

Graudi kā izejviela bioetanola ieguvei

Grain as Raw Material for Bioethanol

Inga Jansone¹, Zinta Gaile²

¹Valsts Stendes graudaugu selekcijas institūts, ²LLU Lauksaimniecības fakultāte

E-pasts: inga.jansone@stendeselekcija.lv

Abstract. *The problem of economical use of energy resources and their production from the renewable is topical all over the world. For the production of bioethanol there are mostly technologies used, where products, containing sugars and starch, are being processed. Under the conditions of Latvia the most appropriate cereals for the production of bioethanol could be cereals with high starch content and low protein content, which are less useful for food. The research objective is to evaluate the suitability of several varieties of winter wheat (*Triticum aestivum* L.), triticale (*Triticosecale* Wittm) and rye (*Secale cereale* L.) for the bio-ethanol production in Latvia. During the research, carried out at State Stende Cereals Breeding Institute in growing seasons 2009/2010 and 2010/2011, on average the highest yield of bioethanol ($L\ ha^{-1}$) was provided by cereals, which represented the highest starch content in grain and yield: winter wheat and triticale.*

Keywords: *winter wheat, winter triticale, winter rye, starch, crude protein, bio-ethanol.*

Ievads

Visā pasaulē aktuāls ir jautājums par energoresursu taupīgu izmantošanu un ražošanu no atjaunojamām izejvielām. Kā vienu no iemesliem straujām klimata izmaiņām min intensīvu fosilās degvielas izmantošanu, piesārņojot atmosfēru ar gāzu izmešiem. Bioetanola ražošana ir viena no pozīcijām, kur var izmantot atjaunojamās izejvielas. Latvijā iekšdedzes dzinējiem atļauts realizēt benzīnu, kam pievienots 5% spirta. Lietojot šādu benzīnu, motors nav tehniski jāpārveido. Bioetanolu galvenokārt ražo no atjaunojamās biomasas, kas satur cukurus, cieti vai lignocelulozi. Eiropas Savienības valstīs bioetanola ražošanai pamatā izmanto labību un cukurbietes. Vairumā gadījumu lieto tehnoloģijas, kurās pārstrādā cukuru un cieti saturošās izejvielas, bet mazāk izmantotas ir tehnoloģijas, kurās etanols tiek ražots no celulozi saturošām izejvielām. Limitējošie faktori bioetanola ražošanai no cietes un cukuru saturošiem produktiem ir ūdens resursu, mēslojuma un pesticīdu plašā izmantošana izejvielu audzēšanā (Biodegvielas izmantošanas..., 2007). Latvijas apstākļos bioetanola ražošanai piemērotākās varētu būt labības ar augstu cietes un zemu proteīna saturu graudos, kas mazāk noderīgas pārtikas vajadzībām.

Pētījuma uzdevums bija vērtēt vairāku ziema kviešu (*Triticum aestivum* L.), tritikāles (\times *Triticosecale* Wittm) un rudzu (*Secale cereale* L.) šķirņu piemērotību bioetanola ieguvei Latvijā.

Materiāli un metodes

Lauka izmēģinājums iekārtots Valsts Stendes graudaugu selekcijas institūtā 2009./10. un 2010./11. gadā. Pirmajā pētījuma gadā izmēģinājums iekārtots velēnu podzolētā augsnē, bet otrajā – velēnu podzolētā gleja augsnē; augsnes granulometriskais sastāvs abos gados bija smilšmāls. Augsnes agroķīmiskais raksturojums: pH KCl – 5.8; organiskās vielas saturs – 23 – 24 g kg⁻¹; P₂O₅ saturs – 187 – 229 mg kg⁻¹; K₂O saturs – 134 – 187 mg kg⁻¹ atkarībā no gada. Augsnes apstākļi bija vidēji piemēroti ziemāju labību audzēšanai pazeminātas augsnes reakcijas dēļ.

Izmēģinājumā pētītas kviešu (*Triticum aestivum* L.) šķirnes: 'Mulan', 'Skalmeje' un Stendes graudaugu selekcijas institūtā izveidotā līnija '99 – 115'; rudzu (*Secale cereale* L.) šķirnes: 'Matador', 'Placido' un 'Dankowskie Nowe'; tritikāles (*×Triticosecale* Wittm) šķirnes: 'SW Valentino', 'Dinaro' un Priekuļu laukaugu selekcijas institūtā izveidotā līnija '0002-26'.

Sēju veica optimālos termiņos un audzēšanas laikā veica arī visus nepieciešamos agrotehniskos pasākumus: mēslošanu un kaitīgo organismu ierobežošanu. Ražu abos gados novāca augu 90. – 92. attīstības etapā un pārrēķināja t ha⁻¹ pie 14% mitruma un 100% tīrības.

Graudu kvalitātes analīzes veica Valsts Stendes graudaugu selekcijas institūta Graudu tehnoloģijas un agroķīmijas laboratorijā, nosakot cietes (LVS ENISO 10520) un slāpekļa (LVS EN ISO 20483) saturu graudos. Kopproteīna satura aprēķinam izmantoja koeficientu 5.7.

Etanolu ieguva Latvijas Universitātes Mikrobioloģijas un biotehnoloģijas institūtā, izmantojot modificētu metodi. Metode pamatojas uz pārcukurota parauga fermentāciju ar spirta raugiem (*Saccharomyces cerevisiae*) (Vigantset et al., 2008). Etanola iznākuma (L t⁻¹) un ražas (L ha⁻¹) aprēķināšanai izmantotas Latvijas Universitātes Mikrobioloģijas un biotehnoloģijas institūta ieteiktās formulas (Vīgants, 2010 – personīga komunikācija).

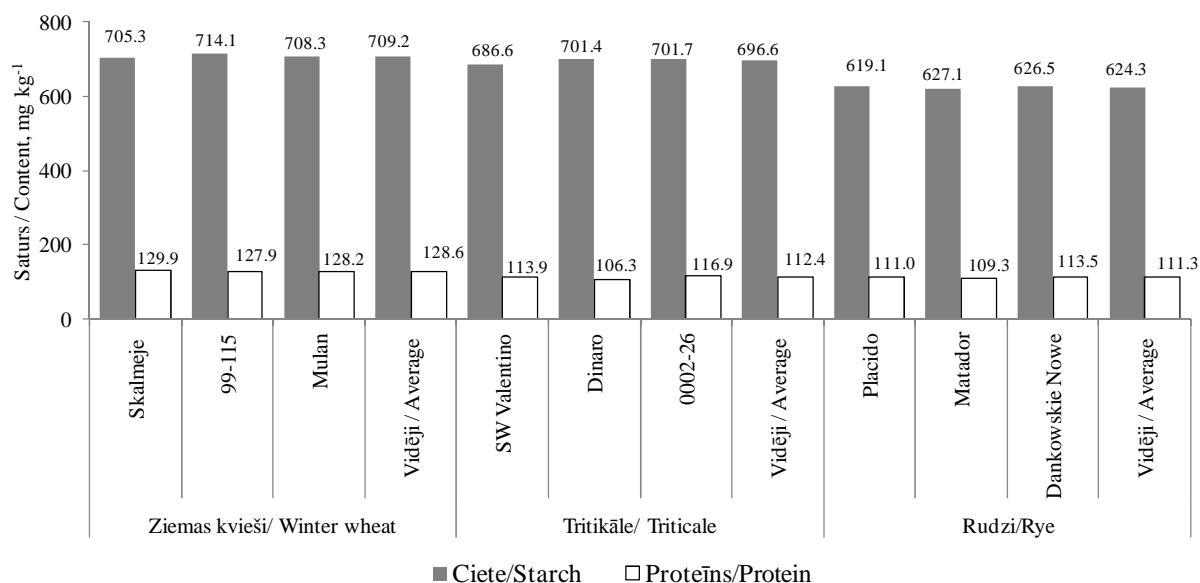
Meteoroloģiskie apstākļi abu gadu rudenos bija piemēroti ziemāju sadīgšanai un cerošanai. Tomēr biežās sniega segas, kas izveidojās novembrī uz nesasalušas augsnes, nelabvēlīgi ietekmēja ziemāju pārziemošanu. Pavasarī ziemāju veģetācija atsākās abos gados aprīļa pirmajā dekādē. 2010. gada vasarā bija samērā sauss un karsts laiks, kas samazināja iespējamo ziemāju ražu, jo graudi izžuva, pilnībā nenobriestot. Turpretī 2011. gada vasara bija silta, nokrišņiem bagāta, kas labvēlīgi ietekmēja graudu ražas veidošanos. Abos gados augustā laiks bija silts, bet ar palielinātu nokrišņu daudzumu, kas traucēja ražas novākšanu un ietekmēja to kvalitāti.

Rezultāti un diskusija

Graudu raža. Bioetanola ražošanā viens no nosacījumiem ir iegūt izejvielas ar augstāku ražu. Pasaulē veiktie pētījumi pierāda, ka labības ir piemērotas bioetanola ražošanai (Wang et al., 1998; Clarke et al., 2008; Müllerov, Mikulin, 2008). Pēc divu gadu pētījuma datiem, ziemāju labību ražas mūsu pētījumā bija samērā augstas. Salīdzinot ražas starp graudaugu sugām, konstatēts, ka augstākās un līdzīgas ražas vidēji abos gados nodrošināja ziemas kvieši (8.88 t ha⁻¹) un tritikāle (8.46 t ha⁻¹). Ziemas rudzu vidējā raža bija nedaudz zemāka – 8.08 t ha⁻¹. Visu pētīto ziemas kviešu šķirņu ražas bija līdzīgas – 8.83 – 8.99 t ha⁻¹ (Tabula). Tritikāles šķirnes 'Dinaro' raža (8.93 t ha⁻¹) bija būtiski ($P < 0.05$) augstāka nekā abām pārējām pētītajām šķirnēm. Pētījumos Vācijā tritikāle deva augstāku (9.12 t ha⁻¹) graudu ražu nekā ziemas kvieši (7.63 t ha⁻¹), kas savukārt nodrošināja augstāku bioetanola iznākumu dažādās audzēšanas tehnoloģijās ar dažādiem priekšaugiem (Rosenberger et al., 2001). No rudzu šķirnēm pētījumos Stendē vidēji divos gados likumsakarīgi augstāko ražu – 9.24 t ha⁻¹ ieguva no hibrīdajiem rudziem 'Placido' (Tabula). Mūsu pētījums Valsts Stendes graudaugu selekcijas institūtā pierāda, ka ziemāju labības bija ar augstu ražas līmeni abos pētījuma gados.

Graudu kvalitāte. Pasaulē veiktie pētījumi pierāda graudu ķīmiskā sastāva ietekmi uz bioetanola iznākumu. Augstāku bioetanola iznākumu nodrošina izejvielas ar augstāku cietes saturu un zemāku kopproteīna saturu (Reaker et al., 1998; Clarke et al., 2008; Sánchez, Cardona, 2008). Pēc citu autoru pētījumu rezultātiem, cietes saturu graudos ietekmē gan audzējamā šķirne, gan klimatiskie apstākļi (Kučerov, 2007; Krejčirova, Capouchova, 2008). Mūsu pētījuma rezultāti liecina, ka Latvijas audzēšanas apstākļos iegūst ziemāju graudus ar augstu cietes saturu. Līdzīgi literatūrā aprakstītajiem rezultātiem tika novērota šķirņu (Attēls) un audzēšanas gada ietekme uz cietes saturu graudos. Pētījumos Čehijā tritikāles graudos cietes saturs svārstījās no 673.3 līdz 693.9 g kg⁻¹ (Krejčirova, Capouchova, 2008). Pētījumā Valsts Stendes graudaugu selekcijas institūtā tritikālei tika iegūts līdzīgs rezultāts – 687.6 – 701.7 g kg⁻¹. Cietes granulas enzīmu fermentācijas procesā tiek sadalītas monosaharīdos, no kuriem tālākā pārstrādes procesā iegūst bioetanolu.

Pārstrādājot graudus bioetanolā, rodas blakusprodukti – oglekļa dioksīds un šķiedrenis, kas satur visas graudā esošās vielas, izņemot cieti (Daņiļevičs, 2007). Vērtējot iegūtos divu gadu datus, ziemas kvieši uzrādīja augstu cietes un kopproteīna saturu – attiecīgi 709.22 un 128.63 mg kg⁻¹, bet tritikāles graudi – 696.6 un 112.4 mg kg⁻¹ (Attēls). Augstais cietes saturs tritikāles un ziemas kviešu graudos izskaidro to, ka augstāko etanola iznākumu laboratorijā ieguva no šīm abām labībām. Nelielas atšķirības tika novērotas starp pētītajām šķirnēm. Augstākais cietes un zemākais proteīna saturs graudos konstatēts ziemas kviešu šķirnei ‘Mulan’, tritikāles šķirnei ‘Dinaro’, savukārt rudzu šķirnēm – ‘Placido’ un ‘Danskoje Nova’ (Attēls).



Att. Proteīna un cietes saturs ziemāju labību graudos

kviešiem proteīnam $RS_{0.05} = 0.59$, cietei $RS_{0.05} = 5.21$; tritikālei proteīnam $RS_{0.05} = 0.76$, cietei $RS_{0.05} = 5.79$; rudziem proteīnam $RS_{0.05} = 0.86$, cietei $RS_{0.05} = 8.97$.

Fig. Content of Protein and Starch in Winter Cereals

wheat protein $LDS_{0.05} = 0.59$, starch $LDS_{0.05} = 5.21$; triticale protein $LDS_{0.05} = 0.76$, starch $LDS_{0.05} = 5.79$; rye protein $LDS_{0.05} = 0.86$, starch $LDS_{0.05} = 8.97$.

Etanola iznākums un raža. Jau iepriekš minēts, ka augstāko etanola iznākumu ieguva no ziemas kviešu un tritikāles graudiem. To izskaidro serbu zinātnieku pētījuma rezultāti, kur konstatēts, ka ziemas kviešu un tritikāles graudi satur dabiskos amolītiskos enzīmus, kas spēj sadalīt cietes granulas un veicina vieglāku bioetanola iegūvi, samazinot

tehniskā enzīma patēriņu (Mojović et al., 2009). Pasaulē zinātnieki ir izstrādājuši ražošanas tehnoloģijas (ar noteiktu fermentācijas temperatūru, enzīmu daudzumu cietes sašķelšanai u.c.) konkrētām graudaugu sugām, līdz ar to panākot augstāko iespējamo etanola iznākumu (Sánchez, Cardona, 2008). Mūsu pētījumā, kur etanolu ieguva Latvijas Universitātes Mikrobioloģijas un biotehnoloģijas institūtā, visām pētītajām sugām tika izmantota vienāda tehnoloģija, kas varēja ietekmēt zemāku etanola iznākumu no rudziem.

Būtiskas atšķirības bija vērojamas etanola iznākumam starp vienas sugas šķirnēm. Ziemas kviešiem augstāko etanola iznākumu nodrošināja šķirne 'Mulan' un līnija '99 – 115'. Palielināts etanola iznākums bija likumsakarīgs, jo šīm šķirnēm tika konstatēts augstākais cietes un zemākais proteīna saturs. Triticālei labus rezultātus uzrādīja šķirne 'Dinaro', kam tāpat atzīmēts augsts cietes saturs (Attēls). No rudzu šķirnēm ieguva 385.3 – 387.83 L t⁻¹ etanola; nenovēroja būtiskas atšķirības starp pētītajām šķirnēm.

Angļu zinātnieki konstatējuši sakarību, ka, paaugstinoties kopproteīna saturam kviešu graudos, samazinās etanola iznākums (L t⁻¹). Šī sakarība izmēģinājumā tika novērota ziemas kviešu un tritikāles labību graudos. Pēc angļu pētnieku datiem, proteīna satura paaugstināšana par 1% samazina etanola iznākumu par 6.2 L t⁻¹ (Clarke et al., 2008).

Tabula

Ziemāju labību graudu ražas, etanola iznākums un raža vidēji 2010. un 2011. g. Stendē
Grain Yield, Bio-ethanol Outcome, and Yield of Winter Cereals 2010 and 2011 in Stende

Sugas, šķirnes <i>Species, varieties</i>	Raža, t ha ⁻¹ <i>Grain yield</i>	Etanola iznākums, L t ⁻¹ <i>Ethanol outcome</i>	Etanola raža, L ha ⁻¹ <i>Ethanol yield</i>
<i>ziemas kvieši winter wheat</i>			
Skalmeje	8.83	409.38	3633.97
99 – 115	8.84	422.69	3803.68
Mulan	8.99	416.67	3690.87
Vidēji sugai <i>Average</i>	8.88	416.25	3709.51
<i>RS LDS_{0.05} šķirnēm for varieties</i>	0.66	8.25	72.90
<i>tritikāle triticale</i>			
SW Valentino	8.24	416.67	3438.31
Dinaro	8.93	425.54	3802.47
0002 – 26	8.20	418.25	3440.47
Vidēji sugai <i>Average</i>	8.46	420.15	3560.42
<i>RS LDS_{0.05} šķirnēm for varieties</i>	0.66	5.66	49.39
<i>ziemas rudzi winter rye</i>			
Placido	9.24	385.30	3576.78
Matador	7.53	387.83	2924.46
Danskovskie Nova	7.46	386.25	2882.38
Vidēji sugai <i>Average</i>	8.08	386.46	3127.87
<i>RS LDS_{0.05} šķirnēm for varieties</i>	0.69	5.14	39.94

Etanola ražu (L ha⁻¹) ietekmē etanola iznākums (L t⁻¹) no graudiem un graudu raža. Vērtējot iegūtos rezultātus starp sugām, augstāko etanola ražu ieguva no ziemas kviešu un tritikāles graudiem. No ziemas kviešiem augstāko etanola ražu nodrošināja līnija '99 – 115'. Labus rezultātus uzrādīja tritikāles šķirne 'Dinaro' (Tabula). Pēc S. Vanga un viņa kolēģu pētījumu datiem, rudzu pārstrāde ir ekonomiski pamatota un laba alternatīva biodegvielas ieguvē. Pēc dažādiem pētījumu datiem, no rudziem var iegūt 362 – 409 L t⁻¹ bioetanola (Wang et al., 1998). Mūsu pētījumā no visām rudzu šķirnēm ieguva līdzīgu etanola iznākumu, bet rudzu šķirne 'Placido' deva ļoti augstu ražu, tādējādi arī etanola raža starp izmēģinājumā iekļautajām rudzu šķirnēm bija augstākā, tuvojās bioetanola ražām, kas šajā pētījumā iegūtas no kviešiem un tritikāles. Ja būtu lietota rudziem specifiska etanola ieguves tehnoloģija, iespējams, ka rezultāti būtu atšķirīgi.

Secinājumi

Augstāko bioetanola iznākumu ($L\ t^{-1}$) nodrošināja labības ar augstāko cietes saturu graudos un ražu – ziemas kvieši un tritikāle. Šo sugu ietvaros konstatēja būtisku šķirnes ietekmi uz rezultātu. No vienas tonnas rudzu graudu ieguva zemāku bioetanola ražu, kas varētu būt saistīts ar to, ka visām sugām izmantoja vienu un to pašu bioetanola ieguves tehnoloģiju, kas rudziem varbūt nebija vispiemērotākā. Augstāko bioetanola iznākumu no rudzu šķirnēm nodrošināja 'Placido', šis rādītājs tuvojās tam, ko ieguva no tritikāles un kviešiem.

Pateicība

Pētījums veikts, pateicoties ESF projektam „Atbalsts LLU doktora studiju īstenošanai”, vienošanās Nr. 2009/0180/1DP/1.1.2.1.2/IPIA/VIAA/017.

Literatūra

1. Biodegvielas izmantošanas iespējas Latvijā (2007). *Projekta pārskats: „Bio Nett- Developing local supply chain networks, linking bio-fuel producers with public sector users”* Nr. EIE/05/190/SI2.420028. [www.rms.lv/bionett/Files/BIODEGVIELAS_\(ceļvedis\).pdf](http://www.rms.lv/bionett/Files/BIODEGVIELAS_(ceļvedis).pdf) – Resurss aprakstīts 2012. gada 5. novembrī.
2. Clarke S., Kindred D., Weightman R., Dyer C., Sylvester-Bradley R. (2008). Growing Wheat for Alcohol and Bioethanol Production in the North East. *The Final Report of ADAS Project XAA1500* conducted for NEPIC between September 2008 to October 2008. www.adas.co.uk – Resurss aprakstīts 2012. gada 12. janvārī.
3. Daņiļēvičs A. (2007). Enerģētisko augu audzēšana un izmantošana. **No:** *Enerģijas iegūšana no cieti un cukuru saturošiem augiem*. Rīga: Valsts SIA „Vides projekti”, 107. – 120. lpp.
4. Jansone I., Gaile Z. (2011). Production of bioethanol from winter cereals. **In:** *Research for Rural Development: Annual 17th International Scientific Conference Proceedings*, held in Jelgava, LLU, May 19 – 20, 2011. Volume No. 1, p. 29 – 34.
5. Krejčířová L., Capouchová I. (2008). Quality of Winter Wheat and Triticale for Bioethanol Production. **In:** *Proceedings of the 36. International Symposium on Agricultural Engineering „Actual Tasks on Agricultural Engineering”*, held in Opatija, Croatia, February 11 – 15, 2008. Ed. By S. Košutic. p. 601 – 603.
6. Kučerov J. (2007). The Effect of Year, Site and Variety on the Quality Characteristics and Bioethanol Yield of Winter Triticale. *Journal of the Institute of Brewing*, Vol. 133, p. 142 – 146.
7. Mojović L., Pejin D., Grujić O., Markov S., Pejin J., Rakin M., Vukašinović M., Nikolić S., Savić D. (2009). Progress in the production of bioethanol on starch-based feedstocks. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, Vol. 15, No. 4, p. 211 – 226.
8. Müllerov J., Mikuliň M. (2008). Production and utilization of bio-fuels in conditions of the Slovak Republic. *Ročník 3, Číslo 2*, p. 69 – 74.
9. Reaker M.Ö., Gaines C.S., Finney P.L., Donelson T. (1998). Granule Size Distribution and Chemical Composition of Starches from 12 Soft Wheat Cultivars. *Cereal Chemistry*, Vol. 75, No. 5, p. 721 – 728.
10. Rosenberger A., Kaul H.P., Senn T., Aufhammer W. (2001). Improving the energy balance of bioethanol production from winter cereals: the effect of crop production intensity. *Applied Energy*, Vol. 68, Issue 1, p. 51 – 67.
11. Sánchez Ó.J., Cardona C.A. (2008). Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technology*, Vol. 99, p. 5270 – 5295.
12. Vigants A., Lukjanenko J., Upite D., Kaminska E., Bekers M. (2008). Jerusalem artichoke based substrates as raw material for ethanol production by *Z. mobilis* and *S. Cerevisiae*. **In:** *Proceedings of 16th European Biomass Conference and Exhibition*, held in Valencia, Spain, June 2 – 6, 2008, p. 1610 – 1612.
13. Wang S., Thomas K.C., Ingledew W.M., Sosolski K., Sosulski F. (1998). Production of fuel ethanol from rye and triticale by very-high-gravity (VHG) fermentation. *Applied Biochemistry*, Vol. 69, No. 3, p.157 – 175.