1.41	1.62
LYS	4.88 ^b	5.24 ^a	4.66 ^c	3.28 ^a	3.13 ^a	3.65 ^a	2.56 ^a	2.77 ^a	2.53 ^a	2.42 ^b	2.71 ^a	2.65 ^{ab}	2.68 ^b	3.17 ^{ab}	3.44 ^a	3.16	3.40	3.39
Sisaldus proteiinis / <i>Content in protein</i> , g kg ⁻¹																		
CYS	24.5	16.6	21.8	21.2	16.0	21.7	18.6	16.4	17.4	18.3	16.8	18.2	16.2	13.9	14.6	19.8	15.9	18.7
THRE	29.9	26.7	32.3	25.4	19.7	25.4	39.1	38.0	38.6	40.1	37.8	40.8	25.8	23.4	23.6	32.1	29.1	32.1
METH	19.2	13.2	18.4	15.9	9.1	14.8	14.2	13.6	13.9	13.7	13.0	14.4	12.2	10.7	11.3	15.0	11.9	14.6
LYS	46.0	37.2	40.2	29.5	22.5	27.2	32.4	26.1	25.0	31.0	25.8	26.5	34.5	29.1	31.5	34.7	28.1	30.1
Hektari kohta / <i>From hectare</i>																		
proteiini/ <i>protein</i> , kg ha ⁻¹	334	485	571	508	706	788	274	600	598	272	604	616	268	745	945	331	628	704
LYS, kg ha ⁻¹	15.4	18.0	23.0	15.0	15.9	21.4	8.9	15.7	15.0	8.4	15.6	16.3	9.2	21.7	29.8	11.4	17.4	21.1

Katsevariantid/Treatments: 0 – väetamata / without fertilizer; N – ammooniumsalpeeter / ammonium nitrate, N 100 kg ha⁻¹; NS – Axan, N100 S10 kg ha⁻¹;

NS* – Axan Super, N100 S13.6 kg ha⁻¹.

Aminohapped / Amino acids: CYS – tsüsteiin/cysteine; THRE – treoniin/threonine; METH – metioniin/methionine; LYS – lüsiin/lysine.

Erinevate ülaindeksitega väärtused on tabeli rea ja aasta ulatuses usutavalt erinevad ($P < 0.05$). / The values with different letters are significantly different ($P < 0.05$).

Tabel 3. N- ja NS-väetamise mõju Sakus rähkmullal kasvatatud talinisu 'Lars' küpsetusomadustele aastail 2004–2007
Table 3. The effect of N- and NS-fertilization on the baking properties of winter wheat growing on break-stony soil at Saku in 2004–2007

Näitajad Properties	2004			2005			2007 – I katse / trial			2007 – II katse / trial			2004–2007		
	0	N	NS	0	N	NS	0	N	NS*	0	N	NS*	0	N	NS
JAHU/FLOUR															
Langemisarv Falling number, sek	358	412	371	67	91	84	295	316	325	315	350	340	259	292	280
Proteiin/Protein, %	9.5	12.3	10.4	9.0	12.2	11.7	6.9	9.4	9.0	6.8	9.2	9.0	8.1	10.8	10.0
Kleepvalk / Wet gluten, %	25.9	31.8	28.6	22.3	33.3	31.8	13.0	23.6	22.3	15.6	24.4	22.2	19.2	28.3	26.2
Gluteenindeks Gluten index, %	76	49	79	90	48	78	95	69	94	93	91	89	88	64	85
TAIGEN/DOUGH															
Veesidumisvõime 14% niiskuse juures / Water absorption, %	59.0	62.6	60.0	54.2	62.2	57.9	53.8	58.0	56.3	52.0	57.3	54.6	54.8	60.0	57.2
Taigna moodustumise aeg Development time, min	3.0	2.5	2.4	2.5	2.5	3.0	1.2	1.9	1.9	1.0	2.0	1.5	1.9	2.2	2.2
Stabiilsus/Stability, min	3.4	3.8	5.1	1.6	1.6	4.0	3.6	3.6	4.2	2.1	4.0	2.9	2.7	3.2	4.0
Pehmenemise aste Degree of softening	97	70	76	154	154	120	111	103	100	124	102	135	122	107	108
Kvaliteedinumber Quality number	52	50	59	31	32	49	23	33	37	20	35	27	32	38	43
SAUBREAD															
Ruumala / Volume, cm ³	1,468	1,457	1,414	1,510	1,604	1,765	1,244	1,597	1,561	1,029	1,585	1,473	1,313	1,561	1,553
Eriuumala Specific volume, cm ³ g ⁻¹	3.78	3.69	3.57	3.95	4.14	4.58	3.38	4.32	4.21	2.79	4.23	4.00	3.48	4.10	4.09
Eriuumala: proteiin Specific volume: protein	0.40	0.30	0.34	0.44	0.34	0.39	0.49	0.46	0.47	0.41	0.46	0.45	0.43	0.39	0.41
Kõrgus: diameeter Height: diameter	0.40	0.33	0.40	0.45	0.40	0.54	0.41	0.37	0.45	0.36	0.38	0.47	0.40	0.37	0.46
Poorsus 1:10 / Porosity	4	2	3	2	1	3	6	4	6	4	5	6	4.0	3.0	4.5
Poorsus/Porosity, %	76	76	72	83	86	81	79	80	81	76	80	79	78	80	78

0 – väetamata / without fertilizer; N – ammoniumsalpeeter / ammonium nitrate, N 100 kg ha⁻¹; NS – Axan, N100 S10 kg ha⁻¹; NS* – Axan Super, N100 S13.6 kg ha⁻¹.

Meie 2004. ja 2005. aasta katsetes lämmastik koguses N 100 kg ha⁻¹ suurendas talinisu saagikust vaid 9–11%, kuid mõjutas oluliselt proteiinisaldust ja koostist. Lämmastiku mõjul suurenes terade proteiinisaldus nendes katsetes vastavalt 33 ja 25% ning kleepvalgusisaldus 39 ja 44%. Samal ajal halvendas ühekülgne lämmastikuga väetamine proteiini kvaliteeti. Proteiini degradatsiooni esimene märk oli gluteenindeksi väärtuse vähenemine – N-variandis oli see 42 ja 59% võrra madalam kui väetamata variandis. Lämmastikuga väetamine põhjustas olulisi muutusi ka mõne aminohappe sisaldustes.

2007. aastal valitses tugev põud kevadest alates kuni juuli keskpaigani. Seetõttu ei suutnud talinisu taimed pealtväetistega antud toitaineid kätte saada. Terade moodustumise ja valmimise ajal oli taimede kasutuses lämmastikku ja väävlit tõenäoliselt liiga vähe selleks, et sünteesida proteiini normaalsel määral. Sellel aastal piirdus proteiinisaldus N-variandis vaid 10.6%-ga ja NS-variandis 10.1%-ga, kleepvalgusisaldused olid vastavalt 22.8% ja 21.0%.

2008. aasta katses olid talinisu proteiini- ja kleepvalgusisaldus enam-vähem samal tasemel kui 2007. aastal. Nende madala sisalduse põhjusi võis olla mitu. Esiteks ilmastik, mis oli kuni juuni keskpaigani suhteliselt kuiv. Seetõttu ei saanud tahkes vormis antud pealtväetised piisavalt mõjule pääseda. Teiseks, nisu valmimise faasis valitsesid jahedad, pilvised ja vihmased ilmad, ka see võis proteiini sünteesile negatiivselt mõjuda. Kolmas madala proteiinisalduse põhjus võis olla

proteiini nn lahjenemise efekt, sest sel aastal oli talinisu saagikus märksa kõrgem kui eelmistel aastatel. Thomason *et al.* (2007) järgi on nisu saagikus ja proteiinisaldus pöördvõrdelises sõltuvuses just tingituna nn lahjenemisest taime sees. Ka Weber *et al.* (2008) uurimuses korreleeruvad kõrgemad saagikused madalamate proteiinisaldustega ning seda seostatakse samuti lahjenemise efektiga.

Lämmastiku ja väävliga väetamine mõjutas mitte ainult proteiini ja kleepvalgu kontsentratsiooni, vaid ka kleepvalgu kvaliteeti, mille näitaja on gluteenindeks. Gluteenindeks väljendab pärast tsentrifuugimist spetsiaalsele sõelale jäänud kleepvalgu suhet kleepvalgu koguhulka (Perten, 1990). Selle väärtus näitab gluteeni tugevust – kas gluteen on küpsetusomaduste seisukohalt mitteküllaldane, sobiv või suurepärase. Saiatoodete valmistamiseks aktsepteeritava nisu gluteenindeksi väärtus on piirides 60–90% (Tayyar, 2010). Kesk-Euroopa nisu-sortide jaoks optimaalne gluteenindeks on 75–90% (Curic *et al.*, 2001).

Meie katsetelt kogutud nisuproovide gluteenindeksid varieerusid tublisti, olenevalt aastast ja katsevariandist piirides 32–98% (tabel 2). Gluteenindeksi madalaima väärtusega terasaigid saadi 2004. ja 2005. aastal ainult lämmastikuga (N100) väetatud, ilma väävlita, variandis. Olgugi et selle variandi puhul suurenesid proteiini ja kleepvalgu kontsentratsioonid terades lämmastiku mõjul oluliselt, olid gluteenindeksid vaid 45% ja 32% ning sellist nisu ei saa küpsetuskvaliteedi poolest sobivaks pidada. Meie varasemad uuringud (Järvan *et al.*, 2006)

erinevatelt väetusvariantidelt pärinevate nisujahudega on näidanud, et mitmed küpsetuskvaliteedi parameetrid – nagu taigna stabiilsus ja kvaliteedinumber, pätsi maht, ümara toote kõrguse ja diameetri suhe, sisu poorsus – halvenesid oluliselt, kui nisuterade gluteenindeks oli väiksem kui 50%. Meie 2004.–2008. aasta katsetes põhjustas ühekülgne lämmastikuga väetamine talinisu gluteenindeksi olulise vähenemise – viie katse keskmisena langes see 30.7%. Ka Garrido-Lestache *et al.* (2004) ja Ames *et al.* (2003) on leidnud, et suuremate lämmastikunormide kasutamine, vaatamata proteiini kontsentratsiooni suurenemisele nisuterades, ei ole suutnud gluteeni tugevust positiivselt mõjutada, sest gluteenindeksi väärtus on vähenenud.

Väävel normiga 10–13.6 kg ha⁻¹ mõjutas talinisu kleepvalgu kvaliteeti, väljendatuna gluteenindeksina, positiivselt 2004., 2005. ja 2007. aastal. Nelja katse keskmisena oli gluteenindeks NS-variandis 31% kõrgem kui N-variandis. Väävli positiivset toimet nisu gluteenindeksile on märkinud ka Garrido-Lestache *et al.* (2004).

Nisu bioloogiline kvaliteet nii toiduvilja kui sööda seisukohalt sõltub suurel määral nii proteiinisisaldusest kui ka selle koostisest. Tavaliselt proteiinisisalduse suurenedes langeb mõne asendamatu aminohappe (sealhulgas lüsiini, treoniini ja tsüsteiini) sisaldus (Maner, 1987). Nisu proteiinis leidub aminohappeid umbes kahekümne ringis, neist kümnet võib pidada asendamatuks, sest loomorganism ei suuda neid ise sünteesida, vaid peab saama ratsiooniga (Shewry, 2009). Asendamatu aminohapetest nisu proteiinis on suurimas defitsiidis lüsiin (McDonald *et al.*, 2002; Shewry, 2009), mis on väga tähtis sööda seisukohalt. Näiteks sigade söötmises on lüsiin esmasem limiteeritud aminohape, sellele järgnevad treoniin, valiin ja metioniin (Maner, 1987). Paljud teadlased (Byers, Bolton, 1979; Mortensen *et al.*, 1992; Granvogl *et al.*, 2008; Zörb *et al.*, 2010) märgivad, et nisuterade aminohappeliste koostist on võimalik mõjutada väetiste teadliku kasutamisega. Byers, Bolton (1979) uurimuses vähenes väävlipuuduse korral nisuterade ja -jahu aminohapete koguhulgas metioniini ja tsüsteiini osatähtsus, viimane neist eriti oluliselt. Väävlipuuduse korral vähenes nisus ka lüsiini- ja treoniinisisaldus ning seda enam, mida rikkalikumalt väetati lämmastikuga (Byers, Bolton, 1979). Seega, väävlipuuduses kasvatatud nisu toiteväärtus langes oluliselt.

Väävel kui tsüsteiini ja metioniini koostisesse kuuluv element on väga tähtis valkude sünteesi jaoks. Peale selle on nendel aminohapetel veel teisigi rolle (Mortensen *et al.*, 1992). Mõlemal väävlit sisaldaval aminohappel on suur tähtsus nisujahu küpsetuskvaliteedi väljakujunemises. Proteiini suurema kontsentratsiooni tulemuseks ei ole sugugi alati küpsetusomaduste paranemine, sest proteiini taseme suurenedes lämmastiku ja väävli vahekord muutub mittesoovitavas suunas (Timms *et al.*, 2006). Toidunisu terades peaks N : S suhe olema väiksem kui 17 (Hagel, 2005). Tänapäeval kasutatud leidnud praktika, kus teravilju väetatakse suurte lämmastikunormidega ilma, et väävlivajadus oleks rahuldatud, annab põhjust saagi kvaliteedi pärast muretsemiseks (Tea *et al.*, 2007). Lämmastikuga väetamine

mõjutab esmajoones proteiini kontsentratsiooni, samal ajal kui väävel reguleerib valkude koostist ja kvaliteeti (Zörb *et al.*, 2010). Väävliga väetamine suurendab väävlit sisaldavate aminohapete, tsüsteiini ja metioniini, sünteesi ning suurendab neid aminohappeid sisaldavate valkude kogust (Granvogl *et al.*, 2008).

Meie väetuskatsetes, mis viidi läbi rähkmullal aastail 2004–2008, avaldus lämmastiku ja väävli mõju mõne aminohappe sisaldusele talinisu terades mitmeti (tabel 2). 2004. aastal lämmastik normiga N 100 kg ha⁻¹ suurendas lüsiinisisaldust 7.3%, kuid vähendas tsüsteiinisaldust 10.0% ja metioniinisaldust 9.7%. Kui lisaks lämmastikule anti ka väävlit koguses S 10 kg ha⁻¹, siis väävli mõjul suurenesid tsüsteiini- ja metioniinisisaldus vastavalt 8.1% ja 15.1%. 2005. aasta tingimustes oli väetamise mõju nisuterade aminohapete sisaldusele suurem kui eelmisel aastal. Ühekülgset lämmastikuga väetamise puhul täheldati eriti suurt metioniinisisalduse vähenemist (28.2%). Samal ajal aga väävli mõjul aminohapete sisaldus suurenes järgmiselt: tsüsteiin – 30.5%, metioniin – 57.1% ja treoniin – 24.1%. Selles suhtes on meie tulemused analoogilised teiste teadlaste tulemustega (Aulakh, 2003; Koehler *et al.*, 2004; Granvogl *et al.*, 2008), millest järeldub, et väävliga väetamine suurendab väävlit sisaldavate aminohapete – tsüsteiini ja metioniini – sisaldust saagis. Sama kinnitavad ka Habtegebrail, Singh (2009), kes lisavad veel, et väävli andmine suurendas ka lämmastikväetise kasutamise efektiivsust. 2007. ja 2008. aastal, kui ilmastikutingimused ei olnud proteiini sünteesimiseks kuigi soodsad, ei mõjutanud lämmastiku ja väävli andmine ka aminohapete sisaldust nisu terades. Kokkuvõtlikult 2004.–2008. aasta katsete kohta, lämmastiku ja väävliga väetamine ei mõjutanud aminohapete sisaldust terades usutavalt, välja arvatud vaid metioniini, mille sisaldus väävli mõjul suurenes nelja aasta keskmisena 20.1%.

Kuigi Sakus rähkmullal läbi viidud katsetes NS-väetamine võrreldes N-väetamisega paljudel juhtudel vähendas oluliselt proteiini- ja kleepvalgusisaldust talinisu terades, parandas väävel proteiini bioloogilist kvaliteeti. Kui aminohapete kontsentratsioonid nisu terades ümber arvestada nende kontsentratsioonile proteiinis, selgus, et N-variandi puhul oli aminohapete kontsentratsioon proteiinis alati väiksem kui väetamata variandis (tabel 2). Kui võrrelda väetamata 0-variandiga, siis ühekülgne lämmastikuga väetamine (N100) rikkus taimekasvuks vajalike toiteelementide omavahelist tasakaalu ja kutsus esile väävlipuuduse tugevnemise, mis ilmselgelt kajastus ka proteiini koostise muutumises. Meie tulemused on analoogilised teiste teadlaste (Timms *et al.*, 2006; Shewry, 2009; Zörb *et al.*, 2010) järeldustega, et lämmastikuga väetamine ilma väävlivajadust rahuldamata toob kaasa nisu proteiini toiteväärtuse ja küpsetuskvaliteedi halvenemise.

Kui võrrelda aminohapete kontsentratsioone N- ja NS-variandi nisude proteiinis, siis selgus, et väävli mõjul suurenes aminohapete sisaldus nelja aasta keskmisena järgmiselt: metioniin – 28.1%, tsüsteiin – 20.4%, treoniin – 11.1% ja lüsiin – 8.2%. Loomade söötmise seisukohalt on väga oluline, kui palju proteiini ja asendamatu aminohappeid pinnaühiku kohta võimalik saada on. Vaatamata sellele, et väävliga väetami-

se mõjul nisuterade proteiinisaldus vähenes, võimaldas tänu oluliselt suuremale saagikusele lämmastikväetisega koos antud väävel saada hektari kohta 83 kg proteiini rohkem. Hektari nisusaakides sisalduvad aminohapete kogused olid väävlit saanud väetusvariandi puhul märksa suuremad kui ilma väävlita. Nelja aasta keskmisena olid aminohapete arvestuslikud kogusaagid väävliga väetamise mõjul suuremad: metioniin – 46.4%, tsüsteiin – 36.1%, treoniin – 21.8% ja lüsiin – 21.3%.

Nisu tarvitamisel toiduviljaks on väga oluline teada, millise kvaliteediga on jahu küpsetusomadused. Teatavasti olenevad need mitmetest teguritest, millest olulisemad on õige sordivalik, ilmastikutingimused, agrotehnika, sealhulgas ka väetamine. Nii näiteks uurimistöös, kus võrreldi erinevate proteiinisaldustega talinisupartiisid, mis saadi suurenevate lämmastikunormidega kasvatamisel, selgus, et jahude küpsetusomaduste parandamine toimus vaid kuni teatud keskpärase proteiinisalduseni, sellest suurema puhul aga enam mitte (Timms *et al.*, 2006). Ühtlasi selgus ka, et madala ja keskpärase proteiinisaldusega jahude kleepvalk oli ühesuguse kvaliteediga ning küpsetise omadustes erinevusi ei olnud. Kuid kõrgeima proteiinisaldusega nisu puhul pätsi maht vähenes ja poorsuse hinne halvenes. Analüüsid näitasid, et terade proteiinisalduse suurenedes vähenes nendes väävlit ja lämmastiku suhe ning see korreleerus ka väävlit sisaldavate aminohapete – tsüsteiini ja metioniini – osatähtsuse vähenemisega (Timms *et al.*, 2006).

Meie 2004.–2008. aasta väetuskatsete 0-, N- ja NS-variantide talinisuudega viidi samuti läbi küpsetusomaduste määramised ning prooviküpsetused (tabel 3). Need tööd tegi ja tulemusi kommenteeris Põllumajandusuuringute Keskuse sektorijuhataja Lea Lukme.

2004. aasta saagist valmistatud jahude langemisarv kõigis katsevariantides oli kõrge, suurim oli see N-variandil. Langemisarv iseloomustab nisujahus sisalduvate proteolüütiliste fermentide võimet lagundada valke. Kvaliteetse nisujahu langemisarv on 240–250 sek. Võrreldavates proovides oli fermentide aktiivsus väike ja seetõttu viidi langemisarvud linnasejahu lisamisega 250 sekundi peale. Liiga kõrge langemisarv on samuti halb: toode on väikese mahuga, tiheda sisuga ja kahvatu koorikuga. Proteiini kogus oli eriti suurenenud N-variandil, sellega seonduvalt oli suur ka märja kleepvalgu kogus, kuna valkainete hulk nisujahus on sellega tihedalt seotud. Kleepvalgu kvaliteeti iseloomustab tema elastsus, venitatus. Nisujahu standardis on kvaliteedi mõõtjaks gluteenindeks. Elastsus on omadus pärast venitamist taastada oma esialgne kuju. Praktiliste kogemuste põhjal võib väita, et heade leivaküpsetusomadustega nisujahul on gluteenindeks 70–90%. N-variandil oli gluteenindeks madal, mis kajastus ka saia ruumalas, olles võrdne 0-variandiga, kus kleepvalgu kogus oli 5.9% väiksem.

Taigna veesidumisvõime on seotud kleepvalgu kogusega. Selle tõesust oli selgelt näha ka meie nisujahude puhul. Nimelt oli suurema kleepvalgu koguse puhul veesidumisvõime ca 3% võrra suurem ja vastupidi. Veesidumisvõime on vee maht milliliitrites, väljendatuna 100 grammi 14% niiskusesisaldusega jahu kohta, mis on vajalik maksimaalse konsistentsiga 500FU (FU – farinograafi ühik) taigna saamiseks. Veesidumisvõimest sõl-

tub taigna väljatulek: mida suurem see on, seda kasulikum pagari seisukohast.

Taigna stabiilsus on aeg minutites, kui kõvera hari esimest korda lõikab 500FU joont ja kui kõvera hari langeb allapoole 500FU joont. See väärtus annab ettekujutuse jahu vastupanujõust segamisel. Pehmenemiseaste on erinevus taigna moodustumise aja lõpukõvera keskkoha (kui kõver lõikab 500FU joont) ja kõvera punkti vahel 12 minutit hiljem.

Taigna moodustumise aeg näitab, kui kiiresti jahu valk imab endasse vett ja moodustub taigen. Võrreldavatel proovidel olid need ajad enam-vähem võrdsed. Antud aastal (2004) vastasid kõikide variantide veesidumisvõimed normaalsete küpsetusomadustega nisujahudele. Kvaliteedinumber oli NS-variandil kõrgem kui N-variandil. Kvaliteedinumber on pikkus millimeetrites mööda ajatelge veelisamispunkti ja selle punkti vahel, kui kõvera tipu kõrgus alaneb 30FU võrra, võrreldes taigna moodustumise aja tipuga. Kvaliteedinumber iseloomustab ka kleepvalgu kvaliteeti.

Valmistootte puhul väljendub kleepvalgu kvaliteet väga hästi ümara toote kõrguse ja diameetri suhtes. Selle aasta nisude puhul oli ümara toote kõrguse ja diameetri suhe väga väike N-variandil. Selle variandi jahu madal küpsetuskvaliteet ilmnes juba ka gluteenindeksis, kuna kleepvalgu kvaliteet oli madalalpoolne. Sisu struktuuri näitaja – poorsus 1 : 10 oli N-variandil samuti kehvem kui teistel variantidel, sisu oli suurte tühimike ja pooridega. Poorsus 1 : 10 on toote sisu struktuuripildi võrdlus vastava sisu struktuuripildiga.

2005. aasta saagi nisujahude langemisarvud olid kõikides katsevariantides väga madalad. Sellisel juhul on α -amülaasi aktiivsus kõrge; sel puhul tähtsaks, mis annab tootele tema struktuuri ehk nn karkassi koos kalgendunud valkudega, laguneb küpsetusprotsessis kiiresti. Toimub tähtsaks kiire veeldumine. Kleepvalgu-sisaldus N- ja NS-variantidel oli kõrge.

Toote maht oleneb kleepvalgu kogusest ja selle kvaliteet väävlisidemetest tekkest valgus. Väävlit molekulis tekkinud sidemeid nimetatakse ristsidemeteks, mis annavad tootele tugeva valkude karkassi. Kui sidemed on tugevad, võib järeldada, et valkudes sisaldub optimaalne kogus väävlit. 2005. saagiaastal oli valmistootte ruumala kõige suurem NS-variandi puhul, tervelt 161 cm³ ehk 10% suurem kui N-variandil. Antud juhul oli NS-variandi nisu proteiinis väävlit sisaldavaid aminohappeid tsüsteiini ja metioniini oluliselt rohkem – vastavalt 35.6 ja 62.6% – kui N-variandi puhul (tabel 2) ning see kajastus ka jahude küpsetusomadustes. Seda paremust kinnitas ka ümara toote kõrguse ja diameetri suhe, mis NS-variandi puhul oli väga hea (0.54) võrreldes N-variandiga, mille puhul see oli vaid 0.40. NS-variandil oli ka taigna stabiilsus rohkem kui kaks korda suurem ja poorsus 1 : 10 tunduvalt parem kui N-variandil.

2007. aasta katsete puhul olid nisujahude langemisarvud kõikidel katsevariantidel kõrged. Kleepvalgu kogused olid kõigil variantidel väikesed, sellest võis teha järelduse, et jahud on madalate küpsetusomadustega. N-variandi jahul oli kleepvalgu koguse kohta väga hea taigna veesidumisvõime ja sellest tulenevalt oli ka saia ruumala suurem, võrrelduna 0- ja NS-

variandiga. Kuid N-variandi puhul ilmnes selgesti, et kui veesidumisvõime ja kleepvalgu kogus ei ole omavahel tasakaalus, siis väljendus see ka ümara toote kõrguse ja diameetri suhtes. N-variandi ümaral tootel oli see näitaja oluliselt väiksem kui NS-variandi tootel.

Küpsetuskatsete kokkuvõtteks võib teha järgmisi järeldusi:

- N- ja NS-variantide puhul oli kõikidel aastatel langemisarv kõrgem kui 0-variandil; N- ja NS-variantide langemisarvudes ei täheldatud reeglipäraseid erinevusi;
- proteiin ja kleepvalk oli NS-variandil madalam, kleepvalgu kvaliteet väljendatuna gluteenindeksina aga kõrgem kui N-variandil;
- NS-variandil oli taigna veesidumisvõime väiksem, kuid taigna stabiilsus (minutites) suurem ja kvaliteedinumber kõrgem kui N-variandil;
- valmistoote ruumala oli N- ja NS-variandil suurem kui 0-variandil; ümara toote kõrguse ja diameetri suhe oli NS-variandil suurem kui N-variandil;
- talinisu sort 'Lars' ei kuulu oma küpsetusomadustelt kõige paremate talisortide hulka, kuid läbiviidud küpsetuskatsed tõestavad, et N- ja NS-väetiste kasutamise suurendatakse valgu kogust ja parandatakse tema omadusi, mille tulemusena saavutatakse taigna paremad küpsetusomadused ja valmistoote märkimisväärselt parem kvaliteet.

Järeldused

Talinisu väetuskatsetest, mis korraldati rähkmullal aastail 2004–2008, võib teha järgmisi järeldusi:

- Põhja-Eesti rähkmullal kannatab talinisu sageli väävlipuuduse all, seetõttu võib saagikus ja lämmastikväetiste kasutamise efektiivsus jääda madalaks. Talinisu pealtväetamisel lämmastikuga (N) koos antud väävel (S) vahekorras 10 : 1 suurendas terasaaki viie katse keskmisena 0.96 t ha⁻¹ ehk 17.6%;
- talinisu väetamine ainult lämmastikuga (N 100 kg ha⁻¹) suurendas tublisti küll proteiini ja kleepvalgu sisaldust terades, kuid samal ajal kleepvalgu kvaliteet halvenes, mille esmane näitaja oli gluteenindeksi oluline vähenemine. Lämmastikuga koos antud väävli mõjul suurenes gluteenindeks viie katse keskmisena 24.6%;
- talinisu väetamisel väävliga paranes oluliselt proteiini bioloogiline kvaliteet, sest tähtsamate aminohapete sisaldus nisu proteiinis suurenes katseaastate keskmisena järgmiselt: metioniin – 28%, tsüsteiin – 20%, treoniin – 11% ja lüsiin – 8%. Lämmastikuga koos antud väävel võimaldas saada kõrgeväärtslikku proteiini 83 kg ha⁻¹ võrra rohkem kui ühekülgne lämmastikuga väetamine;
- lämmastiku ja väävliga tasakaalustatud väetamisel olid talinisu jahu mitmed küpsetuskvaliteedi näitajad ja valmistoote omadused paremad kui ainult lämmastikuga väetatud nisu puhul.

Tänuavaldused

Uurimistöö on läbi viidud Põllumajandusministeeriumi rahastatud rakendusuuringute projektis 'Tera- ja kaunviljade ning õlikultuuride toidu- ja söödakvaliteedi parandamise võimaluste selgitamine, rakendades majanduslikult efektiivseid ning keskkonnasäästlikke agrotehnoloogilisi meetmeid' (2006–2010).

Kirjandus

- Adamson, A., Järvan, M. 2006. Väävli mõju talinisu saagistruktuuri elementidele ja saagikusele. – EMVI teadustööde kogumik LXXI. Taimekasvatuse. Saku, 61–66.
- Ames, N. P., Clarke, J. M., Dexter, J. E., Woods, S. M., Selles, F., Marchylo, B. 2003. Effects of Nitrogen Fertilizer on Protein Quantity and Gluten Strength Parameters in Wheat Cultivars of Variable Gluten Strength. – *Cereal Chemistry*, 80 (2), 2003–211.
- AOAC Official Method 2001.11. Protein (Crude) in Animal Feed, Forage (Plant Tissue), Grain, and Oilseeds – Block Digestion Method Using Copper Catalyst and Steam Distillation into Boric Acid. – *Journal of AOAC International*, 85, No. 2002, 309–317.
- Aulakh, M. S. 2003. Sulphur Nutrition to Crops. In: Abrol, Y. P. & Ahmad, A. (eds). *Sulphur in Plants*, pp. 341–346. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Byers, M., Bolton, J. 1979. Effects of nitrogen and sulphur fertilisers on the yield, N and S content, and amino acid composition of the grain of spring wheat. – *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 30, 3, 251–263.
- Curic, D., Karlovic, D., Tusak, D., Petrovic, B., Dugum, J. 2001. Gluten as a standard of wheat flour quality. – *Food Technology & Biotechnology*, 39 (4), 353–361.
- EN ISO 3093:2009. Wheat, rye and their flours, durum wheat and durum wheat semolina – Determination of the falling number according Hagberg-Perten.
- EVS-EN ISO 13903:2005. Animal feeding stuffs – Determination of amino acid content (based on Commission Directive 98/64/EC).
- FAO UNESCO Soil Map of the World, 1994. Revised Legend. FAO, ISRIC. Wageningen, 140 pp.
- Fitzgerald, M. A., Ugalde, T. D., Anderson, J. W. 1999. Sulphur nutrition changes the sources of S in vegetative tissues of wheat during generative growth. – *Journal of Experimental Botany*, 50, No. 333, 499–508.
- Flaete, N. E. S., Hollung, K., Ruud, L., Sogn, T., Faergestad, E. M., Skarpeid, H., Magnus, E. M., Uhlen, A. K. 2005. Combined nitrogen and sulphur fertilisation and its effect on wheat quality and protein composition measured by SE-FPLC and proteomics. – *Journal of Cereal Science*, 41, 3, 357–369.
- Garrido-Lestache, E., López-Bellido, R. J., López-Bellido, L. 2004. Effect of N rate, timing and splitting and N type of bread-making quality of wheat under rainfed Mediterranean conditions. – *Field Crops Research*, 85 (2/3), 213–236.
- Granvogl, M., Wieser, H., Koehler, P., von Tucher, S., Schieberle, P. 2008. Influence of sulfur fertilization on the amounts of free amino acids in wheat. Correlation with baking properties as well as with 3-aminopropionamide and acrylamide generation during baking. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 4271–4277.
- Grove, H., Hollung, K., Moldstad, A., Faergestad, E. M., Uhlen, A. K. 2009. Proteome Changes in Wheat Subjected to Different Nitrogen and Sulfur Fertilizations. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 4250–4258.

- Habtegebrail, K., Singh, B. R. 2009. Response of Wheat Cultivars to Nitrogen and Sulfur for Crop Yield, Nitrogen Use Efficiency, and Protein Quality in the Semiarid Region. – *Journal of Plant Nutrition*, 32, 10, 1768–1787.
- Hagel, I. 2005. Sulfur and baking-quality of bread making wheat. – *Landbauforschung Völkenrode, Special Issue* 283, 23–36.
- HPLC UV (Perkin Elmer LC System). – *Journal of Chromatographic Science*, 40, January 2002, 14–18.
- ICC Standard No. 155:1994. Determination of Wet Gluten Quantity and Quality (Gluten Index ac. to Perten) of Whole Wheat Meal and Meal Flour.
- ISO 11048. (1995). Soil Quality – Determination of water-soluble and acid-soluble sulfate. 18 pp.
- Järvan, M. 2008. Väävel taimele tootumises. AS Rebellis, Saku. 88 lk.
- Järvan, M., Adamson, A. 2005. Pealtväetamisest antud väevli mõju talinisu saagi kujunemisele. – *Teadustööde kogumik* 220. Agronoomia 2005. Tartu, lk. 66–68.
- Järvan, M., Edesi, L., Adamson, A. 2009. Väevliga väetamise mõju talinisu saagikusele, proteiini kvaliteedile ja küpsetusomadustele. – *Agraarteadus*, 20 (2), 8–15.
- Järvan, M., Lukme, L., Akk, A. 2006. Väevli mõju talinisu proteiini bioloogilisele kvaliteedile ja küpsetusomadustele. – *EMVI teadustööde kogumik LXXI. Taimekasvatust*. Saku, 123–128.
- Koehler, P., Wieser, H., Gutser, R., von Tucher, S. 2004. Influence of sulphur fertilization on the quantitative composition of gluten protein types in wheat flour. – In D. Lafandra, S. Masci, R. D'Ovidio (Eds.), *The gluten proteins*, pp. 188–191. Royal Society of Chemistry (Great Britain).
- Kuktaite, R. 2004. Protein Quality in Wheat. Changes in Protein Polymer Composition during Grain Development and Dough Processing. – *Doctoral Thesis*, Swedish University of Agricultural Sciences. Alnarp, 39 pp.
- Loudet, O. 2008. New research paves the ground for changes in the approach to sulphur fertilization. – *New AG International*, March 2008, 78–82.
- MacRitchie, F., Gupta, R. B. 1993. Functionality-composition relationships of wheat flour as a result of variation in sulphur availability. – *Australian Journal of Agricultural Research*, 44, 1767–1774.
- Maner, J. H. 1987. Nutritional advantages and problems related to the use of cereal grains in feeds. – In R. Sansoucy, T. R. Preston, R. A. Leng (Eds.), *Proceedings of the FAO Expert Consultation on the substitution of imported concentrate feeds in animal production systems in developing countries*, pp. 49–57. 9–13 September 1985, Bangkok.
- Mars, E. 2009. Effect of sulphur fertilization on the quality and quantity of winter wheat. – *PhD. thesis*, Debrecen. 25 pp.
- Maslov, I. N., Tžizova, K. H., Skvarkina, T. I., Zapenina, H. B., Zaklodina, F. I. 1960. Tehnilis-keemiline kontroll leivatööstuses. Moskva, 362 lk. (vene keeles).
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A. 2002. Amino acids. – In *Animal Nutrition*, sixth edition, pp. 55–61. Harlow: Pearson Education.
- McGrath, S.P. 2003. Sulphur: A secondary nutrient? Not anymore! – *New AG International*, March, 70–76.
- Mortensen, J., Eriksen, J., Nielsen, J. D. 1992. Sulfur Deficiency and Amino Acid Composition in Seeds and Grass. – *Phyton (Horn, Austria)*, 32, 3, 85–90.
- Perten, H. 1990. Rapid measurement of wet gluten quality by the gluten index. – *Cereal Foods World*, 35, 401–402.
- Podlesna, A., Cacak-Pietrzak, G. 2008. Effects of Fertilization with Sulfur on Quality of Winter Wheat. – In Khan, A. N., Singh, S., Umar, S. (eds.): *Sulfur Assimilation and Abiotic Stress in Plants*, Springer Berlin Heidelberg, 355–365.
- Pöld, E., Maasing, E. 1971. Pagaritoodete tehnoloogia. Valgus, Tallinn. 151 lk.
- Randall, P. J., Freney, J. R., Smith, C. J., Moss, H. J., Wrigley, C. W., Galbally, I. E. 1990. Effects of additions of nitrogen and sulfur to irrigated wheat on heading on grain yield, composition and milling and baking quality. – *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 30, 95–101.
- Randall, P. J., Wrigley, C. W. 1986. Effects of sulphur supply on the yield, composition, and quality of grain from cereals, oilseeds, and legumes. – *Advances in Cereal Science*, 8, 171–206.
- Reinbold, J., Rychlik, M., Asam, S., Wieser, H., Koehler, P. 2008. Concentrations of Total Glutathione and Cysteine in Wheat Flour as Affected by Sulfur Deficiency and Correlation to Quality Parameters. – *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 6844–6850.
- Shewry, P. R. 2009. Wheat. – *Journal of Experimental Botany*, 60 (6), 1537–1553.
- Singh, B. R. 2003. Sulfur and Crop Quality — Agronomical Strategies for Crop Improvement. – *Abstracts of COST Action 829 Meetings*, Braunschweig, Germany (May 15–18, 2003), 35–36.
- Tayyar, S. 2010. Variation in grain yield and quality of romanian bread wheat varieties compared to local varieties in northwestern Turkey. – *Romanian Biotechnological Letters* 15, 2, 5189–5196.
- Tea, I., Genter, T., Naulet, N., Lummerzheim, M., Kleiber, D. 2007. Interaction between nitrogen and sulfur by foliar application and its effects on flour bread-making quality. – *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 2853–2859.
- Thomason, W. E., Phillips, S. B., Pridgen, T. H., Kenner, J. C., Griffey, C. A., Beahm, B. R., Seabourn, B. W. 2007. Managing Nitrogen and Sulfur Fertilization for Improved Bread Wheat Quality in Humid Environments. – *Cereal Chemistry*, 84 (5), 450–462.
- Timms, M. F., Bottomley, R. C., Ellis, J. R. S., Schofield, J. D. 2006. The baking quality and protein characteristics of a winter wheat grown at different levels of nitrogen fertilization. – *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 32 (7), 684–698.
- Weber, E. A., Koller, W.-D., Graeff, S., Hermann, W., Merkt, N., Claupein, W. 2008. Impact of different nitrogen fertilizers and an additional sulfur supply on grain yield, quality, and the potential of acrylamide formation in winter wheat. – *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171, 643–655.
- Wieser, H., Gutser, R., von Tucher, S. 2004. Influence of sulphur fertilisation on quantities and proportions of gluten protein types in wheat flour. – *Journal of Cereal Science*, 40, 239–244.
- Wrigley, C. W., Du Cros, D. L., Archer, M. J., Downie, P. G., Roxburgh, C. M. 1980. The sulfur content of wheat endosperm proteins and its relevance to grain quality. – *Australian Journal of Plant Physiology*, 7, 755–766.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., Konzak, S. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. – *Weed Research*, 14, 415–421.
- Zhao, F. J., Hawkesford, M. J., McGrath, S. P. 1999. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. – *Journal of Cereal Science*, 30, 1, 1–17.
- Zörb, C., Grover, C., Steinfurth, D., Mühlhling, K. H. 2010. Quantitative proteome analysis of wheat gluten as influenced by N and S nutrition. – *Plant and Soil*, 327, 1, 225–234.

Effect of nitrogen and sulphur fertilization on yield, crop quality and baking properties of winter wheat

Malle Järvan, Lea Lukme, Ann Akk, Liina Edesi,
Ando Adamson

Summary

Sulphur being rare deficient for agricultural crops some twenty or thirty years ago, today has become one of the most limiting nutrients for agricultural production in Europe. Decreasing sulphur deposition from the air, and the use of more concentrated fertilizers that contain less sulphur, have led to reports of sulphur deficiencies in winter wheat. Sulphur deficiency significantly affects the production and quality of wheat, particularly the baking properties of wheat flour.

This research work is based on the field trials conducted at Saku in Northern Estonia (59° 18'N, 24° 39'E) on break-stony soil during 2004–2008. The content of water-soluble sulphur in this soil at the beginning of vegetation season was low, i.e. S 6–12 mg kg⁻¹. The objective of present work was to investigate the effect of sulphur fertilization on the grain yield, quality and baking properties of winter wheat (var. Lars). Sulphur was applied with NS-fertilizer Axan or Axan Super at the rate of S 10 or 13.6 kg ha⁻¹ accompanied with nitrogen background of N 100 kg ha⁻¹, which effect was compared to effect of ammonium nitrate at the same rate of N. The rates of N- and NS-fertilizers were divided into two portions and applied at the beginning and at the end of tillering. The quality analyses

and baking tests were performed in the plant production laboratory of the Agricultural Research Centre.

The results of field trials had shown that the effect of sulphur fertilization depended highly from weather conditions during growth season. In years with sufficient precipitation, sulphur increased the grain yields by 15.7–43.0% but had no significant effect in droughty conditions. With the increasing yields under influence of sulphur, the protein and wet gluten concentrations in grains decreased. However, sulphur supply increased significantly the quality of wet gluten because the gluten index – a measure of gluten strength – rose by 27.6% as the average of four years. Although sulphur application in many cases decreased protein and wet gluten content in wheat grain significantly, it improved the biological quality of protein because the amino acids concentration in protein increased as an average of four years as follows: methionine – 28%, cysteine – 20%, threonine – 11% and lysine – 8%.

The quality analyses made at the stages of flour, dough and bread, have shown that many baking properties had a decreasing values when wheat was fertilized one-sided with nitrogen while the plants suffered under sulphur deficiency. Due to sulphur fertilization all major parameters of winter wheat's baking quality improved: stability and quality number of dough, loaf volume and specific volume, round loaf's height to diameter ratio, and porosity of bread. Thus, in the production of bread-making wheat sulphur deficiency should be avoided as much as possible.