

Agraarteadus
1 * XXX * 2019 1–12



Journal of Agricultural Science
1 * XXX * 2019 1–12

ÜLEVAADE: ÜLEVAADE VÄÄVLI KUI TALINISULE OLULISE TOITEELEMENDI MÕJU UURINGUTEST EESTIS

REVIEW: THE OVERVIEW OF THE RESEARCH ON THE SULPHUR
APPLICATION TO WINTER WHEAT IN ESTONIA

Malle Järvan

Eesti Taimikasvatuse Instituut, agrotehnoloogia osakond, Teaduse 4/6, 75501 Saku, Harjumaa

Saabunud: 12.04.2019
Received:
Aktsepteeritud: 29.05.2019
Accepted:
Avaldatud veebis: 29.05.2019
Published online:
Vastutav autor: Malle Järvan
Corresponding author:
E-mail: malle.jarvan@etki.ee

Keywords: yield components, grain yield, content and biological quality of protein, Gluten index, bread-making properties of wheat flour and dough, quality of baked bread.

doi: 10.15159/jas.19.03

ABSTRACT. Due to several objective reasons, the sulphur (S) deficiency in agricultural crops in Europe came to the fore in the last decades before the turn of the century. This work gives an overview of the Estonian long-year research concerning winter wheat responses on the S fertilization. This study presents a versatile influence of S application – beginning with the influence on the yield formation, grain yield quantity and quality, followed by the one on the biological quality of wheat proteins, and on the bread-making properties of flour and dough, and ending with the one on the quality indices of baked breads. Field experiments were conducted at two locations on calcareous Cambisol and Podzoluvisol. On the background of N100 or 120 kg ha⁻¹, S was given as granular NS-fertilizers or foliar applied with Sulfur F3000 or with fungicide Thiovit Jet. Flour and dough properties for bread-making were determined by using a farinograph Brabender. The baking tests were carried out in laboratory conditions. The influence of S on the grain yield and quality, and bread-making properties of wheat depended on the year and location. As the average of experiments, the S application significantly increased the grain yield ($r = 0.960$). The increasing yields were accompanied by decreasing contents of protein and wet gluten. However, due to S application the biological quality of proteins was increasing, because the contents of some essential amino acids were increasing. The significant positive ($r = 0.938$) effect of the S application on the Gluten index was revealed, which is a good predictor for the baking quality of wheat flour. In addition, some significant positive effects of the S application on the rheological properties of dough and quality indices of baked breads were demonstrated. Thus, the S addition by nitrogen fertilization in parallel with increasing yields improved several bread-making parameters of wheat flour.

© 2019 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. | © 2019 Estonian Academic Agricultural Society.

Sissejuhatus

Teraviljade toitumises on väävel vajalik umbes samas suurusjärgus kui fosfor (Mengel, Kirkby, 1987; Holford, 1997). Kui veel paar-kolmkümmend aastat tagasi sai põllukultuuride väävlitarve enam-vähem rahuldatus tööstuse heitgaasides sisalduva väävli, väävlirikaste lihtväetiste (nt superfosfaat) ja sõnnikuga antava väävli kogustega, siis tänaseks on olukord muutunud: õhk on puhtam, lihtväetised asendunud väävlivaeste kompleksväetistega ja sõnniku kasutamine on vähenenud. Samas on teraviljade saagikus

aasta-aastalt suurenenud, mis nõuab teiste toiteelemendide kõrval ka suuremas koguses väävlit (Järvan, Adamson, 2004; Grennfelt, Hov, 2005; Järvan, 2008). Möödunud sajandi lõpust alates on paljud teadlased märkinud, et väävlipuudus on hakanud kollitama lisaks rapsile ka teravilju ja et väävel on saanud kõige tähtsamaks taimset toodangut limiteerivaks toiteelemendiks (Zhao jt, 1995; McGrath jt, 1996; Zhao jt, 1999a; McGrath, 2003; Morris, 2003; Loudet, McGrath, 2008).



Taime ainevahetusprotsessides on väävel ja lämmastik kogu kasvu- ja arenguperioodi jooksul üksteisega tihedalt seotud, kusjuures suhted on sünergistlikud, s.t. mõlemad elemendid soodustavad vastastikku teineteise omastamist ja suurendavad väetamise efektiivsust (Marschner, 1997; Fismes jt, 2000; Thomason jt, 2007; Salvagiotti jt, 2009; Rossini jt, 2018). Väävel on keemiliste omaduste poolest sarnane seleeniga, mis teatavasti on imetajate toitumises elutähtsalt vajalik. Kas väävli ja seleeni suhted on sünergistlikud või antagonistlikud – see oleneb paljudest asjaoludest ning vajab veel teaduslikku selgitust (Järvan, 2008; Klikocka jt, 2017).

Väävel täidab taimes mitmeid funktsioone, millest olulisim on valkude normaalse biosünteesi tagamine. Valkude koostisesse kuuluvatest aminohapetest sisaldavad väävlit tsüsteiin, tsüstiin ja metioniin, mis on paljude bioloogilisel aktiivsete ühendite (nt koensüümid, vitamiinid) eelkäijad ning mõjutavad nende aktiivsust taime elutegevusprotsessides (Marschner, 1997; McGrath, 2003; Järvan, 2008). Väävlit sisaldavatel aminohapetel on täita ka oluline roll toidunisu küpsetusomaduste mõjutajana (Marschner, 1997; Hagel, 2005; Honermeier, Schäfer, 2008; Györi, 2014). Kui nisuterade proteiinisaldust mõjutab väävel suhteliselt vähe, siis palju olulisem on tema mõju kleepvalkude koostisele ja kvaliteedile. Väävli puuduse tulemusel halvenevad taigna ja küpsetise omadused (Hagel, 2005; Järvan jt, 2006; 2008; 2012b; 2017). Väävel on tingimata vajalik kloroplastide tekkeks ja klorofüllü sünteesiprotsessis (Burke jt, 1986; Marschner, 1997). Ristõieliste kultuuride (nt raps) puhul on väävlil oluline roll glükosinolaatide ja õli sisalduse mõjutajana (Kaarli jt, 2004).

Eestis sai talinisu väävliga väetamise mõju ja väetamisviisi uurimise ajendiks asjaolu, et vaatamata maa heale boniteedile, regulaarsele NPK-väetiste kasutamisele ja ristikule eelviljana, piirdus talinisu saagilagi Eesti Maaviljeluse Instituudi Saku põldkatsetes juba aastaid tasemega 3–4 t ha⁻¹ ning lämmastikväetise (N 120 kg ha⁻¹) efektiivsus jäi väga madalaks. Omastatava väävli sisaldus oli kevadeti mullas vaid 8–10 mg kg⁻¹. Teatavasti loetakse mulla väävlisisaldus madalaks, kui see on alla 20 mg kg⁻¹ (Hannolainen jt, 2002). Eesti Maaviljeluse Instituudis uuriti kahe rakendusuringu projekti raames aastail 2003–2010 paralleelselt mitmesuguste teiste talinisu saagikust ja kvaliteeti mõjutavate agrotehniliste võtetega ka väävli mõju talinisule. Uuriti väävli andmise aegu, kasutusnorme ja -viise (mulla- või lehekaudselt, NS-väetisena või elementaarse väävlina). Selgitati väävli mõju talinisu saagistruktuuri elementidele, saagikusele, saagi kvaliteedile, sh proteiini ja kleepvalgu kvaliteedile ning aminohapete sisaldusele. Tehti arvukalt prooviküpsetusi selgitamaks talinisu väävliga väetamise mõju jahu küpsetusomadustele ja saia kvaliteedinäitajatele. Töötati välja ja juurutati soovitusel talinisu väävliga väetamiseks tootmis põldudel. Antud töös antakse nende uuringute tulemustest kokkuvõtlik ülevaade.

Materjal ja meetodika

Põldkatsed korraldati aastail 2003–2005 ja 2007–2008 Saks (59°18'N, 24°39'E) Üksnurme katsealal rähkmullal – Calcaric Cambisol (FAO ..., 1994) ning aastail 2004–2006 ja 2008–2010 Auksis (58°27'N, 25°36'E) kähkjäl mullal – Podzoluvisol (FAO ..., 1994). Mulla agrokeemilised näitajad olid järgmised: Saks – pH_{KCl} 6,7–7,2, C_{org} 2,0–2,3%, P_{DL} 90–116 mg kg⁻¹, K_{DL} 168–206 mg kg⁻¹, veeslahustuv väävel (S) 8–10 mg kg⁻¹; Auksis – pH_{KCl} 6,1–6,4, C_{org} 2,0–2,2%, P_{DL} 89–102 mg kg⁻¹, K_{DL} 156–203 mg kg⁻¹, S 6–12 mg kg⁻¹.

Saku katsetes oli talinisu eelviljaks ristik haljapäetiseks. Auksis tootmis põldudele rajatud katsetes olid järgmised eelviljad: 2004 – teravili, 2005 – ristik, 2006 – teravili ja püsirohuma; 2008–2010 – raps. Väävliga väetamise mõju uuriti lämmastiku foonil N 100 või 120 kg ha⁻¹, mis jaotatult kaheks annuseks anti talinisu kasvu ajal. Väävel anti NS-väetisena, põhiliselt Axan-tüüpi väetistega, milles lämmastiku (N) sisaldus oli 27% ja väävli (S) sisaldus, olenevalt tarneaastast ja väetise margist, 2,7%, 7% või 3,7%. Kontrollvariandis anti lämmastik ammooniumsalpeetriga (N 34,5%).

Saku katsetes uuriti 2004. ja 2005. aastal ka võimalusi talinisu väävli puuduse lehekaudseks leevendamiseks, lisades pealtväetamisel Silmeti lämmastikvedelväetise (N ~170 g l⁻¹) lahusesse väävli allikana teatud koguse ammooniumsulfaati (N21 S24) või Sulfur F3000 (S 340 g l⁻¹). Ühtlasi uuriti ka elementaarse väävli (fungitsiid Thiovit Jet, S 800 g kg⁻¹) lahusega pritsimise mõju talinisu saagi moodustumisele. Nende katsete meetodika on põhjalikult esitatud Järvani (2012a) artiklis.

Põldkatsete läbiviimise, proovide võtmise, analüüside ja küpsetuskatsete meetodika ning katseaastate ilmastikutingimused on põhjalikult kirjeldatud varasemates artiklites (Järvan jt, 2012a; 2012b; 2017). Kõik põldkatsed olid neljas korduses, katselapi suurus oli 25 m². Katsete meetodikat selgitatakse täiendavalt katsetulemuste arutelu peatükis. Katsetulemused töödeldi dispersioonanalüüsi meetodil.

Tulemused ja arutelu

Esimene põldkatse, uurimaks kas talinisu püsivalt madala saagikuse põhjus, vaatamata viljakale mullale ja regulaarsele NPK-väetiste kasutamisele, võib olla väävli puudus, korraldati Saks Üksnurmes 2003. aastal. Katse tulemused esitatakse tabelis 1. Lämmastikuannused (N 120 kg ha⁻¹) anti kaheks jaotatult nisu võrsumise faasis. Loomisfaasi algul määrati portatiivse klorofüllimõõturiga Minolta SPAD igal katselapil 30 taime keskmisena lipulehe klorofüllisisaldus ning võeti proovid taime lämmastikusisalduse määramiseks.

Võrreldes väävliga väetatud taimikuga, olid väetamata ja ammooniumsalpeetriga väetatud katselappide taimed oluliselt heledamad, kahvaturohelised. Lehtede klorofüllisisalduse drastiline vähenemine on väävli puuduse üks tüüpilisemaid tunnuseid (Burke jt, 1986; Marschner, 1997). Axaniga väetatud taimed sisaldasid klorofüllit keskmiselt 24% rohkem ja lämmastikku kuni 33% rohkem kui

ammooniumsalpeetriga väetatud. Teatavasti suureneb väevli mõjul lämmastiku omastamine (Marschner, 1997; Salvaggiotti jt, 2009). Kui N-väetamine ei õigustanud väetamise kulusid, sest nisu saagikus praktiliselt ei suurenenud, siis NS-iga väetamisel saadi üle ootuste suur saagitõus: S 12 kg ha⁻¹ andmine koos lämmastikuga suurendas

saaki 1,5 t ha⁻¹ ehk 37% võrra. Optimaalseks nii talinisu saagikuse kui ka kvaliteedi seisukohast osutus N : S suhe 10 : 1, seega väevli suurem kogus Axan-II puhul ei osutunud otstarbekaks.

Table 1. Väetiste mõju talinisule Širvinta Sakus 2003. aastal (Järvan, Adamson, 2004)

Table 1. Effect of fertilizers on winter wheat (variety Širvinta) at Saku in 2003

Väetis Fertilizer	Väetamine Application kg ha ⁻¹		Sisaldus lehtedes Content in leaves EC* 50–51		Saak Yield		Proteiin, % Protein, %	Langemis- arv Falling number	Kleepe- valk, % Wet gluten, %
	EC* 21–22	EC* 25–28	klorofüll chlorophyll SPAD (n = 30)	N % k.a DM	kg ha ⁻¹	%			
	Väetiseta Without fertilizer	0	0	40,4	1,61	3817			
Ammooniumnitraat Ammonium nitrate (N 34)	N60	N60	43,0	2,01	3993	105	15,9	290	38,0
Axan-I (N27 S2,7)	N60 S6	N60 S6	53,3	2,49	5488	144	16,0	342	38,0
Axan-II (N27 S7)	N60 S15	N60 S15	53,6	2,67	5513	144	16,2	341	38,2
PD / LSD ₀₅					294	8			

EC* – nisu arengu faas Zadoks jt (1974) järgi / wheat growth stage by Zadoks et al. (1974)

Erinevates mullastik-kliimaatilistes tingimustes mõju uurimiseks korraldati ühesuguse skeemiga põldkatsed: Sakus ja Auksis aastail 2004 (tabel 2) ning 2005 (tabel 3). Paljude variantidega katses uuriti N100 foonil väevli erinevate normide (S 4–26 kg ha⁻¹) ja väetamise aegade mõju talinisu klorofüllisisaldusele, saagistruktuuri elementidele (produktiivvõrsete arv taime kohta, terade arv peas ja 1000 tera mass) ning saagikusele. Tulemustest selgus, et väevli mõju olenes nii kasvu- kohast kui aastast. Kui Saku katses oli talinisu lehtede

klorofüllisisaldus väevliga väetatud variantides kontrollvariandiga võrreldes alati suurem: 2004. aastal vastavalt 42–54% ja 2005. aastal 14–26%, siis Auksi katses ei ilmnenud väevli positiivset mõju klorofüllisisaldusele. Sellest järeldus, et põhjus võis peituda katsekohtade muldade erinevustes (Adamson, Järvan, 2006). Seda kinnitavad ka Skudra ja Ruza (2017) katsed, kes leidsid, et talinisu klorofüllisisalduse sõltuvus väevliga väetamisest on oleneb nii kasvuaastast kui ka mullastiku eripärast.

Table 2. Väevliga väetamise mõju talinisule 2004. aastal (Järvan, Adamson, 2005)

Table 2. The effect of sulphur application on winter wheat in 2004 (Järvan, Adamson, 2005)

Variant ^a Treatment ^a	S kg ha ⁻¹	Sakus, sort 'Lars' / at Saku, variety 'Lars'						Auksis, sort 'Kosack' / at Auksi, variety 'Kosack'							
		Klorofüll Chlorophyll SPAD n = 30		Viljavihu analüüs Sheaf analysis			Saak Yield		Klorofüll Chlorophyll SPAD n = 30		Viljavihu analüüs Sheaf analysis			Saak Yield	
		A	B	C	t ha ⁻¹	%	A	B	C	t ha ⁻¹	%				
0	0	40,5	1,10	25,4	45,2	3,15	92	35,0	1,05	26,6	33,6	2,32	53		
AN + AN	0	34,5	1,16	26,0	46,0	3,44	100	47,6	1,19	35,4	34,6	4,37	100		
AN + AxI	4	48,9	1,39	36,4	39,7	4,44	129	48,5	1,41	38,8	37,6	5,63	129		
AN + AxII	10	52,6	1,76	37,7	42,7	4,92	143	49,0	1,70	35,3	35,9	5,92	135		
AxI + AxI	10	53,0	1,60	38,6	42,1	4,92	143	48,5	1,58	37,7	35,6	5,82	133		
AxI + AN	6	51,1	1,55	38,0	41,3	4,52	131	47,9	1,68	36,2	34,5	6,08	139		
AxII + AxII	26	53,2	1,76	34,9	40,7	4,64	135	49,9	2,09	35,2	37,7	7,18	164		
AxII + AN	16	51,1	1,74	39,5	41,6	4,72	137	47,5	1,92	35,2	35,3	6,99	160		
PD ₀₅ /LSD ₀₅		–	0,31	7,7	2,8	0,32	9	–	0,19	1,6	1,7	0,64	15		

Talinisu eelvil / Preceding crop: Sakus – ristik / clover; Auksis – suviteravil / spring cereal.

^a Variant / Treatment: 0 – väetamata / without fertilizer. Teistes variantides lämmastikunorm esimesel väetamiskorral (EC 21–22) N 60 kg ha⁻¹ + teisel väetamiskorral (EC 25–28) N 40 kg ha⁻¹ / nitrogen rate for the other treatments: N 60 kg ha⁻¹ (EC 21–22) + N 40 kg ha⁻¹ (EC 25–28).

Väetised / Fertilisers: AN – ammooniumnitraat (N34) / ammonium nitrate; AxI – Axan (N27 S 2,7), AxII – Axan (N27 S 7).

A – produktiivvõrsete arv taime kohta / productive sprouts per plant; B – terade arv peas / grains per ear; C – 1000 tera mass, g / 1000 grain weight.

Väevli mõjul suurenes 2004. aastal Saku katses produktiivsete võrsete arv 20–52% (keskmiselt 41%) ja terade arv peas 34–48% (keskmiselt 44%), samas vähenes statistiliselt usutavalt 1000 tera mass, terasaak suurenes keskmiselt 36% ehk 1,25 t ha⁻¹ võrra. Auksi katses suurenes väevli mõjul saagistruktuuri elementidest ainult produktiivvõrsete arv (keskmiselt 45%), terade arv peas ja 1000 tera mass aga mitte, saak suurenes keskmiselt 43% ehk 1,90 t ha⁻¹ võrra. Väevliga väetamise erakordselt kõrge efektiivsus 2004.

aastal oli suuresti tingitud ilmastikutingimustest: kevad oli väga kaua külm ja sademetevaene, mis ei võimaldanud mulla looduslike väevliühendite üleminekut taimedele omastatavasse vormi (Järvan, Adamson, 2005; Järvan jt, 2012a).

Kevad oli 2005. aastal tavapärase ilmastikuga, kuid juuni ja juuli olid suhteliselt põuased, mis mõjutas väevli omastamist ja nisisaagi formeerumist. Väevliga väetamine mõjutas kõige enam produktiivvõrsumist,

mis suurenes mõlemas katsekoahas, variantide keskmisena vastavalt 41% ja 42%. Sakus suurenes väävlil mõjul ka terade arv peas (keskmiselt 15%), samas vähenes kõikides NS variantides usutavalt 1000 tera mass; saak suurenes keskmiselt 0,71 t ha⁻¹ ehk 14% võrra. Samal aastal ei andnud Auksi katses väävliliga väetamine usutavat saagitõusu. Väävlil erineval efektiivsusel eri katsekohtades võis olla mitu põhjust. Esiteks võis selleks olla mullareaktsiooni erinevus, sest Mengeli ja Kirkby (1987) andmeil on karbonaatsel

mullal väävlil kättesaadavus raskendatud. Seepärast oli Sakus pealtväetisena antud väävel efektiivne. Teiseks põhjuseks võis olla see, et Auksis anti talinisule külvi ajal kompleksväetisega ka väävlit (S 9 kg ha⁻¹), Sakus aga sügisväetist ei antud. Eelkirjeldatud katsete tulemuste põhjal järeldati, et talinisu väävlilvajadus tuleb rahuldada juba varastes arengujärgkudes ja et on täiesti piisav anda 1 kg väävlit (S) iga 10 kg lämmastiku kohta (Adamson, Järvan, 2006). Järgmiste põldkatsete kavandamisel võeti selline N : S vahekord aluseks.

Tabel 3. Väävliliga väetamise mõju talinisule 2005. aastal (Adamson, Järvan, 2006)

Table 3. The effect of sulphur application on winter wheat in 2005 (Adamson, Järvan, 2006)

Variant ^a Treatment ^a	S kg ha ⁻¹	Sakus, sort 'Lars' / at Saku, variety 'Lars'					Auksis, sort 'Lars' / at Auksi, variety 'Lars'				
		viljavihu analüüs sheaf analysis			saak yield		viljavihu analüüs sheaf analysis			saak yield	
		A	B	C	t ha ⁻¹	%	A	B	C	t ha ⁻¹	%
0	0	1,85	34,8	42,2	4,58	90	1,57	36,0	46,5	3,37	55
AN + AN	0	1,98	33,4	48,7	5,08	100	2,36	45,9	40,2	6,08	100
AN + AxI	4	2,48	41,8	40,0	5,64	111	2,83	46,0	42,1	6,25	103
AN + AxII	10	2,78	38,6	40,0	5,60	110	3,12	45,3	41,3	6,25	103
AxI + AxI	10	3,00	42,1	36,7	5,88	116	4,07	45,6	37,1	6,55	108
AxI + AN	6	2,96	36,4	40,0	5,72	113	3,26	44,1	41,2	6,33	104
AxII + AxII	26	2,74	35,5	37,9	5,93	117	3,69	42,3	39,8	6,12	101
AxII + AN	16	2,83	36,1	36,4	5,95	117	3,14	46,4	38,9	6,32	104
PD ₀₅ / LSD ₀₅		0,43	7,4	3,7	0,51	10	0,40	–	–	0,53	9

Talinisu eelviil / Preceding crop – ristik / clover.

^a Variant / Treatment: 0 – väetamata / without fertilizer. Teistes variantides lämmastikunorm esimesel väetamiskorral (EC 21–22) N 60 kg ha⁻¹ + teisel väetamiskorral (EC 25–28) N 40 kg ha⁻¹ / nitrogen rate for the other treatments: N 60 kg ha⁻¹ (EC 21–22) + N 40 kg ha⁻¹ (EC 25–28). Väetised / Fertilisers: AN – ammoniumnitraat (N34) / ammonium nitrate; AxI – Axan (N27 S 2,7), AxII – Axan (N27 S 7).

A – produktiivvõrsete arv taime kohta / productive sprouts per plant; B – terade arv peas / number of grains per ear; C – 1000 tera mass, g / 1000 grain weight.

Sademetevaesel kasvuajal ei pruugi tahkel kujul antud pealtväetis tagada oodatud efekti. Taime arengu kriitilistel perioodidel on toitainetevajadust teatud määral võimalik lehekaudselt rahuldada (Schönherr, 2004; Järvan, 2007). Teatavasti siseneb õhus sisalduv vääveldioksiid taimelehtede õhulõhede kaudu. On selgunud, et taimed on võimelised omastama lehtede kaudu ka elemendi vormis olevat väävlit (Legris-Delaporte jt, 1987; McGrath, Till, 1993; Gransee, 1997).

Sakus korraldati 2004. ja 2005. aastal põldkatsed selgitamiseks lehekaudselt antava väävlil mõju talinisule. Esimeses katses kasutati väävlil allikana fungitsiidi Thiovit Jet (S 800 g kg⁻¹), mis lahustati vees ja

pritsimisnormiga 300 l ha⁻¹ töödeldi talinisutaimi võrsumise ja kõrsumise faasides (tabel 4). 2004. aasta tingimustes sisaldasid Thiovitiga pritsitud taimede lipulehed 28–53% rohkem klorofüllit kui kontrolltaimed (Järvan, 2012). Lehekaudselt annustatud väävlil mõjul suurenes nii produktiivvõrsete arv kui ka terade arv peas. Varasem pritsimisaeg võimaldas saada suurema terasaagi, optimaalseks osutus kasutusnorm S 4,8 kg ha⁻¹. Varasemates arengujärgkudes pritsimise eeliseid märgivad ka teised teadlased. Näiteks Thiovit kasutamine normiga S 2–6 kg ha⁻¹ on paralleelselt seenhaiguste tõrjega oluliselt suurendanud kultuuride saagikust (Socorro jt, 2008).

Tabel 4. Fungitsiid Thiovit Jet talinisu väävlilpuuduse leevendajana Saku katsetes (Järvan, 2012)

Table 4. Effect of fungicide Thiovit Jet for alleviating sulphur deficiency of winter wheat (Järvan, 2012)

Variant Treatment	2004					2005				
	viljavihu analüüs analysis of sheaf			saak yield		viljavihu analüüs analysis of sheaf			saak yield	
	A	B	C	t ha ⁻¹	%	A	B	C	t ha ⁻¹	%
Kontroll / Control	1,12	23,0	44,0	3,03	100	1,46	35,7	41,6	5,63	100
+ Thiovit* 3 kg ha ⁻¹ (S 2,4 kg ha ⁻¹) võrsumisfaasis / at tillering	1,34	29,7	46,1	3,93	130	1,62	33,9	41,7	5,92	105
+ Thiovit 6 kg ha ⁻¹ (S 4,8 kg ha ⁻¹) võrsumisfaasis / at tillering	1,56	33,6	45,8	4,69	155	2,19	32,9	39,5	6,14	109
+ Thiovit 3 kg ha ⁻¹ (S 2,4 kg ha ⁻¹) kõrsumisfaasis / at stem elongation	1,12	25,8	46,4	3,35	111	–	–	–	–	–
+ Thiovit 6 kg ha ⁻¹ (S 4,8 kg ha ⁻¹) kõrsumisfaasis / at stem elongation	1,28	29,4	49,4	4,39	145	1,57	37,2	42,4	5,76	102
PD / LSD ₀₅	0,07	3,6	4,4	0,54	17	0,18	1,6	3,1	0,44	7

Kontrollvariant / Control: ammoniumsalpeetrina / as ammonium nitrate – N 60 kg ha⁻¹ võrsumisfaasis (EC 21) / at tillering + N 60 kg ha⁻¹ kõrsumisfaasis (EC 31–32) / at stem elongation.

* Thiovit Jet – fungitsiid (S 800 g kg⁻¹). A – produktiivvõrsete arv taime kohta / productive sprouts per plant; B – terade arv peas / number of grains per ear; C – 1000 tera mass, g / 1000 grain weight.

Thioviiti kasutamine 2005. aastal andis usutava enamsaagi (+ 9%) ainult ühe variandi puhul. Väävli lahusega pritsimise tagasihoidlik mõju võis olla tingitud sellest, et talinisu sai väävli tarbe suures osas rahuldatud mullavarude arvelt, sest tingimused mulla väävliühendite lahustumiseks olid soodsamad (pH 5,6, kevad soe ja niiske) kui olid olnud eelmisel aastal (pH 7,2, kevad külm ja sademeteta).

Teises lehekaudse väetamise katses kasutati väävli allikana ammooniumsulfaati ja Sulfurit, mida lisati mitmesugustes kogustes Silmeti lämmastikvedelväetisega pritsimisel (tabel 5). Talinisu pritsiti võrumise ja kõrsumise algfaasides. Kuna pritsimiskorraga antav vedelväetise kogus oli suur ($N\ 60\ kg\ ha^{-1}$, s.o. $\sim 350\ l\ ha^{-1}$), sattus osa sellest ka maapinnale ja toimis tõenäoliselt talinisu juurekava kaudu. Kuigi tegemist oli tugeva-kontsentratsioonilise ammooniumsalpeetri lahusega ($N\ \sim 170\ g\ l^{-1}$), ei põhjustanud see esimesel pritsimisel lehepõletusi, küll aga tekitas massiliselt lehepõletusi hilisem pritsimine (Järvan, 2012). Ka Phillips ja Mullins (2004) andmeil on kõrsumisfaasi alguses N- ja NS-väetiste lahustega pritsimine tekitanud lehepõletusi. Kuid vaatamata lehepõletustele saadi kontrollvariandis ($N\ 60 + 60\ kg\ ha^{-1}$) 21% võrra suurem saak kui väetiseta variandis (Järvan, 2012). Väävli lisamine lämmastikvedelväetise lahusesse suurendas 2004. aasta tingimustes nii produktiivset võrumist ja terade arvu peas kui ka saagikust. Saagikuse seisukohalt oli täiesti

piisav, kui lehekaudsel anti väävli (S) kahe väetamiskorraga kokku umbes $6\ kg\ ha^{-1}$.

2005. aasta varakevadel oli talinisu taimik lumiseene tõttu tublisti hõrenenud, kuid hiljem võrsus see intensiivsemalt kui eelmisel aastal. Pealtväetamisel lämmastikvedelväetisesse ammooniumsulfaadi ja Sulfuri vormis lisatud väävel soodustas eriti tugevalt produktiivvõrsete väljaarenemist, nende arv ühe taime kohta suurenes 20–54%. Samal ajal aga vähenes 1000 tera mass. Olulised nihked saagistruktuuri elementides ei kajastunud saagi suurus, sest sel aastal oli katsevariantide saagitase üsna ühesugune (Järvan, 2012).

Toiduteravilja puhul on tavaliste kvaliteedinäitajate kõrval (niiskus, mahumass, langemisarv), mida on mõjutanud peamiselt ilmastik, koristamine, kuivatamine ja sorteerimine, veelgi olulisemad saagi bioloogilise kvaliteedi näitajad. Nende hulgas on tähtsaim proteiini sisaldus, eriti just mitmesuguste valgugruppide sisaldus ja kvaliteet. Proteiinisisaldust on võimalik suurendada küll lämmastikuga väetamisega, kuid sel juhul tavaliselt halveneb proteiini bioloogiline väärtus, sest suureneb väheväärtuslike reservvalkude osakaal ning väheneb vees ja soolas lahustuvate valkude sisaldus. Valkude bioloogilist väärtust näitab asendamatu aminohapete osakaal aminohapete üldhulgas (Lepajõe, 1984; Järvan jt, 2006). Väävli sisaldavad aminohapped metioniin ja tsüsteiin on nisu küpsetusomaduste seisukohalt väga olulised (Hagel, 2005; Järvan jt, 2006).

Tabel 5. Lehekaudsel antud väävelväetiste mõju talinisule 'Lars' Saku katsetes 2004–2005 (Järvan, 2012)

Table 5. The effect of foliar applied sulphur on winter wheat in the field experiments at Saku (Järvan, 2012)

Variant Treatment	2004					2005				
	viljavihu analüüs analysis of sheaf			saak yield		viljavihu analüüs analysis of sheaf			saak yield	
	A	B	C	t ha ⁻¹	%	A	B	C	t ha ⁻¹	%
Kontroll / Control	1,20	27,7	45,2	3,54	100	2,24	41,7	41,6	5,51	100
+ S _{AS} 3 + 3 kg ha ⁻¹	1,51	33,7	43,7	5,09	144	2,79	39,4	41,0	5,71	104
+ S _{AS} 6 + 6 kg ha ⁻¹	1,68	33,3	44,6	5,27	149	3,45	38,8	34,4	5,58	101
+ S _{Su} 1,7 + 1,7 kg ha ⁻¹	1,52	32,7	43,4	4,49	127	2,70	38,4	38,5	5,47	99
+ S _{Su} 3,4 + 3,4 kg ha ⁻¹	1,70	32,6	42,1	4,95	140	2,89	37,4	42,7	5,56	101
+ S _{Su} 5,1 + 5,1 kg ha ⁻¹	1,65	32,7	40,8	4,99	141	–	–	–	–	–
PD / LCD ₀₅	0,19	4,0	1,9	0,41	12	0,33	4,2	2,9	0,52	9

Kontroll / Control: 2004 – Silmeti vedelväetisega ($N\ \sim 170\ g\ l^{-1}$) võrumise faasis (EC 21) $N\ 60\ kg\ ha^{-1}$ + kõrsumise faasis (EC 31–32) $N\ 60\ kg\ ha^{-1}$ / in 2004 – as Silmet's liquid fertilizer ($N\ \sim 170\ g\ l^{-1}$): $N\ 60\ kg\ ha^{-1}$ at tillering (EC 21) + $N\ 60\ kg\ ha^{-1}$ at stem elongation (EC 31–32); 2005 – ammooniumsalpeetrina $N\ 34\ kg\ ha^{-1}$ (EC 21) + Silmeti vedelväetisega $N\ 40\ kg\ ha^{-1}$ (EC 24) ja $N\ 40\ kg\ ha^{-1}$ (EC 31–32) / in 2005 – $N\ 34\ kg\ ha^{-1}$ as ammonium nitrate, and $N40 + N40\ kg\ ha^{-1}$ as Silmet's liquid fertilizer.

S_{AS} – väävel (S) ammooniumsulfaadina (N21 S24) / sulphur (S) as ammonium sulphate; S_{Su} – Sulfur F3000 (S 340 g l⁻¹) / as Sulphur F3000. A – produktiivvõrsete arv taime kohta / productive sprouts per plant; B – terade arv peas / grains per ear; C – 1000 tera mass, g / 1000 grain weight.

Nisujahu tehnoloogilised omadused ja valmistoote kvaliteet olenevad mitte niivõrd kleepvalgu kontsentratsioonist, kuivõrd selle kvaliteedist, mida omakorda on võimalik mõjutada väävli kättesaadavusega (Järvan jt, 2012b; 2017). Kleepvalgu kvaliteeti näitab gluteenindeks (GI), mis väljendab pärast tsentrifuugimist spetsiaalsele sõelale jäänud kleepvalgu suhet kleepvalgu koguhulgaga (Perten, 1990). Selle väärtus näitab gluteeni tugevust – kas gluteen on küpsetusomaduste seisukohalt nõrk (GI < 30%), normaalne (GI 30–80%) või tugev (GI > 80%) (Oikonomou jt, 2015). Kesk-Euroopa nisusortide optimaalne gluteenindeks saiatoodete valmistamiseks on 75–90% (Curic jt, 2001).

Meie katsetes, mis viidi läbi Sakus rähkmullal, selgus, et väävliga väetamise mõju talinisule oleneb kasvuaastate ilmastikust (Järvan jt, 2012a; 2012b). Aastate 2004–2008 keskmisena oli talinisu saagikus NS-variandis $1,16\ t\ ha^{-1}$ ehk 21,7% võrra suurem kui N-variandis (tabel 6). Kõikides katsetes aga kaasnes saagi suurenemisega proteiini- ja kleepvalgu sisalduse vähenemine. Selle põhjuseks võis olla proteiini nn lahjenemise efekt. Thomason jt (2007) järgi on nisu saagikus ja proteiinisisaldus pöördvõrdelises sõltuvuses just tingituna proteiini nn lahjenemisest taime sees. Ka Hoel (2011) on märkinud, et väävliga väetamisel kaasneb saakide suurenemisega proteiinisisalduse vähenemine.

Kuigi meie katsetes vähenes väävli mõjul nisu proteiini- ja kleepvalgu sisaldus, paranes kleepvalgu kvaliteet, sest gluteenindeks suurenes usaldusväärselt (väljaarvatud 2008. aasta tingimustes). NS variandis oli nisusaagi gluteenindeks piirides 51–90% (keskmiselt 74%). Gluteenindeksi selliste väärtuste puhul võib loota, et jahu ja taigen on heade tehnoloogiliste omadustega ning lõpptoode (sai) kvaliteetne (Curic jt, 2001; Järvan jt, 2017). Bonfil ja Posner (2012) siiski mainivad, et terasaagi gluteenindeks ei korreleeru kuigi hästi küpsetise kvaliteedinäitajatega, sh pätsi mahuga, sest need seosed sõltuvad ka tehnoloogilistest protsessidest, nt jahvatamisest. Väävli toimel kiireneb valkude ainevahetusrada ja suureneb väävli sisaldavate aminohapete – tsüsteiini ja metioniini – sisaldus proteiinis

(Reinbold jt, 2008; Klikocka jt, 2016). Mõlemad aminohapped omavad suurt tähtsust nisujahu küpsetuskvaliteedi väljakujunemises (MacRichie, Gupta, 1993; Reinbold jt, 2008; Järvan jt, 2006; 2017).

Sakus rähkmullal läbiviidud katsetes oli väävli mõju mõnede oluliste aminohapete sisaldusele aastate lõikes erinev. Nelja aasta keskmisena suurendas väävliga väetamine tsüsteiini ja metioniini sisaldust talinisu terades vastavalt 11,9% ja 20,1% ning ümber arvestatult proteiinile – vastavalt 20,4% ja 28,1%. Seega, väävliga väetamisel paranes proteiini bioloogiline kvaliteet ja sellest tulenevalt jahu küpsetusomadused ning saia kvaliteet (Järvan jt, 2008; 2012b; 2017).

Table 6. Väävliga väetamise mõju talinisu saagile ja proteiini bioloogilisele kvaliteedile Saku katsetes aastatel 2004–2008

Table 6. The effect of sulphur fertilization on the yield and protein biological quality of winter wheat in the field experiments at Saku in 2004–2008

Katsekoht* aasta, variant <i>Treatment</i>	Saak, t ha ⁻¹ <i>Yield</i> t ha ⁻¹	Proteiin, % <i>Protein,</i> %	Kleep- valk, % <i>Wet</i> <i>Gluten,</i> %	Gluteen- indeks, % <i>Gluten</i> <i>Index,</i> %	Aminohapped terades, g kg ⁻¹ <i>Amino acids in grain, g kg⁻¹</i>				Aminohapped proteiinis, g kg ⁻¹ <i>Amino acids in protein, g kg⁻¹</i>			
					CYS	THRE	METH	LYS	CYS	THRE	METH	LYS
2004												
0	3,15	10,6	23,0	77	2,60	3,17	2,04	4,88	24,5	29,9	19,2	46,0
N100	3,44	14,1	31,9	45	2,34	3,73	1,86	5,24	16,6	26,7	13,2	37,2
N100 S10	4,92	11,6	25,1	74	2,53	3,75	2,14	4,66	21,8	32,3	18,4	40,2
PD/LSD ₀₅	0,27	0,7	1,8	7	0,07	0,28	0,04	0,05				
2005												
0	4,58	11,1	21,9	79	2,35	2,82	1,77	3,28	21,2	25,4	15,9	29,5
N100	5,08	13,9	31,5	32	2,23	2,74	1,26	3,13	16,0	19,7	9,1	22,5
N100 S10	5,88	13,4	30,2	51	2,91	3,40	1,98	3,65	21,7	25,4	1,8	27,2
PD/LSD ₀₅	0,32	0,4	0,9	11	0,31	0,16	0,19	0,23				
2007												
0	3,47	7,9	11,2	98	1,47	3,09	1,12	2,56	18,6	39,1	14,2	32,4
N100	5,66	10,6	22,8	75	1,74	4,03	1,34	2,77	16,4	38,0	12,6	26,1
N100 S10	5,92	10,1	21,0	90	1,76	3,90	1,40	2,53	17,4	38,6	13,9	25,0
PD/LSD ₀₅	0,36	0,4	0,6	5	0,08	0,23	0,07	0,15				
2008												
0	3,44	7,8	11,7	90	1,25	2,01	0,95	2,68	16,2	25,8	12,2	34,5
N100	7,20	10,4	19,4	79	1,45	2,43	1,11	3,17	13,9	23,4	10,7	30,5
N100 S10	9,26	10,2	18,6	80	1,48	2,41	1,15	3,44	14,6	23,6	11,3	33,7
PD/LSD ₀₅	0,84	0,7	0,9	7	0,14	0,21	0,13	0,30				
2004–2008												
0	3,66	9,4	17,0	86	1,92	2,77	1,47	3,35	20,1	30,0	15,4	35,6
N100	5,34	12,2	26,4	58	1,94	3,23	1,39	3,58	15,7	27,0	11,4	29,1
N100 S10	6,50	11,3	23,7	74	2,17	3,36	1,67	3,57	18,9	30,0	14,6	31,5
PD/LSD ₀₅	0,36	0,7	0,8	7								

Auksis kahkjäl mullal 2005. ja 2009. aastal läbiviidud põldkatsetes (tabel 7) ei olnud väävliga väetamine efektiivne, sest usutatavat saagitõusu ei saavutatud – seda tõenäoliselt eespool kirjeldatud põhjustel. Siiski, 2005. aasta tingimustes paranes väävli mõjul proteiini bioloogiline kvaliteet – suurenes gluteenindeksi väärtus ning tsüsteiini ja metioniini sisaldus talinisu terades.

Nisujahu küpsetusomadused sõltuvad paljudest teguritest, millest tähtsamad on õige sordivalik, ilmastikutingimused ja agrotehnika, sealhulgas väetamine (Rozbicki jt, 2015; Järvan jt, 2017). Väetamise valdkonnas mõjutab jahu ja taigna tehnoloogilisi omadusi ning lõpptoote kvaliteeti eriti oluliselt nisu varustus väävliga, sealhulgas lämmastiku ja väävli suhe (MacRichie, Gupta, 1993; Zhao jt, 1999b; Hagel, 2005). Heade küpsetusomaduste tagamiseks peab lämmastiku ja väävli suhe (N : S) talinisu terades olema väiksem kui

17 (Zhao jt, 1995; Hagel, 2005). Sakus aastail 2004–2007 läbiviidud katsetes oli talinisu 'Lars' terades N : S suhe kontroll- ehk N-variandis 17,0–20,8 ja NS-variandis 13,0–15,2. Seega, ainult lämmastikuga väetamisel ei vastanud saak toidunisu nõuetele, kuid väävli mõjul kvaliteet paranes (Järvan jt, 2006; 2008; 2009).

Meie talinisu katsete olulisematelt väetusvariantidelt kogutud saagipartiidega viidi läbi küpsetusomaduste määramine vastavalt Järvan jt (2017) avaldatud metoodikale. Kuu aega pärast terade jahvatamist määrati laagerdunud jahu niiskus, toorproteiini ja kleepvalgu sisaldus ning gluteenindeks. Taigna reoloogiliste omaduste (veesidumisvõime, taigna moodustumise aeg, pehmenemise aste, stabiilsus ja kvaliteedinumber) määramine toimus farinograaf Brabenderi abil. Küpsetise staadiumis määrati pätsi ruumala, eriruumala, poorsus ning ümaral tootel kõrguse ja läbimõõdu suhe (tabel 8).

Tabel 7. Väevliga väetamise mõju talinisule saagile ja proteiini bioloogilisele kvaliteedile Auksi põldkatsetes**Table 7.** The effect of sulphur fertilization on the yield and protein biological quality of winter wheat in the field experiments at Auksi

Katsekoht* aasta, variant Treatment	Saak, t ha ⁻¹ Yield, t ha ⁻¹	Proteiin Protein %	Kleep- valk Wet gluten %	Gluteen- indeks Gluten index	Aminohapped terades Amino acids in grain, g kg ⁻¹				Aminohapped proteiinis Amino acids in protein g kg ⁻¹			
					CYS	THRE	METH	LYS	CYS	THRE	METH	LYS
2005												
0	3,37	11,5	20,8	86	2,42	2,95	1,82	4,55	21,0	25,6	15,8	39,6
N100	6,08	13,2	27,6	61	2,75	3,63	2,11	5,11	20,8	27,5	16,0	38,7
N100 S10	6,55	13,7	29,3	82	3,10	3,53	2,29	5,30	22,6	25,8	16,7	38,7
PD/LSD ₀₅	0,51	0,8	2,5	15	0,31	0,19	0,16	0,45				
2009												
0	5,43	11,8	22,9	86	2,18	3,17	1,55	3,07	18,5	26,9	13,1	26,0
N100	8,56	12,6	27,0	77	2,47	3,49	1,77	3,27	19,6	27,7	14,0	26,0
N100 S10	8,65	12,4	26,3	80	2,36	3,46	1,78	3,08	19,0	27,9	14,4	24,8
PD/LSD ₀₅	0,43	0,7	3,6	12	0,10	0,29	0,21	0,36				
Keskmine /Average												
0	4,40	11,5	21,8	86	2,30	3,06	1,68	3,81	19,8	26,2	14,4	32,8
N100	7,32	12,9	27,3	69	2,61	3,56	1,94	4,19	20,2	27,6	15,0	32,4
N100 S10	7,60	13,1	27,8	81	2,73	3,50	2,04	4,19	20,8	26,8	15,6	31,8
PD/LSD ₀₅	0,46	0,7	3,3	9	0,27	0,21	0,16	0,39				

Tabel 8. Väevliga väetamise mõju talinisule küpsetusomadustele (Järvan jt, 2017)**Table 8.** The influence of sulphur fertilization on bread-baking properties of winter wheat (Järvan et al., 2017)

Näitaja Property	Katsekoht, aasta, väetamine saagiaastal (N ja S kg ha ⁻¹) Location, year, fertilizer rate (N and S kg ha ⁻¹)									
	Saku 2004		Saku 2005		Saku 2007		Auksi 2009		Auksi 2010	
	N100	N100 S10	N100	N100 S10	N100	N100 S14	N100	N100 S7	N102	N102 S39
Jahu / Flour										
Proteiin / Protein, %	12,3	10,4	12,2	11,7	9,4	9,0	11,8	11,6	11,8	11,6
Kleepvalk, % Wet gluten, %	31,8	28,6	33,3	31,8	23,6	22,3	28,7	27,8	25,8	24,3
Gluteenindeks Gluten index	49	79	48	78	69	94	74	76	98	96
Taigna / Dough										
Veesidumisvõime, % Water absorption, %	62,6	60,0	62,2	57,9	58,0	56,3	58,6	57,8	56,5	55,4
Moodustumise aeg, min Development time, min	2,5	2,4	2,5	3,0	1,9	1,9	5,5	5,3	3,0	3,3
Pehmenemise aste Degree of softening	70	76	154	120	103	100	67	65	40	36
Stabiilsus, min Stability, min	3,8	5,1	1,6	4,0	3,6	4,2	8,5	8,4	15,1	16,6
Kvaliteedinumber Quality number	50	59	32	49	33	37	79	78	53	54
Sai / Bread										
Pätsi ruumala, cm ³ Volume, cm ³	1414	1457	1604	1765	1597	1561	1769	1766	1415	1480
Eruumala, cm ³ g ⁻¹ Specific volume, cm ³ g ⁻¹	3,57	3,69	4,14	4,58	4,32	4,21	4,70	4,60	3,73	3,91
Kõrgus : diameeter Height : diameter	0,31	0,40	0,40	0,54	0,37	0,45	0,52	0,51	0,48	0,51
Poorsus, 1:10 Porosity, 1:10	4	6	3	6	4	6	5	8	6	7

Jahu veesidumisvõime sõltub proteiinisaldusest (Dowell jt, 2008). Seda võis järeltada ka Sakus toimunud katsete põhjal – mida kõrgem oli nisu proteiinisaldus, seda rohkem sidus jahu vett. Rozbicki jt (2015) märgib, et eriti palju sõltub jahu veesidumisvõime aastate erinevustest.

Meie katsetes ei ilmnunud usutatavat seost väevliga väetamise ja jahu veesidumisvõime vahel ($r = 0,750$, $p > 0,05$). Taigna moodustumise aeg ja pehmenemise aste, mis on olulised tehnoloogilised näitajad pagaritööstuste jaoks, ei sõltunud samuti väevliga väetamisest. Küll aga selgus, et väevli mõjul suurenes taigna stabiilsus ($r = 0,898$, $p < 0,05$) ja farinograafi kvaliteedinumber ($r = 0,917$, $p < 0,01$) (Järvan jt, 2017).

Paljudel juhtudel on uuritud, kas lähtematerjali (terad, jahu) mingite näitajate, näiteks proteiini või kleepvalgu sisalduse järgi saab ennustada lõpptootet (leiva) kvaliteeti (Dowell jt, 2008; Popa jt, 2014; Thanhäuser jt, 2014; Malalgoda jt, 2018). Teadlaste seisukohad selle osas on olnud vastandlikud. Konkreetse jahu küpsetuskvaliteedi hindamise enamlevinud ja usaldusväärseimaks meetodiks on siiski küpsetuskatse ehk prooviküpsetus, kusjuures tähtsaimaks kriteeriumiks peetakse pätsi ruumala.

Meie küpsetuskatsetes varieerus pätsi ruumala olenevalt aastast ja väetusvariandist (tabel 8). Talinisule väetamine väevliga suurendas pätsi mahtu ($r = 0,842$, $p < 0,05$) ja ümara toote puhul pätsi kõrguse ja

diameetri suhet ($r = 0,801$, $p < 0,05$). Väavli mõjul paranes ka sisu poorsus (Järvan jt, 2017).

Väavli mõju talinisule uuriti 2006. aastal ka tootmis-tingimustes Lõuna-Eestis kahel erineva viljakusega põllul (tabel 9). Lämmastikunorm jäi suhteliselt madalaks (kokku $N 75 \text{ kg ha}^{-1}$), sest põuase suve tõttu ei pidanud tootja otstarbekaks anda nisule pealtväetist veel ka kõrsumisfaasis – nagu ta esialgu oli planeerinud. Selle aasta tingimustes avaldus väavli mõju eriti tugevalt: Axaniga väetatud põlluosal oli saak madalama viljakusega põllu puhul 39,8% suurem ja viljakama põllu puhul 45,5% suurem kui ammoniumsalpeetriga väetatud põlluosal. Väavliga väetamine

parandas oluliselt talinisu kvaliteeti – suurenesid nii proteiini- ja kleepvalgusisaldus kui ka aminohapete sisaldus. Väavliga väetamise mõjul paranesid olulised küpsetuskvaliteedi näitajad: jahu veesidumisvõime, taigna stabiilsus ja kvaliteedinumber, pätsi ruumala ja eriruumala ning ümmarguse pätsi kõrguse ja diameetri suhe. Väavlit variandi talinisust ei olnud sel aastal võimalik saada normaalse ruumala ja ilusa välimusega küpsetist (Järvan jt, 2008; 2009). Hagel (2005) märgib, et väavlipuuduses kasvanud talinisu jahust valmistatud taigen on tugev ega võimalda normaalset paisumist, seetõttu jääb küpsetise ruumala väikeseks.

Tabel 9. Väetiste mõju talinisule 'Lars' tootmiskatsetes 2006. aastal (Järvan jt, 2009)

Table 9. The effect of fertilization on the winter wheat (var. 'Lars') on production fields in 2006 (Järvan et al., 2009)

Näitajad / Properties	Katse nr 1 / Trial No 1		Katse nr 2 / Trial No 2	
	N75	N75 S10	N75	N75 S10
Saak, $t \text{ ha}^{-1}$ / Yield, $t \text{ ha}^{-1}$	3,39	4,74	5,36	7,80
Terad / Grain				
Proteiin, % / Protein, %	10,6	12,0	9,9	13,0
Kleepvalk, % / Wet gluten, %	20,6	24,7	17,4	26,1
Gluteenindeks / Gluten index	97	88	99	96
Tsüsteiin / Cystein, $g \text{ kg}^{-1}$	2,03	2,56	1,93	2,53
Treoniin, $g \text{ kg}^{-1}$ / Threonin, $g \text{ kg}^{-1}$	3,75	4,33	3,53	4,68
Metioniin, $g \text{ kg}^{-1}$ / Methionin, $g \text{ kg}^{-1}$	1,48	1,65	1,32	1,66
Lüsiin, $g \text{ kg}^{-1}$ / Lysin, $g \text{ kg}^{-1}$	2,75	2,88	2,48	3,02
Jahu / Flour				
Proteiin, % / Protein, %	9,5	11,0	8,6	11,9
Langemisarv, sek / Falling number, sek	372	377	317	380
Kleepvalk, % / Wet gluten, %	21,9	26,8	19,6	29,1
Gluteenindeks / Gluten index	97	93	97	97
Veesidumisvõime, % / Water absorption, %	55,8	58,3	55,5	60,6
Taigen / Dough				
Moodustumise aeg, min / Development time, min	1,8	1,7	1,5	2,2
Stabiilsus, min / Stability, min	2,9	6,3	2,4	4,2
Pehmenemise aste / Degree of softening	97	76	106	67
Kvaliteedinumber / Quality number	31	40	24	34
Sai / Bread				
Pätsi ruumala, cm^3 / Loaf volume, cm^3	1252	1551	1095	1465
Eriruumala, $\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$ / Specific volume, $\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$	3,34	4,23	2,98	3,92
Kõrgus : diameeter / Height : diameter	0,41	0,54	0,47	0,64
Poorsus 1:10 / Porosity 1:10	4	6	7	6

Katse nr 1 / Trial No 1: Eelvil / Preceding crop – suvini / spring wheat ; mullas / in soil – $\text{pH}_{\text{KCl}} 6,2$, $\text{P}_{\text{Meh}} 81$, $\text{K}_{\text{Meh}} 140 \text{ mg kg}^{-1}$.

Katse nr 2 / Trial No 2: Eelvil / Preceding crop – pikaajaline rohumaa / long-term grassland; mullas / in soil – $\text{pH}_{\text{KCl}} 6,0$, $\text{P}_{\text{Meh}} 211$, $\text{K}_{\text{Meh}} 128 \text{ mg kg}^{-1}$.

Väetamine / Application: N75 – ammonium nitraat / ammonium nitrate: $N 41 \text{ kg ha}^{-1}$ (EC 21–22) + $N 34 \text{ kg ha}^{-1}$ (EC 25–28); N75 S10 – Axan Super (N27 S3,7) / as Axan Super: $N41 S5,5 \text{ kg ha}^{-1}$ (EC 21–22) + $N34 S4,5 \text{ kg ha}^{-1}$ (EC 25–28).

2010. aastal korraldati suuremahuline komplekskatse Viljandimaal Auksis talinisu 'Ada' tootmispõllul ($C_{\text{org}} 2,0\%$, $\text{pH} 6,1$, P ja K sisaldus kõrge, eelvil – taliraps). Kõik agrotehnilised tööd tehti kaasaegse tootliku tehnikaga, katselappide suuruseks kujunes $24 \times 24 \text{ m}$. Komplekskatse koosnes kahest osast ja planeeriti selliselt, et andmed nii saagikuse kui ka saagi kvaliteedinäitajate osas saadi neljas korduses. Esiteks uuriti väavli mõju juhul, kui lämmastikunormi ($N 102 \text{ kg ha}^{-1}$) kolmeks osaks jaotamisel ($\hat{a} 34 \text{ kg ha}^{-1}$) kasutada teisel väetamiskorral (võrsumise lõppfaasis) ammoniumsalpeetri asemel ammoniumsulfaati koguses $N34 S39 \text{ kg ha}^{-1}$. Sel juhul suurenes talinisu saagikus väavli mõjul $1,64 \text{ t ha}^{-1}$ ehk 30%, mis võimaldas saada enamtulu 209 € ha^{-1} . Teiseks uuriti taimekaitsetöödel pritsimislahusesse lisatud mõnede väavlit sisaldavate preparaate mõju. Talinisu võrsumisfaasis tehtud

umbrohutõrjel lahusesse lisatud Sulfur F3000 (5 l ha^{-1}) toimet suurenes saagikus samuti 30% ja selle arvel saadi enamtulu 206 € ha^{-1} . Loomisfaasis tehtud haigustõrjel Folicuri lahusesse lisatud Thiovit Jet (normiga $S 8 \text{ kg ha}^{-1}$) mõju jäi tagasihoidlikuks – tõenäoliselt väavli andmiseks liiga hilise aja tõttu: nisusaak suurenes $0,38 \text{ t ha}^{-1}$ ehk 5,9% (Järvan, 2011).

Komplekskatselt kogutud saagiproovide analüüsil selgus, et väavliga väetamine praktiliselt ei mõjutanud saagi esmaseid kvaliteedinäitajaid (langemisarv, proteiini ja kleepvalgu sisaldus ning gluteenindeks), kuid mõnevõrra paranes valgu kvaliteet, sest oluliste aminohapete (tsüsteiin, metioniin) sisaldus suurenes. Küpsetustestid näitasid, et mitmed küpsetuskvaliteedi parameetrid (taigna stabiilsus ja kvaliteedinumber, pätsi ruumala, ümara toote kõrguse ja diameetri suhe,

sisu struktuur ja poorsus) olid väävelväetist saanud talinisu puhul paremad (Järvan, 2011).

Järeldused

1. Pikaajalise uurimistöo tulemustest järeldub, et väävel on talinisu kasvatamisel ülimalt tähtis toiteelement ning selle tarve tuleb rahuldada juba taime varajases kasvufaasis – see tagas suurema arvu produktiivvõrseid ja teri viljapeas, suurendades seega saagikust. Väävliga väetamise efektiivsus olenes aastast ja kasvukoha tingimustest. Antud uuringu tulemustest selgus, et lämmastikuga üheaegselt antud väävel vahekorras 10 : 1 suurendas talinisu saagikust karbonaatsel rähkmullal 5–44% (aastate keskmisena 22%) ja kahkjäl mullal 0–35% (keskmiselt 14%).

2. Talinisu väävlivajadust saab rahuldada ka lehekaudse väetamisega, kasutades selleks mitmesuguseid väävlit sisaldavaid aineid. Fungitsiidi Thiovit Jet lahusega (S 4,8 kg ha⁻¹) pritsimine talinisu võrsumisfaasis suurendas terasaaki 9–55% ning see olenes kasvuaasta tingimustest. Eriti ilmses see 2004. aasta tingimustes, kus talinisu pealtväetamine võrsumise ja kõrsumise algaasides lämmastikvedelväetisega, millesse lisati teatud kogus väävlit ammooniumsulfaadi või Sulfur F3000-na, suurendas oluliselt saaki. Ka tootmistingimustes läbiviidud komplekskatsetes saadi umbrohutõrje pritsimislahusesse lisatud Sulfur F3000 toimeolulist saagilisa.

3. Väävliga väetamine mõjutas terasaagi kvaliteeti. Kui Sakus rähkmullal kaasnes saagi suurenemisega proteiini ja kleepvalgu sisalduse vähenemine, kahkjäl mullal Auksis seda ei täheldatud. Kuid mõlemas katsekohas suurenes väävlit mõjul gluteenindeks ja väävlit sisaldavate aminohapete (tsüsteiin, metioniin) sisaldus, seega kleepvalgu kvaliteet paranes, mis on toidunisu küpsetuskvaliteedi seisukohalt eriti oluline.

4. Farinograafiliste uuringutega sedastati, et talinisu jahust valmistatud taigna mitmed reoloogilised ja tehnoloogilised omadused olenesid nisu kasvuaegsest väävliga varustatusest. Väävliga väetamine suurendas statistiliselt usutavalt taigna stabiilsust ja kvaliteedinumbrit ning parandas ka lõpptoodangu kvaliteeti – suurenes pätsi maht, ümara toote kõrguse ja diameetri suhe ning paranes sisu poorsus.

5. Aastate jooksul läbi viidud küpsetuskatsetest selgus, et lõpptoodangu hea kvaliteedi tagamiseks ei pea kleepvalgu kogus olema alati kõrge. Ka väiksema kleepvalgu kogusega on võimalik saada head kvaliteeti. Lõpptulemus oleneb mitte niivõrd valgu kogusest, kuivõrd selle koostisest ehk kvaliteedist. Meie pikaajalised uurimistulemused ja prooviküpsetused lubavad teha järelduse, et talinisu optimaalsel ajal ja optimaalse normiga väävliga väetamine võimaldab parandada kleepvalgu kvaliteeti ning sellest tulenevalt jahu küpsetusomadusi ja küpsetise kvaliteedinäitajaid

Nüüdseks on sügavalt juurdunud teadmine, et talinisu, eriti toidunisu jaoks on väävel esmatähtis toiteelement. NS-väetiste kasutamist talinisu kasvatamisel peavad tootjad obligatoorseks, see tagab suurema saagikuse ja on seega majanduslikult õigustatud.

Väävliprobleemi teadvustamisele ja lahenduste leidmisele on tõenäoliselt veidigi kaasa aidanud ka Eesti Maaviljeluse Instituudis paljude aastate jooksul tehtud uuringud, põllu- ja õppepäevad ning vastavateemalised esinemised ja publikatsioonid.

Tänuavaldused / Acknowledgements

Uuringud on teostatud Maaeluministeeriumi rahastatud rakendusuuringuprojektide "Täiendavate agrotehniliste võtete abil põllukultuuride kasvu- ja toitumistingimuste parandamise ning kasvatamise tasuvuse suurendamise uurimine" (2003–2007) ja "Tera- ja kaunviljade ning õlikultuuride toidu- ja söödakvaliteedi parandamise võimaluste selgitamine, rakendades majanduslikult efektiivseid ning keskkonnasäästlikke agrotehnoloogilisi meetmeid" (2006–2010) raames. Projektijuht ja käesoleva artikli autor tänab Ando Adamsoni, Liina Edesit ja Mati Kuusklat põldkatsete läbiviimisel ja andmete kogumisel osutatud abi eest ning Lea Lukmet nisu küpsetuskatsete läbiviimise ja küpsetuskvaliteedi hindamise eest.

Huvide konflikt / Conflict of interest

Autor kinnitab artikliga seotud huvide konflikti puudumist. *The author declares that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.*

Autorite panus / Author contributions

MJ (100%) katsete planeerimine, analüüside ja määramiste kavandamine, andmete kogumine, analüüs ja tõlgendamine, erialakirjanduse otsimine ja läbitöötamine, artikli kirjutamine ja toimetamine.

MJ (100%) study conception and design, acquisition, analysis and interpretation of data, drafting, editing and critical revision of the manuscript.

Kasutatud kirjandus

- Adamson, A., Järvan, M. 2006. Väävlit mõju talinisu saagistruktuuri elementidele ja saagikusele. – EMVI teadustööde kogumik, LXXI (71):61–66.
- Bonfil, D.J., Posner, E.S. 2012. Can bread wheat quality be determined by gluten index? – *Journal of Cereal Science*, 56(2):115–118.
- Burke, J.J., Holloway, P., Dalling, M.J. 1986. The effect of sulphur deficiency on the organisation and photosynthetic capability of wheat leaves. – *Journal of Plant Physiology*, 125:371–375.
- Curic, D., Karlovic, D., Tusil, D., Petrovic, B., Dugum, J. 2001. Gluten as standard of wheat flour quality. – *Food Technology and Biotechnology*, 39(4):353–361.
- Dowell, F.E., Maghirang, E.B., Pierce, E.O., Lookhart, G.L., Bean, S.R. *et al.* 2008. Relationship of bread quality to kernel, flour, and dough properties. – *Cereal Chemistry*, 85:82–91.
- FAO-UNESCO. 1994. Soil Map of the World. Revised Legend. FAO, ISRIC. Wageningen, 140 pp.
- Fismes, J., Vong, P.C., Guckert, A., Frossard, E. 2000. Influence of sulphur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.)

- grown on calcareous soil. – *European Journal of Agronomy*, 12(2):127–141.
- Granssee, A. 1997. Aufnahme von elementaren Schwefel über das Blatt bei Weizen- und Rapspflanzen. Forschungsbericht 01.01.1995–31.12.1996), Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg.
- Grennfelt, P., Hov, O. 2005. Regional air pollution at a turning point. – *Ambio*, XXXIV(1):2–10.
- Györi, Z. 2014. Comparison of N and S contents of different winter wheat flour samples. – *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*, 7:81–87.
- Hagel, I. 2005. Sulphur and baking quality of bread-making wheat. – *Landbauforschung Volkenrode, Special Issue*, 283:23–36.
- Hannolainen, E., Lemetti, I., Kärblane, H., Kanger, J. 2002. Väävelväetiste vajadusest. – *EMVI infoleht*, 67:1–4.
- Holford, I.C. 1997. Comparative requirements of sulphur by cereals and legumes. – *Australian Journal of Agricultural Research*, 22(6):879–884.
- Honermeier, B., Schäfer, T. 2008. Wirkung der N- und S-Düngung auf Kornertrag und Backqualität von Winterweizen. – *GetreideMagazin*, 2:100–103.
- Hoel, B.O. 2011. Effects of sulphur application on grain yield and quality, and assessment of sulphur status in winter wheat. – *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science*, 61:499–507.
- Järvan, M. 2007. Põllukultuuride lehekaudsest väetamisest. – Soovitusi põllukultuuride kasvatajatele (koostaja M. Järvan). Saku, AS Rebellis, lk 14–17. <https://www.etki.ee/index.php/publikatsioonid/raamatud#soovitusi-põllukultuuride-kasvat>
- Järvan, M. 2008. Väävel taimele tootumises. Saku, AS Rebellis. 89 lk. <https://www.etki.ee/index.php/publikatsioonid/raamatud#väävel-taimele-tootumises>
- Järvan, M. 2011. Teraviljade toidu- ja söödakvaliteedi ning küpsetusomaduste parandamise võimaluste uurimine Eesti omamaise toiduviljaga varustatuse suurendamise eesmärgil. – Põllukultuuride saak ja kvaliteet sõltuvalt agrotehnikast (koostaja M. Järvan). Saku, AS Rebellis, lk. 11–31. <https://www.etki.ee/index.php/publikatsioonid/raamatud#põllukultuuride-saak-ja-kvaliteet>
- Järvan, M. 2012. Lehekaudsel antud väävlil mõju talinisu saagikusele, saagi kvaliteedile ja küpsetusomadustele. – *Agraarteadus*, 23(1):21–27.
- Järvan, M., Adamson, A. 2004. Kas väävlilipuudus on probleemiks ka nisu kasvatamisel? – *Agronomia* 2004. Teadustööde kogumik 219. Tartu, lk 55–57.
- Järvan, M., Adamson, A. 2005. Pealtväetamisel antud väävlil mõju talinisu saagi kujunemisele. – *Agronomia* 2005. Teadustööde kogumik 220. Tartu, lk 66–68.
- Järvan, M., Edesi, L., Adamson, A. 2009. Väävliliga väetamise mõju talinisu saagikusele, proteiini kvaliteedile ja küpsetusomadustele. – *Agraarteadus*, 20(2):8–15.
- Järvan, M., Edesi, L., Adamson, A. 2012a. Effect of sulphur fertilization on grain yield and yield components of winter wheat. – *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science*, 62(5):401–409.
- Järvan, M., Edesi, L., Adamson, A. 2012b. The content and quality of protein in winter wheat grains depending on sulphur fertilization. – *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science*, 62(7):627–636.
- Järvan, M., Edesi, L., Adamson, A., Lukme, L., Akk, A. 2008. The effect of sulphur fertilization on yield, quality of protein and baking properties of winter wheat. – *Agronomy Research*, 6(2):459–469.
- Järvan, M., Lukme, L., Adamson, A., Akk, A. 2017. Responses of wheat yield, quality and bread-making properties on the sulphur fertilization. – *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science*, 67(5):444–452.
- Järvan, M., Lukme, L., Akk, A. 2006. Väävlil mõju talinisu proteiini bioloogilisele kvaliteedile ja küpsetusomadustele. – *EMVI teadustööde kogumik*, LXXI (71):123–128.
- Kaarli, K., Ilumäe, E., Hansson, A. 2004. Väävlilipuuduse tunnused rapsil. Väävlil väetustarbe hindamine. Kasvuäegne väetamine väävlilipuuduse korral. – *EMVI infoleht*, 121:1–6.
- Klikocka, H., Cybulska, M., Barczak, B., Narolski, B., Szostak, B., Kobińska, A., Nowak, A., Wojcik, E. 2016. The effect of sulphur and nitrogen fertilization on grain yield and technological quality of spring wheat. – *Plant, Soil and Environment*, 62(5):230–236.
- Klikocka, H., Szostak, B., Barczak, B., Kobińska, A. 2017. Effect of sulphur and nitrogen fertilization on the selenium content and uptake by grain of spring wheat. – *Journal of Elementology*, 22(3):985–994.
- Legris-Delaporte, S., Ferron, F., Landry, J., Costes, C. 1987. Metabolization of elemental sulphur in wheat leaves consecutive to its foliar application. – *Plant Physiology*, 85:1026–1030.
- Lepajõe, J. 1984. Nisu. – Tln., Valgus, 136 lk.
- Loudet, O., McGrath, S. 2008. New research paves the ground for changes in the approach to sulphur fertilization. – *New AG International, March*: 78–83.
- 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.
- Malalgoda, M., Ohm, J-B., Meinhardt, S., Simsek, S. 2018. Association between gluten protein composition and breadmaking quality characteristics in historical and modern spring wheat. – *Cereal Chemistry*, 95(29):226–238.
- Marschner, H. 1997. Sulphur supply, plant growth, and plant composition. – In: *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, Cambridge, pp. 261–265.
- McGrath, S.P. 2003. Sulphur: A secondary nutrient? Not anymore! – *New AG International, March* 2003, pp. 70–76.

- McGrath, S.P., Zhao, F.J., Withers, P.J.A. 1996. Development of sulphur deficiency in crops and its treatment. – Proceedings of the Fertilizer Society No. 379. The Fertilizer Society, Peterborough, UK.
- McGrath, S.P., Till, R. 1993. Sulphur uptake following foliar application of elemental sulphur. – Journal of the Science of Food and Agriculture, 63:1210–126.
- Mengel, K., Kirkby, E.A. 1987. Principles of Plant Nutrition, 4th Edition. Bern: International Potash Institute. 687 pp.
- Morris, R. 2003. Sulphur products: A growing demand. – New AG International, March: 24–34.
- Oikonomou, N.A., Bakalis, S., Rahman, M.S., Krokida, M.K. 2015. Gluten index for wheat products : main variables in value and nonlinear regression model. – International Journal of Food Properties, 18:1–11.
- Perten, H. 1990. Rapid measurement of wet gluten by the gluten index. – Cereal Foods World, 35:401–402.
- Phillips, S.B., Mullins, G.L. 2004. Foliar burn and wheat grain responses following top-dress-applied nitrogen and sulphur fertilizers. – Journal of Plant Nutrition, 27(5):921–930.
- Popa, C.N., Tamba-Berehoiu, R.M., Hutan, A.M., Popescu, S. 2014. The significance of some flour quality parameters as quality predictors of bread. – Scientific Bulletin, Series F, Biotechnology, 18:135–140.
- Reinbold, J., Rychlik, M., Asam, S., Wieser, H., Koehler, P. 2008. Concentrations of total glutathione and cysteine in wheat flour as affected by sulphur deficiency and correlation to quality parameters. – Agricultural and Food Chemistry, 56:6844–6850.
- Rossini, F., Provenzano, M.E., Sestili, F., Ruggeri, R. 2018. Synergistic effect of sulphur and nitrogen in the organic and mineral fertilization of durum wheat : grain yield and quality traits in the Mediterranean environment. – Agronomy, 8:189; doi:103390/agronomy8090189.
- Rozbicki, J., Ceglinska, A., Gozdowski, D., Jakubczak, M., Casak-Pietrzak, G. *et al.* 2015. Influence of the cultivar, environment and management on the grain yield and bread-making quality in winter wheat. – Journal of Cereal Science, 61:126–132.
- Salvagiotti, F., Castellarin, J.M., Miralles, D.J., Pedrol, H.M. 2009. Sulphur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. – Field Crops Research, 113(2):170–177.
- Schönherr, J. 2004. Foliar penetration of inorganic nutrients: laws and case studies. – New AG International, June, 68–69.
- Skudra, I., Ruza A. 2017. Effect of nitrogen and sulphur fertilization on chlorophyll content in winter wheat. – Rural Sustainability Research, 37(332):29–37.
- Socorro, M., Sanzo, R., Fabre, L., Meneses, P. 2008. Effect of Thiovit Jet 80 GD as sulfur fertilizer in foliar spray for irrigated rice. Revista Cubana del Arroz, 10(2):160–167.
- Thanhäuser, S.M., Wieser, H., Koehler, P. 2014. Correlation of quality parameters with the baking performance of wheat flours. – Cereal Chemistry Journal, 91:333–341.
- 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 sulphur fertilization for improved bread quality in humid environments. – Cereal Chemistry, 84(5):450462.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. – Weed Research, 14:415–421.
- Zhao, F.J., McGrath, S.P., Crosland, A.R., Salmon, S.E. 1995. Changes in sulphur status of British wheat grain in the last decade, and its geographical distribution. – Journal of the Science of Food and Agriculture, 68(4):507–514.
- Zhao, F.J., Salmon, S.E., Withers, P.J.A., Evans, E.J., McGrath, S.P. 1999a. Responses of bread-making quality to sulphur in three wheat varieties. – Journal of the Science of Food and Agriculture, 79:1865–1874.
- Zhao, F.J., Salmon, S.E., Withers, P.J.A., Monaghan, J.M., Evans, E.J., Shewry, P.R., McGrath, S.P. 1999b. Variation in the bread-making quality and rheological properties of wheat in relation to sulphur nutrition under field conditions. – Journal of Cereal Science, 30:19–31.

REVIEW: The overview of the research on the sulphur application to winter wheat in Estonia

Malle Järvan

Estonian Crop Research Institute, Department of Agrotechnology, Teaduse 4/6, 75501 Saku, Estonia

Summary

Sulphur being rare deficient for agricultural crops before the turn of the last century, 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 also in winter wheat. Sulphur deficiency significantly affects the production and quality of wheat, particularly the baking properties of wheat flour.

In the Estonian Research Institute of Agriculture, the long-term investigations for assessment of sulphur's role in the winter wheat farming were carried out. This study presents a versatile influence of sulphur application – beginning with the influence on the yield formation, grain yield quantity and quality, followed by the one on the biological quality of wheat proteins, and on the bread-making properties of flour and dough, and ending with the one on the quality indices of baked breads.

The field experiments were conducted at Saku in northern Estonia (59°18'N, 24°39'E) and at Auksi in southern Estonia (58°27'N, 25°36'E). The soil type at Saku was calcareous Cambisol, and at Auksi sandy loam haplic Luvisol according to the WRB 2014 classification. In the springs, at the beginning of vegetation season, the content of water-soluble sulphur in the both soils was very low (S 6–12 mg kg⁻¹). For the all experiments, the effect of sulphur as plant nutrient on winter wheat was investigated on the nitrogen background of N 100 or 120 kg ha⁻¹ that was divided into two portions and applied at the beginning and at the end of the wheat tillering. The classical field experiments (2003–2009) were performed on the 25 m² plots in four replications. In 2006 and 2010, the experiments in the conditions of agricultural practice were performed as well. The quality analyses of wheat grains and flours, and baking tests were performed in the plant production laboratory of the Agricultural Research Centre at Saku.

In 2003, for the first time in Estonia, based on the field experiment at Saku, the most significant need for sulphur in winter wheat cultivation was proven: the grain yield for NS-fertilized wheat was by 37% higher than for N-fertilized wheat. With successive many-variant experiments, it was found out that the optimal N and S relationship for winter wheat fertilization is about 10 : 1. The effect of sulphur application depended on weather and soil conditions. Sulphur applied simultaneously with nitrogen as NS-fertilizers broadcast, in most cases increasing the productive sprouting and number of grains per ear, increased the grain yield in calcareous soil by 22% and in Luvisol by 14%, as the average of the experiment years. It was

shown that sulphur deficiency on winter wheat could be alleviated also by foliar fertilization. As sources of sulphur, several S-containing substances *e.g.* Thiovit Jet (S 800 g kg⁻¹), Sulphur F3000 (S 340 g l⁻¹), and ammonium sulphate (N21 S24), were dissolved and added into spraying solutions applied simultaneously with nitrogen fertilization or plant protection. The effectiveness of foliar applied sulphur sprayed in the tillering phase was higher than that of shooting phase.

The sulphur application influenced the quality properties of winter wheat as well. In the conditions of the field experiments at Saku, the increasing yields from the NS-treatments in all cases were accompanied with the significantly decreasing contents of crude protein and wet gluten, compared with those values of the N-treatments. However, regardless of decreasing concentration of proteins, their biological quality was increasing due to S application because the Gluten index and the content of some essential amino acids, especially that of S-bearing cysteine and methionine were increasing. These changes in wheat quality properties are the good predictors that the baking properties of wheat flour were improving under sulphur's influence. The rheological and technological properties of wheat flour and dough were characterized by means of farinograph Brabender. It was resulted that due to the sulphur application several important baking parameters were significantly improving, *e.g.* 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.