

ORIGINAL PAPER

Полиморфизъм на запасните ендоспермови белтъци в хексаплоидно тритикале

Соня Донева¹ • Христо Стоянов¹

¹Добруджански земеделски институт - Генерал Тошево, 9521, България

Автор за кореспонденция: Соня Донева; E-mail: sonya_doneva@yahoo.com

Polymorphism of storage proteins in hexaploid triticales

Sonya Doneva¹ • Hristo Stoyanov¹

¹Dobrudzha Agricultural Institute - General Toshevo, 9521, Bulgaria

Corresponding Autor: Sonya Doneva, E-mail: sonya_doneva@yahoo.com

Received: June 2019 / Accepted: June 2019 /

Published: June 2019 © Author(s)

Abstract

Doneva, S. & Stoyanov, H. (2019). Polymorphism of storage endosperm proteins in hexaploid triticales. Field Crops Studies, XII(2), 201-212.

A collection of 11 triticales (*xTriticosecale*) varieties created in Dobrudzha Agricultural Institute (DAI) were analysed using sodium dodecylsulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) to describe allelic diversity in the storage proteins encoded at the *Glu-1* (*Glu-A1*, *Glu-B1* and *Glu-R1*), *Glu-3* (*Glu-A3* and *Glu-B3*), *Glu-B2* and *Gli-R2* loci. Several alleles were identified: 7 at the loci encoding for high molecular weight (HMW) subunits (five for glutenins and two for secalins), 9 for low molecular weight glutenin subunits and 4 for 75K γ -secalins. These alleles form 17 allelic configurations. One new allelic form of 75K γ -secalins was found and it is named 'new'. *Glu-B3* loci was the most polymorphic with six alleles. Seven varieties possess allele *a* and six – allele *b* in *Glu-A1* loci. These alleles are associated with good breadmaking qualities. 73% of triticales cultivars were homogenous, only 27% showed two or more diagrams respectively in HMW glutenin subunits, LMW glutenin subunits and 75K γ -secalins. Thus, the total number of genotypes in the study increased to 22. These results showed that triticales varieties grown in DAI don't exhibit great genetic diversity. Knowledge of the diversity of the storage proteins will greatly increase our understanding of the

influence of glutenins and secalins on the quality parameters of triticale varieties.

Key words: Polymorphism, SDS-PAGE, Storage proteins, *Triticosecale*, Varieties

Въведение

Тритикале (*Triticosecale*) представлява изкуствено създадена от човека житна култура чрез кръстосване на пшеница и ръж. Тя съчетава високия продуктивен потенциал и добри качества за хлебопроизводство на пшеницата с понижените изисквания към почвите и пластичност към климатичните условия и плевелите на ръжта. Повишеното съдържание на незаменимата аминокиселина лизин прави тритикале източник на храна за животни с подобрена биологична стойност на протеина. Освен това зелената маса от тритикале е по-ценна от тази на пшеницата и ръжта, защото съдържа повече смиланем протеин, а приготвеното от нея брашно е с по-богато съдържание на каратеноиди и минерални вещества, важни за хранителния режим на животните (Stoyanov, 2018). Въпреки, че количеството на протеина в зърното на растението е високо, съдържанието на глютен в него е по-малко отколкото при пшеницата и е с различно качество. Това се дължи както на отсъствието на D-геном и наличието на R-геном, така и на високата α -амилазна активност, което влошава хлебопекарните качества на тритикале (Varughese et al., 1996). В резултат на това единствената възможност е участието на зърнено-житната култура в брашно, като смес с пшеница за производството на диетичен хляб с високо съдържание на лизин и ниско съдържание на глютен и въглехидрати (Peña et al., 1998).

В България все още съществува недоверие от страна на производителите към тази зърнено-житна култура поради недостатъчното ѝ познаване, но в световен мащаб добивите и производството на тритикале се учеличават. Към момента най-голям производител е Полша, следвана от Германия, Франция, Беларус, Китай, Австралия, Унгария, Чехия.

В зависимост от начина на получаване тритикалето бива първично и вторично. Първичното тритикале е амфидиплоид, получен чрез хибридизация на хексаплоидна или тетраплоидна пшеница с ръж, докато вторичното хексаплоидно тритикале е продукт от кръстосването на първични форми и има три генома – A- и B- от пшеницата и R- от ръжта (Bellil et al., 2010). Проучванията на тритикале през годините са фокусирани основно върху цитогенетиката, добивния потенциал и селекционните показатели. Значително по-малко са експериментите и опитите, свързани с подобряване на неговите хлебопекарни качества (Lukaszewski et al., 1987; Hohmann, 1988; Kazman and Lelley, 1996) и протеиново съдържание (Igrejas et al., 1999b; Brzezinski et al.,

1998; Rubio et al., 1996). Причината за това е, че за разлика от родителските форми – пшеницата и ръжта, алелното вариране на запасните ендоспермови белтъци при техния хибрид, тритикале започват да се изследват на по-късен етап и все още не са много добре проучени и генетически характеризирани.

Добре известно е, че гените, кодиращи високомолекулните глутенини при пшеницата и високомолекулните секалини при ръжта са локализиращи в локуси, намиращи се в дългите рамена на хромозоми 1A (*Glu-A1*) (Lawrence & Shepherd, 1980), 1B (*Glu-B1*) (Bietz et al., 1975), 1D (*Glu-D1*) (Orth & Bushuk, 1974), 1R (*Glu-R1* или *Sec-3*) (Lawrence and Shepherd, 1981). При пшеницата глиадините се намират в късите рамена на 1 и 6 хромозома. Те са кодирани от гени, локализиращи в локуси *Gli-1* (*Gli-A1*, *Gli-B1*, *Gli-D1*) и *Gli-2* (*Gli-A2*, *Gli-B2*, *Gli-D2*). При ръжта един ω -секалин и два 40K γ -секалина са кодирани от гени в локус *Gli-R1* (или *Sec-1*) (Shepherd, 1986), локализиращ в късото рамо на хромозома 1R, два ω -секалина са кодирани от гени в локус *Gli-R3* (или *Sec-4*) (Carrillo et al., 1992), намиращ се в хромозома 1RS, а 75K γ -секалини са кодирани от гени в локус *Gli-R2* (или *Sec-2*), локализиращ в хромозома 2RS (Shewry et al., 1984). Нискомолекулните глутенини (LMW) и при пшеницата и при ръжта са кодирани от гени в локус *Glu-3*, който е тясно свързан с локус *Gli-1*. (Jackson et al., 1983).

Тритикале има много сходен генетичен състав с този на своите родителски компоненти в хромозомите от първа и трета група, където са локализиращи основните локуси, кодиращи запасните протеини в амфидиплоида. Едни от първите изследвания върху алелното вариране на запасните протеини в синтетичния хибрид са извършени от Igrejas et al. (1999). Той анализира колекция от 14 португалски сорта тритикале и установява значително генетично разнообразие в локуси *Glu-1*, *Gli-1*, *Glu-3*, *Glu-B2* и *Gli-R2*, както и различия в интензитета на някои от бендовете в сравнение с тези в електрофоретичния спектър на пшеницата. По-късно са проучени над 130 европейски генотипа на амфидиплоида (Amiour et al., 2002a; Amiour et al., 2002b; Bellil et al., 2010) и са идентифицирани нови алелни форми в *Glu-1*, *Glu-3* и *Gli-1*, кодиращи високомолекулни и нискомолекулни глутенинови и секалинови субединици.

Целта на настоящото проучване е да се анализира алелното вариране на запасните ендоспермови белтъци в колекция от български сортове хексаплоидно тритикале и да се изчислят алелните честоти и генетичното разнообразие в локуси: *Glu-1* (*Glu-A1*, *Glu-B1*, *Glu-R1*), *Gli-2* (*Gli-R2*) и *Glu-3* (*Glu-A3*, *Glu-B3*, *Glu-B2*).

Материали и методи

Материали

В изследването са включени 11 сорта хексаплоидно тритикале, селектирани в Добруджански земеделски институт през периода от 2005г. до 2016г.: Дони 52 (Doni 52), Добруджанец (Dobrudzhanec), Благовест (Blagovest), Борислав (Borislav), Колорит (Kolorit), Бумеранг (Bumerang), Респект (Respect), Акорд (Acord), Атила (Atila), Ирник (Irnik), Ловчанец (Lovchanec).

Методи

Екстракция на запасните ендоспермовите белтъци и SDS-PAGE електрофореза

От всеки сорт са анализирани между 5 и 100 зърна, за да бъде установена степента на неговата хомогенност. Единичните зърна се стриват на фино брашно след предварително отстраняване на зародишите им. Екстракцията се осъществява последователно, на четири етапа по метода на Singh et al. (1991). Допълнителното алкилиране на белтъчните молекули преди да бъдат обработени със SDS дава възможност за още по-ясна електрофореграма. За точно идентифициране на алелния състав електрофорезата е осъществена на вертикален апарат в два варианта: а/ класическа едномерна полиакриламидна гелна електрофореза по метода на Laemmli (1970) на 10% разделящ гел и б/ едномерна полиакриламидна гелна електрофореза на 35% разделящ гел по метода на Payne et al. (1980). По метода на Laemmli (1970) електрофорезата протича при постоянна сила на тока от 20mA на плака при стайна температура за 18-20 часа. Продължителността на електрофорезата по метода на Payne et al. (1980) е 3-4 часа при 60 mA. След изтичане на електрофорезата гелните плаки се оцветяват с 1% разтвор на кумаси брилянт блу (СВВ)R250 оцветна киселина, метанол и вода в съотношение (1:5:4) за една нощ. Обезцветяването се извършва с разтвор: оцветна киселина, метанол, дестилирана вода (1:2:7) до изчистване на фона.

Идентификация на запасните ендоспермови белтъци

За идентификация на HMW на тритикале са използвани номенклатурите на Payne and Lawrence (1983) и Vallega and Waines (1978). Алелният състав на LMW е установен по номенклатурите за хлебната пшеница на Gupta and Shepherd (1990) и Jackson et al. (1996). Алелните форми в *Glu-R1*, *Gli-R2* и в *Glu-2* са идентифицирани по номенклатурата, предложена от Amour et al. (2001).

Статистически анализ

Генетичното вариране (H) в локусите е изчислено чрез индекс на Nei

(1973), където P_i е честотата на алелите в съответния локус: $H = 1 - \sum P_i^2$.

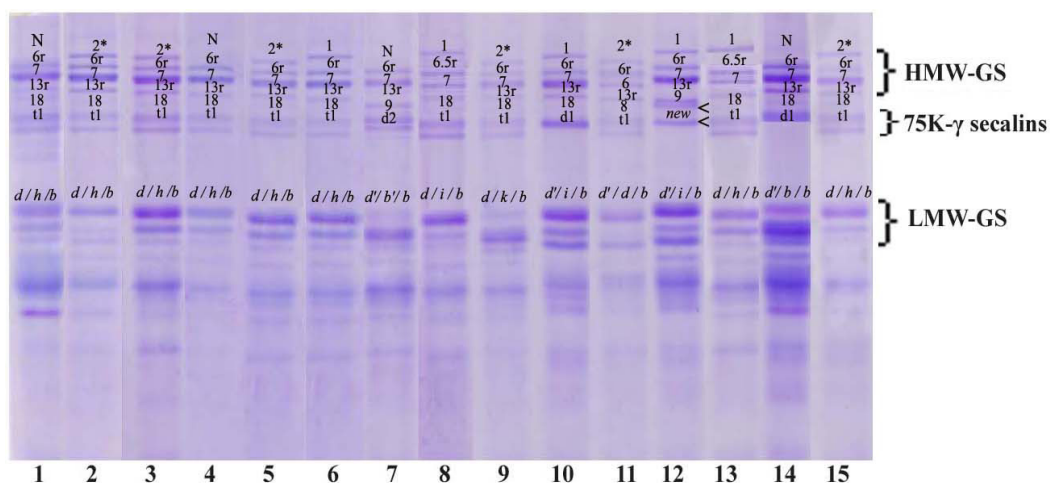
Резултати

1. Фракционен състав на запасните ендоспермови белтъци

Идентифицираните алели в локуси *Glu-A1*, *Glu-B1*, *Glu-R1*, *Glu-A3*, *Glu-B3*, *Glu-B2* и *Gli-R2* на сортовете тритикале, включени в изследването са предствени в Таблица 1.

Таблица 1. Състав на високомолекулните субединици (глутенини и секалини), нискомолекулните глутенинови субединици и 75К γ –секалини в сортове тритикале на ДЗИ
Table 1. Composition of high molecular weight subunits (glutenins and secalins), low molecular weight subunits and 75K γ –secalins in triticale varieties of DAI

Сорт	HMW			LMW			75K γ –sec
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-R1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-B2</i>	<i>Gli-R2</i>
Дони 52	2*/b	7+18/r	6'+13'/c	d	h	b	t1/c
Добруджанец	2*/b	7+18/r	6'+13'/c	d	h	b	t1/c
Благовест-1	2*/b	7+18/r	6'+13'/c	d	h	b	t1/c
Благовест-2	N/c	7+18/r	6'+13'/c	d	h	b	t1/c
Благовест-3	1/a	7+18/r	6'+13'/c	d	h	b	t1/c
Борислав	N/c	7+9/c	6'+13'/c	d'	b'	b	d2/b
Колорит	1/a	7+18/r	6.5'/e	d	i	b	t1/c
Бумеранг	2*/b	7+18/r	6'+13'/c	d	k	b	t1/c
Респект	1/a	7+18/r	6'+13'/c	d'	i	b	d1/a
Акорд	2*/b	6+8/d	6'+13'/c	d'	d	b	new
Атила	1/a	7+9/c	6'+13'/c	d'	i	b	d1/a
Ловчанец-1	1/a	7+18/r	6'+13'/c	d	h	b	t1/c
Ловчанец-2	2*/b	7+18/r	6'+13'/c	d	h	b	t1/c
Ирник-1	1/a	7+18/r	6.5'/e	d	h	b	t1/c
Ирник-2	N/c	7+18/r	6'+13'/c	d'	b	b	d1/a
Ирник-3	N/c	7+18/r	6.5'/e	d'	b	b	t1/c
Ирник-4	N/c	7+18/r	6'+13'/c	d'	b	b	new
Ирник-5	1/a	7+18/r	6.5'/e	d'	b	b	t1/c
Ирник-6	N/c	7+18/r	6'+13'/c	d'	h	b	t1/c
Ирник-7	N/c	7+18/r	6'+13'/c	d'	h	b	d1/a
Ирник-8	N/c	7+18/r	6'+13'/c	d	h	b	d1/a
Ирник-9	N/c	7+18/r	6'+13'/c	d	h	b	t1/c
215/05-76/1	1/a	7+18/r	6'+13'/c	d	h'	b	d1/a
215/05-76/2	N/c	7+18/r	6'+13'/c	d	h'	b	d1/a
215/05-76/3	N/c	6+8/d	6'+13'/c	d	h'	b	t1/c
52/05-56/1	2*/b	7+18/r	6'+13'/c	d	b	b	t1/c
52/05-56/2	1/a	7+8/b	6'+13'/c	d	b	b	t1/c



Фигура 1. Вариране на HMW глутенинови субединици, HMW секалинови субединици, 75K-γ секалини и LMW глутенинови субединици установени в хексаплоидни сортове тритикале: 1. Ракита (стандарт), 2. Дони 52, 3. Добруджанец, 4. Благовест-1, 5. Благовест-2, 6. Благовест-3, 7. Борислав, 8. Колорит, 9. Бумеранг, 10. Респект, 11. Акорд, 12. Атила, 13. Ирник-1, 14. Ирник-2, 15. Ловчанец. Новият алелен вариант в *Gli-R2* (75K-γ secalins) е означен чрез '<'.

Figure 1. Variability of HMW glutenin subunits, HMW secalin subunits, 75K-γ secalins and LMW glutenin subunits observed in hexaploid triticale varieties: 1. Rakita (check), 2. Doni 52, 3. Dobrudjanets, 4. Blagovest-1, 5. Blagovest-2, 6. Blagovest-3, 7. Borislav, 8. Kolorit, 9. Bumerang, 10. Respect, 11. Acord, 12. Atila, 13. Irnik-1, 14. Irnik-2, 15. Lovchanets. New allelic variant in *Gli-R2* (75K-γ secalins) is indicated as '<'.

В анализираните 11 сорта са идентифицирани 20 алела: три в локус *Glu-A1*, три в локус *Glu-B1*, два в локус *Glu-R1*, два в локус *Glu-A3*, пет в локус *Glu-B3*, един в локус *Glu-B2* и четири в локус *Gli-R2*. 73% от сортовете са хомогенни, а 27% са хетерогенни и са идентифицирани с няколко генотипа, различаващи се по алелния си състав в един или повече глиадинови локуса. Една от основните причини за установената хетерогенност е липсата на електрофоретичен контрол в началните звена на селекционния процес. Електрофоретичният анализ диференцира три биотипа за сорт Благовест и два биотипа за сорт Ловчанец различаващи се по алелни си състав в локус *Glu-A1*. За сорт Ирник са установени 9 биотипа поради различен алелен състав на високомолекулните глутенини и секалини в локуси *Glu-A1* и *Glu-R1*, на нискомолекулните глутенини в локуси *Glu-A3* и *Glu-B3* и на 75K γ –секалини

в локус *Gli-R2*. Така общият брой на анализиранияте генотипове в настоящото изследване нараства до 22. Това има значение при изчисляване на честотите на отделните алели в локусите, които се получават чрез разделяне на броя на сортовете, носители на съответния алел на общия брой биотипове, установени в резултат на пручването. Честотите на алелите и стойностите на показателя на генетично вариране в отделните локуси са представени в Таблица 2.

В локус *Glu-A1* са идентифицирани алели *c*, *a* и *b*, които кодират съответно високомолекулните glutенинови субединици 'N', '2*' и '1'. Най-често срещаният алел *c* е идентифициран в почти 41% от сортовете. Той се характеризира с нулева синтеза на белтък и обуславя ниски хлебопекарни качества за разлика от алел *a*, свързан с високо качество на glutена при обикновената пшеница. Генетичното разнообразие е сравнително високо - $H=0.66$. Наследственият потенциал на локус *Glu-B1* се формира от три алела: *Glu-B1r*, *Glu-B1c* и *Glu-B1d*. Фракционна двойка '7+18' се среща с най-голяма честота (86.4%). Следващата по честота е фракционна двойка '7+9' (9.1%), която обуславя добри хлебопекарни качества при хлебната пшеница. Фракционна двойка '6+8' е с най-ниска честота (4.5%). Наследственият потенциал на локус *Glu-B1* е концентриран в много висока степен в алел *r*, кодиращ фракционна двойка '7+18', което е причина за ниската стойност на генетичното разнообразие - $H=0.24$. В локус *Glu-R1* установената фракционна двойка - '6^r+13^r' и субединица '6.5^r' заемат съответно 81.8% и 18.2% от неговия наследствен потенциал, което е причина за ниското по своята стойност генетично разнообразие - $H=0.30$. В локус *Glu-A3* стойността на показателя на генетично разнообразие е на средно ниво - $H=0.50$, което се дължи на почти равномерното разпределение на наследствения потенциал на този локус между алели *d* и *d'*. Локус *Glu-B3* се характеризира с по-високо генетично разнообразие в сравнение с останалите два нискомолекулни локуса - $H=0.64$. Почти 55% от наследствения потенциал е съсредоточен в алел *h*. Останалите 45% от наследствения потенциал на този локус се контролират от алели *b*, *i*, *k*, *d* и *b'*. В локус *Glu-B2* е идентифициран само един алелен вариант - алел *b*. Това е причина за нулевата стойност на показателя на генетично разнообразие. 75К γ -секалини, кодирани от локус *Gli-R2* са представени от четири алелни варианта - *a*, *b*, *c* и *new*. Стойността на показателя на генетично разнообразие превишава незначително средното ниво - $H=0.52$. Алелът, означен като *new* е идентифициран за първи път в настоящото проучване в електрофоретичните спектри на сорт Атила и един от биотиповете на сорт Ирник. Той кодира две субединици, които са посочени със стрелки на Фигура 1. Те се различават по молекулно тегло и електрофоретична подвижност в сравнение с бендовете, формиращи фракционни двойки , d_1 ' , d_2 ' и триплета , t_1 '.

Таблица 2. Честота на алелите и и генетично вариране в сортове тритикале на ДЗИ
Table 2. Frequency of alleles and genetic variation in triticale varieties of DAI

Локус Locus	Алели Alleles	Брой сортове Number of varieties	Честота,% Frequency, %
<i>Glu-A1</i> H=0.66	<i>c</i>	9	40.9
	<i>a</i>	7	31.8
	<i>b</i>	6	27.3
<i>Glu-B1</i> H=0.24	<i>r</i>	19	86.4
	<i>c</i>	2	9.1
	<i>d</i>	1	4.5
<i>Glu-R1</i> H=0.30	<i>c</i>	18	81.8
	<i>e</i>	4	18.2
<i>Glu-A3</i> H=0.50	<i>d</i>	12	54.5
	<i>d'</i>	10	45.5
<i>Glu-B3</i> H=0.64	<i>h</i>	12	54.5
	<i>b</i>	4	18.3
	<i>i</i>	3	13.7
	<i>k</i>	1	4.5
	<i>d</i>	1	4.5
	<i>b'</i>	1	4.5
<i>Glu-B2</i> H=0.00	<i>b</i>	22	100.0
<i>Gli-R2</i> H=0.49	<i>c</i>	15	68.2
	<i>a</i>	4	18.2
	<i>new</i>	2	9.1
	<i>b</i>	1	4.5

Обсъждане

В настоящото изследване е идентифицирано алелното вариране на запасните ендоспермови белтъци в 11 сорта зимно хексаплоидно тритикале, селектирани в Добруджански земеделски институт през 2005-2016г.

В хромозома 1A са идентифицирани 5 алела – 3 в зоната на високомолекулните глутенини и два в зоната на нискомолекулните глутенини. Установено е, че 13 образца (59.1%) са носители на алелите, обуславящи експресията на свързаните с високо качество субединици '1' и '2*' в локус

Glu-A1. Субединица ‘N’, кодирана от алел *Glu-A1c*, която е индикатор за лошо качество има относително ниска честота – 40.9%. В локус *Glu-A3* са идентифицирани две алелни форми – *d* и *d'*, които са разпределени почти равномерно между анализирания сортове и се различават незначително по своите алелни честоти. Алел *d* е сходен с този, установен от Jackson et al. (1996), докато алел *d'* е идентифициран в електрофоретичния спектър на тритикале на по-късен етап (Amiour et al., 2002a). Двете форми се различават по молекулните тегла и електрофоретичната подвижност на кодираните от тях двойка субединици.

Значителен полиморфизъм на запасните ендоспермови белтъци в анализирания сортове тритикале е отчетен в хромозома 1B, където са идентифицирани 10 алелни форми. Подобна тенденция е установена и в други изследвания (Amiour et al., 2002b; Bellil et al., 2010). В локус *Glu-B1* делът на алел *Glu-B1c*, който се свързва с добри хлебопекарни качества е сравнително нисък, а алел *Glu-B1b*, който значително повишава хлебопекарните показатели напълно липсва. В 86% от анализирания гено типове е установен алел *Glu-B1r*, кодиращ фракционна двойка ‘7+18’. Тя е идентифицирана за първи път в електрофоретичните спектри на португалски сортове тритикале (Igrejas, 1999) и според Amiour et al. (2002b) се среща само в *Glu-B1* локуса на тази зърнено-житна култура. В локус *Glu-B3* са идентифицирани пет алела като доминиращ е алел *h* с честота 54.5%. Локус *Glu-B2* се характеризира с нисък полиморфизъм, представен от два алелни варианта: *Glu-B2a*, кодиращ субединица ‘12’ в твърдата пшеница и *Glu-B2b*, при който липсва бенд ‘12’ (Nieto-Taladriz et al., 2010) в зоната на B-LMW. Вторият алелен вариант (*Glu-B2b*) е характерен за всички образци, обект на проучването.

В локус *Glu-R1* доминираща е фракционна двойка ‘6^r+13^r’, кодирана от алел *Glu-R1c* (81.8%). Този алел се среща с много висока честота и в други европейски сортове тритикале (Amiour et al., 2002b; Amiour et al., 2002a; Bellil et al., 2010). Алел *Glu-R1e*, кодиращ субединица ‘6.5^r’ е идентифициран в четири образца на ДЗИ. Данните показват, че досега той е установен само във френски линии и сортове (Amiour et al., 2002b; Bellil et al., 2010).

75K γ -секалини, кодирани от *Gli-R2* са съставени от два или три бенда. В настоящото изследване освен алели *c*, *b* и *a*, кодиращи съответно триплета ‘*t*₁’ и фракционни двойки ‘*d*₂’ и ‘*d*₁’ е идентифицирана и нова алелна форма. Тя обуславя експресията на две субединици, с различно молекулно тегло от това на бендовете, формиращи ‘*t*₁’, ‘*d*₂’ и ‘*d*₁’. Новата алелна форма е установена в сорт Атила и в един от биотиповете на сорт Ирник. На Фигура 1 е обозначена с *new* и е представена схематично чрез ‘<’. Резултатите от анализа на Amiour et al. (2002b) показват, че с най-висока честота в европейските сортове тритикале се среща алел *Gli-R2c* (субединица ‘*t*₁’), който е особено характерен

за сортовете от Англия. Алел *Gli-R2a* (субединица 'd₁') е идентифициран в полската селекция, а *Gli-R2b* (субединица 'd₂') - във френски сортове.

Представените данни показват, че генетичното разнообразие на запасните ендоспермови белтъци в сортовете тритикале, селектирани в Добруджански земеделски институт не е много високо. Подобна е тенденцията и в останалите европейски държави (Amiour et al., 2002b; Bellil et al., 2010). Това налага използването на нови източници на гени с различен произход, което ще окаже благоприятен ефект върху хлебопекарните показатели на зърнено-житната култура и ще разшири възможностите за нейното приложение.

Изводи

Проучен е алелния състав на запасните ендоспермови белтъци в 11 български сорта хексаплоидно тритикале, селектирани в Добруджански земеделски институт. Установените резултати и зависимости могат да бъдат обобщени в следните изводи:

1. Идентифицираните алели в локуси *Glu-A1*, *Glu-B1*, *Glu-R1*, *Glu-A3*, *Glu-B3*, *Glu-B2* и *Gli-R2* на сортовете формират 17 конфигурации. Честотите на високомолекулните алелни форми, които корелират с добри хлебопекарни качества - *Glu-A1a* и *Glu-A1b* са сравнително високи, съответно 31.8% и 27.3%. В локус *Glu-B1* делът на алел *Glu-B1c*, обуславящ добри технологични показатели е нисък. В 86% от изследваните генотипове е установен алел *Glu-B1r* (фракционна двойка ,7+18'), който е характерен само за тритикале.

2. В локус *Gli-R2* на сортовете Атила и Ирник е идентифициран нов алелен вариант, кодиращ три субединици с различни молекулни тегла. На този етап новата алелна форма е обозначена с *new*.

3. Най-високи стойности за показателя на генетично вариране са установени в локуси *Glu-A1* (H=0.66) и *Glu-B3* (H=0.64). В локус *Glu-B2* стойността на показателя е нулева поради наличието само на един алел - *Glu-B2b*.

4. Направената алелна идентификация може да се използва за оценка на влиянието на глутенините и секалините върху технологичните и хлебопекарни показатели на тритикале.

Литература

References

- Amiour, N., Dardevet, M., Khelifi, D., Bouguennec, A. & Branlard, G. (2002a). Allelic variation of HMW and LMW glutenin subunits, HMW secalin subunits and 75K gamma-secalins of hexaploid triticale. *Euphytica*, 123(2), 179-186.
- Amiour, N., Bouguennec, A., Marcoz, C., Sourdille, P., Bourgoïn, M., Khelifi, D. & Branlard, G. (2002b). Diversity of seven glutenin and secalin loci within

- triticale cultivars grown in Europe. *Euphytica*, 123(3), 295-305.
- Bellil, I., Bouguennec, A. & Khelifi, D. (2010). Diversity of seven glutenin and secalin loci within triticale cultivars grown in France. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.*, 38(2), 48-55, DOI 10.15835/nbha3824731.
- Bietz, J.A., Shepherd, K.W. & Wall, J.S. (1975). Cereal single kernel analysis of glutenin: use in genetics and breeding. *Cereal Chem.*, 52, 513-532.
- Brzezinski, W. & Lukaszewski, A.J. (1998). Allelic variation at the Glu-1, Sec-2 and Sec-3 in winter triticale. In: P. Juskiev (Ed.), Proc. 4th Int. Triticale Symp., Alberta, II, 6-12.
- Carrillo, R., Vázquez, M. & Orellana, J. (1992). Identification and mapping of the *Gli-R3* lokus on chromosome 1R of rye (*secale cereale* L.). *Theor. Appl. Genet.*, 84, 237-241.
- Gupta, R.B. & Shepherd, K.W. (1990). Two-steps one-dimensional SDS-PAGE analysis of LMW subunits of glutenin. 1. variation and genetic control of the subunits in hexaploid wheat. *Theor. Appl. Genet.*, 80, 65-74.
- Hohmann, U. (1988). Direct use of hexaploid wheat in production of hexaploid triticale. In: T. E. Miller and R. M. D. Koebner (Eds.), Proc 7th Int. Wheat Genet. Symp., Cambridge, England, 303-308.
- Igrejas, G., Guendes-Pinto, H., Garnide, V. & Branlard, G., (1999). Seed storage protein diversity in triticale varieties commonly grown in Portugal. *Plant Breed.*, 118, 303-306.
- Jackson, E.A., Holtand, L.M. & Payne, P.I. (1983). Characterization of high molecular weight gliadins and low molecular weight glutenin subunits of wheat endosperm by two-dimensional electrophoresis and the chromosomal location of their controlling genes. *Theor. Appl. Genet.*, 66, 29-37.
- Jackson, E.A., Morel, M.,H., Sontage-Strohm, T., Branlard, G., Metakovsky, E.V. & Redaelli, R. (1996). Proposal for combining classification systems of allelic of Gli-1 and Gli-3 loci in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Genet and breed*, 50, 321-336.
- Kazman, M.E. & Lelley, T., (1996). Can breadmaking quality be introduced into hexaploid triticale by whole-chromosome manipulation?, In: H. Guendes-Pinto, N. Darvey and V. P. Carnide (Eds.), *Triticale Today and Tomorrow*, Kluwer Academic Publ., Netherlands, 141-148.
- Laemmli U.K. (1970). Clavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227 (5259), 680-685.
- Lawrence, G.J. & Shepherd, W.K. (1980). Variation in glutenin protein subunits in wheat. *Aust. J. Biol. Sci.*, 33, 221-233.
- Lawrence, G.J. & Shepherd, W.K., (1981). Chromosomal location of genes controlling seed proteins in species related to wheat. *Theor. Appl. Genet.*, 59, 25-31.

- Lukaszewski, A., Apolinarska, B. & Gustafon, P. (1987). Introduction of D-genome chromosomes from bread wheat into hexaploid triticale with a complete rye genome. *Genome*, 29, 425-430.
- Nieto-Taladriz, M., Ruiz, M., Martinez, M., Vazquez, F. & Carillo, M. (1997). Variation and classification of B-low molecular-weight glutenin subunit alleles in durum wheat. *Theor. Appl. Genet.*, 95, 1155-1160.
- Orth, R. & Bushuk, W. (1974). VI Chromosomal location of genes coding for subunits of glutenin of common wheat. *Cereal Chem.*, 51, 118-126.
- Payne, P.I., Law, C.N. & Mudd, E.E. (1980). Control by homeologous group 1 chromosomes of the high-molecular-weight subunits of glutenin, a major protein of wheat endosperm. *Theor. Appl. Genet.*, 58, 113-120.
- Payne, P.I. & Lawrence, G.J. (1983). Catalogue of alleles for the complex gene loci, Glu – A1, Glu – B1 and Glu – D1 which code for high-molecular - weight subunit in hexaploid wheat. *Cereal Rresearch Communication*, 11(1), 29-35.
- Peña, R.J., Mergoum, M. & Pfeiffer, W. (1998). Glutenin subunit composition and breadmaking quality characteristics of recently developed triticale germplasm of CIMMYT. 4th International triticale symposium, Red Deer, Alberta, Canada. Proceedings: Oral Presentations, 1, 117-123.
- Rubio, P., Jouve, N., Soler, C. & Bernardo, A. (1996). Isozymes and endosperm protein markers in the determination of chromosomal constitution in X Triticosecale Wittmack. In: H. Guendes-Pinto, N. Darvey and V. P. Carnide (Eds.), *Triticale Today and Tomorrow*, Kluwer Academic Publ., Netherlands, 409-415.
- Shepherd, K.W. (1986). Chromosomal control of endosperm proteins in wheat and rye. In: Proc. 3rd Int. Wheat genet. Symp., Caberra, Australia, 86-89.
- Shewry, P.R., Bradberry, J., Franklin, J. & White, R.P., (1984). The chromosomal locations and linkage relationships of the structural genes for the prolamin storage proteins (secalins) of rye. *Theor. Appl. Genet.*, 69, 63-69.
- Singh, N.K., Shepherd, K.W & Cornish, G.B. (1991). A simplified SDS-PAGE procedure for separating LMW subunits of glutenin. *Journal of Cereal Science*, 14, 203-208.
- Stoyanov, H., (2018). Reaction of Triticale to abiotic stress. PhD Thesis, SSA, Sofia, Bulgaria. (Bg).
- Vallega, V. & Waines, J.G. (1987). High molecular weight glutenin subunits variation in *Triticum turgidum* var. *dicoccum*. *Theor. Appl. Genet.*, 74, 706-710.
- Varughese, G., Pfeiffer, W.H. & Peña, R.J. (1996). Triticale: A Successful Alternative Crop (Part 2). *Cereal Foods World*, 41, 635-645.