

- Rinika, R., Damayanti, T., Wiyono, S., & Santoso, S. (2023). Effect of endophytic fungi on the ability of *Aphis craccivora* Koch. in transmitting bean common mosaic virus. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1133(1), 012042.
- Samal, I., Bhoi, T. K., Majhi, P. K., Murmu, S., Pradhan, A. K., Kumar, D., et al. (2023). Combatting insects mediated biotic stress through plant associated endophytic entomopathogenic fungi in horticultural crops. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1098673.
- Shin, J. (2023). Encapsulation of the biocontrol agent *Beauveria bassiana* in cellulose nanomaterial-stabilized Pickering emulsion for foliar application. *ACS Agricultural Science & Technology*, 3(10), 894-905.
- Sung, G. H., Hywel-Jones, N. L., Sung, J. M., Luangsa-Ard, J. J., Shrestha, B., & Spatafora, J. W. (2007). Phylogenetic classification of *Cordyceps* and the clavicipitaceous fungi. *Studies in Mycology*, 57, 5-59.
- Tawidian, P., Kang, Q., & Michel, K. (2023). The potential of a new *Beauveria bassiana* isolate for mosquito larval control. *Journal of Medical Entomology*, 60(1), 131-147.
- Tounwendsida, A., Zongo, A., Bawomon, F., & Sankara, P. (2022). Assessing the effects of *Lecanicillium lecanii* in the biological control of early and late leaf spot of peanut in vitro (Burkina Faso, West Africa). *African Journal of Agricultural Research*, 18(1), 1-7.
- Trung, N. Q., Dat, N. T., Anh, H. N., Tung, Q. N., Nguyen, V. T. H., Van, H. N. B., Van, N. M. N., & Minh, T. N. (2024). Substrate influence on enzymatic activity in *Cordyceps militaris* for health applications. *Chemistry*, 6(4), 517-530.
- Veerwal, B., Prasad, A., & Intodia, A. (2022). Development of fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Balsamo) formulations for control of mosquito larvae in the field. *Ecology Environment and Conservation*, 373-378.
- Verma, A. K., & Aggarwal, R. (2020). Repurposing potential of FDA approved and investigational drugs for COVID-19 targeting SARS-CoV-2 spike and main protease and validation by machine learning algorithm. *Chemical Biology & Drug Design*, 97(5), 836-853.
- Villarreyna, R., Avelino, J., & Cerda, R. (2020). Adaptación basada en ecosistemas: Efecto de los árboles de sombra sobre servicios ecosistémicos en cafetales. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 499-516.
- Vu, T. (2023). Effects of *mat1-2* spore ratios on fruiting body formation and degeneration in the heterothallic fungus *Cordyceps militaris*. *Journal of Fungi*, 9(10), 971.
- Xie, T., Jiang, L., Li, J., Hong, B., Wang, X., & Jia, Y. (2019). Effects of *Lecanicillium lecanii* strain JMC-01 on the physiology, biochemistry, and mortality of *Bemisia tabaci* Q-biotype nymphs. *PeerJ*, 7, e7690.
- Zhang, G., Zhang, J., Yao, Z., Shi, Y., Xu, C., Shao, L., ... Wang, Y. (2022). Time-series gene expression patterns and their characteristics of *Beauveria bassiana* in the process of infecting pest insects. *Journal of Basic Microbiology*, 62(10), 1274-1286.
- Zhang, X. M., Tang, D. X., Li, Q. Q., et al. (2021). Complex microbial communities inhabiting natural *Cordyceps militaris* and the habitat soil and their predicted functions. *Antonie van Leeuwenhoek*, 114, 465-477.
- Zibae, A., & Malagoli, D. (2014). Immune response of *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Crambidae) larvae to different entomopathogenic fungi. *Bulletin of Entomological Research*, 104(2), 155-163.
- Zu, Z., Wang, S., Zhao, Y., Fan, W., & Li, T. (2023). Integrated enzymes activity and transcriptome reveal the effect of exogenous melatonin on the strain degeneration of *Cordyceps militaris*. *Frontiers in Microbiology*, 14.

Charakterizace genotypů ječmene jarního s netypickým zabarvením obilky

(The Characterization of Spring Barley Genotypes with Atypical Color of Caryopsis)

Marta Zavřelová

Agrotest fyto, s.r.o., Havlíčkova 2787/121, 767 01 Kroměříž

Souhrn: V souboru 15 genetických zdrojů ječmene jarního s netypickou barvou zrna byly studovány projevy morfologických znaků se zaměřením na antokyanové zabarvení různých částí rostlin v souvislosti s barvou zrna ve zralosti. Bylo zjištěno, že vysoký obsah antokyanů s barevným projevem v různých pletivech v průběhu vegetace nemá vliv na výslednou barvu zrna. Dále byly hodnoceny vybrané agronomické a kvalitativní parametry. Byla stanovena jejich variabilita a u jednotlivých genotypů byly průměrné hodnoty těchto znaků statisticky porovnány. Všechny sledované genetické zdroje se vyznačovaly nízkou mírou odolnosti k poléhání a nízkým výnosem. Nicméně při hodnocení kvality zrna vynikaly vysokými obsahy bílkovin a β -glukanů. Vysoká kvalita zrna spolu s obsahem různých barviv v zrně předurčuje tyto genotypy pro použití ve zdravé lidské výživě.

Klíčová slova: *Hordeum* L., fenotyp, kvalita zrna, hospodářské znaky

Abstract: In a set of 15 genetic resources of spring barley with atypical color of caryopsis, the expressions of morphological traits were studied with a focus on anthocyanin pigmentation of various plant parts in relation to grain color at maturity. It was found that a high anthocyanin content with visible pigmentation in different tissues during vegetation period does not affect the resulting grain color. Furthermore, selected agronomic and qualitative parameters were evaluated. Their variability was determined, and the average values of these traits for individual genotypes were statistically compared. All monitored genetic resources showed low lodging resistance and low yield. However, when assessing grain quality, they stood out for their high protein and β -glucan contents. This high grain quality, along with the presence of various pigments in the grain, predisposes these genotypes for use in healthy human nutrition.

Key Words: *Hordeum* L., phenotype, grain quality, agronomic traits

Úvod

Ječmen (*Hordeum vulgare* L.) je plodinou, která se uplatňuje při výrobě piva, krmení hospodářských zvířat i ve zdravé lidské výživě. Typické zrno ječmene má žlutou barvu s pluchou pevně spojenou se zrnem. Existují však genetické zdroje s černou, modrou, zelenou, oranžovou a purpurovou barvou zrna. Za netypické zabarvení zrna obilovin jsou zodpovědné anohokyany, melaniny, karotenoidy, fenolové kyseliny a další sloučeniny, které jsou vytvářeny jako sekundární metabolity (Kajla et al., 2023).

Tým autorů Jin et al. (2022) zjistil, že struktura, složení a koncentrace fenolických látek se liší v závislosti na barvě zrna ječmene. Výsledky jeho studie ukázaly, že ječmen s barevným zrnem měl dobrý antioxidační účinek a vysoký obsah fenolických sloučenin, mezi kterými vynikají polyfenoly extrahované z purpurového ječmene a antokyany z černého ječmene. Autoři podobné studie (Dang et al., 2022) pak zjistili, že obsah polyfenolů a antioxidační kapacita byla vyšší u purpurového ječmene než u ječmene s černým zrnem. Oba však měli vyšší hodnoty těchto parametrů ve srovnání se žlutým ječmenem. Tato zjištění naznačují, že barevný ječmen může sloužit jako potravina se zdravotními benefity. Antokyany a proantokynidiny se však nevyskytují jen v zrně ječmene, ale i v jiných částech rostliny jako jsou báze listů, ouška listů, stéblo nebo osiny (Jende-Strid, 2004). Kolektiv autorů Kajla et al. (2023) uvádějí, že hromadění antokyanů je reakcí na různé environmentální stresy, jako je teplota, UV záření, těžké kovy, sucho a odolnost vůči patogenům. Příkladem může být Tibet, kde více než 68 % planého ječmene představuje barevný bezpluchý ječmen, který je známý svou tolerancí vůči místnímu drsnému prostředí. Díky své vysoké diverzitě populace ječmene a její odlišnosti od ostatních genotypů ječmene je Tibet označován za sekundární centrum původu ječmene (Dai et al., 2012). Primárním centrem je pak označována oblast Úrodného půlměsíce.

Ječmen má různé morfologické varianty založené na typu klasu a obilky. Existují dva základní morfotypy založené na počtu řad zrn v klase – dvouřadé (dvě řady v klase) a šestiřadé ječmeny (šest řad v klase). Další klasifikace je založena na přítomnosti různých typů obilky. Většina genotypů má pluchy po dozrání pevně přisedlé k zrně (pluchaté genotypy), ale některé genetické zdroje mají zrno v pluše uloženo volně a po sklizni z ní vypadává (bezpluché genotypy). Tyto odlišné morfotypy mají specifickou hospodářskou hodnotu a mohou být využívány pro různé účely. Šestiřadý ječmen je pěstován po celém světě pro krmné účely za nízkých vstupů a nízkých srážkových úhrnů. Dvouřadý ječmen je obecně šlechtěn na sladovnickou kvalitu a pěstován v systémech s vysokými vstupy. Bezpluchý ječmen je hlavní plodinou pro výživu lidí žijících v horských oblastech (až 4 400 m n. m.), kde žádná jiná plodina nemůže být pěstována, jako je Nepál, horské části Indie, Bhútánu, Číny, Koreje, Japonska a Etiopie (Sun & Wang, 1999; Assefa & Labuschagne, 2004; Manjuntha et al., 2007).

Posouzení rozsahu genetické variability v rámci ječmene je zásadní pro šlechtitelské programy, vědecké práce a také pro uchování genetických zdrojů v rámci genových bank. Tato studie byla provedena za účelem posouzení a vyhodnocení variability vybraných genetických zdrojů s atypickou barvou zrna na základě morfologických, hospodářských, biochemických a kvalitativních vlastností v našich vegetačních podmínkách.

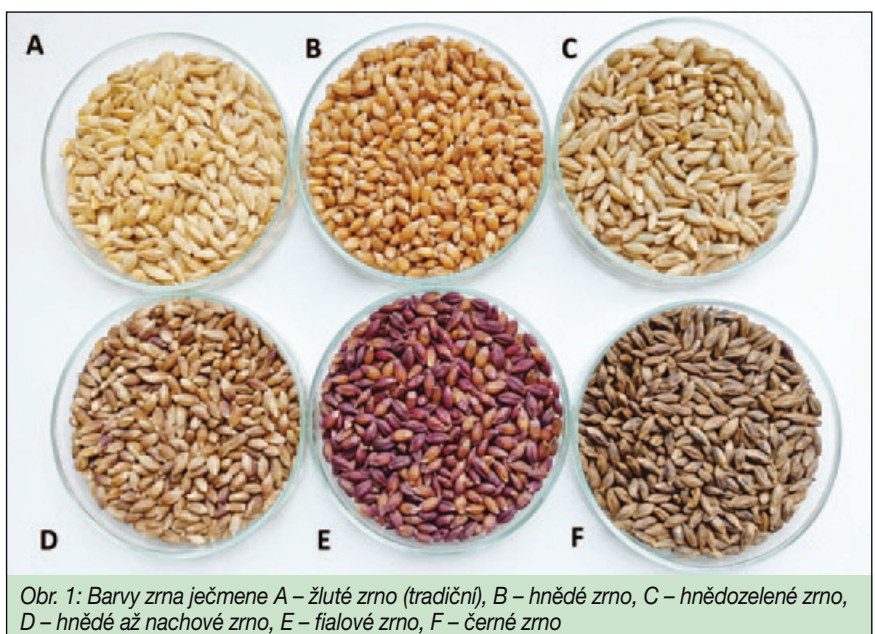
Materiál a metody

V letech 2019–2021 bylo studováno celkem 15 genetických zdrojů ječmene jarního s netypickou barvou zrna (Tab. 1). Osivo jednotlivých genotypů bylo vyseto do parcel o velikosti 2,5 m² v polních podmínkách lokality Kroměříž (průměrná nadmořská výška 235 m n. m.), po předplodině ozimé řepce. Během vegetace nebyly aplikovány žádné fungicidy, ani morforegulátory. V průběhu vegetace byly sledovány vybrané morfologické, hospodářské a kvalitativní parametry. Dle klasifikátoru pro rod *Hordeum* L. byly sledovány následující morfologické a biologické znaky: tvar trsu, barva klasu po vymetání, barva stébla v metání, barva oušek listu, intenzita antokyanového zabarvení osin, barva zrna, výška rostlin, délka klasu, hustota klasu, vegetační doba, odolnost k poléhání. Z hospodářských a kvalitativních vlastností byly sledovány: výnos zrna, počet produktivních odnoží, hmotnost tisíce semen, počet zrn v klase, obsah bílkovin metodou podle Dumase (ICC Standard No. 167) na přístroji FP-528 (LECO). Odolnost poléhání byla hodnocena stupnicí 1–9 (1 – nejnižší odolnost, 9 – nejvyšší odolnost). Délka klasu, počet zrn v klase a hustota klasu byly stanoveny u deseti náhodně vybraných klasů. Výnos zrna byl stanoven jako procentní podíl k výnosu kontrolní odrůdy Bojos.

Výsledky byly statisticky vyhodnoceny v programu Statistica 14.0.0.15.

Tab. 1: Charakteristika studovaných genetických zdrojů ječmene jarního

Genetický zdroj	Původ	Typ klasu	Typ zrna
Freak	USA	šestiřadý	bezpluchý
China 2010 Shungdor E 6-14	Čína	šestiřadý	bezpluchý
China 2010 Lunang 16-41	Čína	šestiřadý	bezpluchý
6-row Purple Barley	neznámý	šestiřadý	bezpluchý
2-row Purple Barley	neznámý	dvouřadý	bezpluchý
Weihenstephaner Schwarze Nackte	Německo	šestiřadý	bezpluchý
China 2011 Kashgar 10-21	Čína	šestiřadý	bezpluchý
Negra Pergamino	Argentina	šestiřadý	pluchatý
Arabian Blue Barley	neznámý	šestiřadý	bezpluchý
China 2009 Rawu 15-35 Gray-brown	Čína	šestiřadý	bezpluchý
China 2012 Xinduqiao 2-8	Čína	šestiřadý	bezpluchý
China 2014 Zhongdian 5-10	Čína	šestiřadý	bezpluchý
China 2014 Wengshui 16-38	Čína	šestiřadý	bezpluchý
China 2014 Tielu 10-22	Čína	šestiřadý	bezpluchý
China 2014 Jiji 11-24 Short Awn	Čína	šestiřadý	bezpluchý
Bojos (K)	Česká republika	dvouřadý	bezpluchý



Obr. 1: Barvy zrna ječmene A – žluté zrno (tradiční), B – hnědé zrno, C – hnědozelené zrno, D – hnědé až nachové zrno, E – fialové zrno, F – černé zrno

Výsledky a diskuze

Ve sledovaném souboru genetických zdrojů ječmene jarního byla ve třech vegetačních ročnících (2019-2021) pozorována vysoká fenotypová variabilita v rámci vybraných morfologických znaků (Tab. 2). U studovaných genotypů byl zaznamenán pouze vzpřímený nebo velmi vzpřímený tvar trsu. Barva klasu po vymetání byla u většiny materiálů světle zelená, následovaná zelenou barvou klasu. Pouze u materiálů 2-row Purple Barley a Weihenstephaner Schwarze Nackte byla pozorována sivozelená barva klasu, doprovázená slabým ojněním klasu. Dále byla hodnocena barva stébla v metání, kde převažovala zelená barva, následovaná světle zelenou barvou. Genotyp 2-row Purple Barley měl nachovou bázi stébla. Barva oušek listu byla ve většině případů nažloutlá nebo bělavá. Pouze dva materiály

řada genů zapojených do biosyntézy antokyanů identifikována, řada otázek, např. ohledně jejich spojení s barvou zrna, nebyla zatím zcela objasněna.

V případech vybraných hospodářsky významných a kvalitativních parametrů (Tab. 3) byla největší variabilita zjištěna u poléhání ($V_k=81,61\%$), jehož hodnoty se pohybovaly v celé jeho možné škále (1–9). Dalšími znaky s vysokou variabilitou byly počet produktivních stébel ($V_k=38,07\%$), výnos zrna ($V_k=36,98\%$) a hustota klasu ($V_k=30,53\%$). Nejmenší variabilita byla zaznamenána u vegetační doby ($V_k=5,89\%$), i když rozsah jejich hodnot byl relativně velký a pohyboval se od 99 do 123 dní. Na Obr. 2 je znázorněn rozdíl v celkové vegetační době a v počátku metání v porovnání s kontrolní odrudou Bojos. Je patrné, že převážná většina studovaných genetických zdrojů metala o dva až šest dní dříve a zároveň měla kratší celkovou

Tab. 2: Morfologické charakteristiky studovaných genetických zdrojů ječmene jarního (2019-2021)

Odrůda	Tvar trsu	Barva klasu po vymetání	Barva stébla v metání	Barva oušek listu	Intenzita antokyanového zbarvení osin	Barva zrna
Freak	velmi vzpřímený	světle zelená	světle zelená	nažloutlá	velmi vysoká	hnědá až nachová
China 2010 Shungdor E 6-14	vzpřímený	světle zelená	zelená	nažloutlá	velmi slabá	hnědá
China 2010 Lunang 16-41	velmi vzpřímený	světle zelená	světle zelená	nažloutlá	velmi slabá	hnědá
6-row Purple Barley	velmi vzpřímený	světle zelená	světle zelená	nažloutlá	velmi vysoká	fialová
2-row Purple Barley	vzpřímený	sivozelená	nachová na bázi	slabě červenofialová	velmi vysoká	fialová
Weihenstephaner Schwarze Nackte	vzpřímený	sivozelená	zelená	nažloutlá	velmi vysoká	černá
China 2011 Kashgar 10-21	vzpřímený	světle zelená	světle zelená	bělavá	střední	hnědozelená
Negra Pergamino	vzpřímený	zelená	zelená	bělavá	vysoká	černá
Arabian Blue Barley	velmi vzpřímený	světle zelená	zelená	nažloutlá	vysoká	fialová
China 2009 Rawu 15-35 Gray-brown	vzpřímený	světle zelená	zelená	nažloutlá	slabá	zelenohnědá
China 2012 Xinduqiao 2-8	vzpřímený	světle zelená	zelená	slabě červenofialová	velmi vysoká	hnědá
China 2014 Zhongdian 5-10	vzpřímený	zelená	zelená	nažloutlá	velmi slabá	hnědá
China 2014 Wengshui 16-38	vzpřímený	světle zelená	zelená	bělavá	zelená	hnědá
China 2014 Tieluo 10-22	vzpřímený	zelená	světle zelená	bělavá	slabá	hnědá
China 2014 Jiji 11-24 Short Awn	velmi vzpřímený	zelená	zelená	bělavá	velmi slabá	hnědá
Bojos (K)	polovzpřímený	zelená	zelená	slabě červenofialová	vysoká	žlutá

měly slabě červenofialová ouška – 2-row Purple Barley a China 2012 Xinduqiao 2-8. V rámci intenzity antokyanového zbarvení osin byly zaznamenány všechny možné projevy tohoto znaku, od velmi slabého až po velmi vysoké. Přehled netypické zbarvení zrna studovaných genotypů ve srovnání s tradiční žlutozrnou odrudou je znázorněn na Obr. 1. Barva zrna byla nejčastěji hnědá a fialová, dva genetické zdroje měly černou barvu zrna a po jednom pak hnědou až nachovou, zelenou a zelenohnědou. Z Tab. 2 je patrné, že u genotypu 2-row Purple Barley se vysoký obsah antokyanů projevil fialovým zbarvením různých částí rostliny, včetně zrna. Dalo by se očekávat, že i ostatní materiály s fialovým zrnem budou mít vyšší antokyanové zbarvení různých pletiv v průběhu vegetace. Nicméně tyto měly pouze antokyanové zbarvení osin. Naopak kontrolní odrůda Bojos, jako zástupce typických sladovnických ječmenů, měla antokyanové zbarvená ouška listu i osiny, ačkoliv má žluté zrna. To samotné naznačuje existenci více na sobě nezávislých genů ovlivňujících přítomnost antokyanů v různých pletivech rostliny ječmene. Kolektiv autorů Himi et al. (2012) uvádějí, že geny zodpovědné za syntézu antokyanů a proantokyanidinů se nacházejí na lokusu *Ant* a jsou označovány *Ant1* až *Ant30*. U některých těchto genů byla zjištěna jejich funkce. Gen *Ant1* snižuje obsah antokyanu ve stéble (Himi & Taketa, 2015). Gen *Ant2* reguluje antokyanové zbarvení oušek listu, osin a plev, ale není zapojen do proantokyanidinové pigmentace zrna (Cockram et al., 2010). Gen *Ant18* je zapojen do syntézy jak antokyanů, tak i proantokyanidinu (Kristiansen & Rohde, 1991). Gen *Ant28* specificky reguluje syntézu proantokyanidinu pro barvu zrna a dormanci (Himi et al., 2012). Ačkoliv byla

vegetační dobu, a to o jeden až sedm dní. Pouze tři genetické zdroje původem z Číny (China 2014 Zhongdian 5-10, China 2014 Wengshui 16-38 a China 2014 Jiji 11-24 Short Awn) měly delší vegetační dobu, ale i přesto metaly dříve.

V rámci hodnocení rozdílů mezi jednotlivými materiály v hospodářsky významných a kvalitativních znacích (Tab. 4) se ve výšce rostlin statisticky průkazně odlišily genotypy 2-row Purple Barley a Weihenstephaner Schwarze Nackte s nejmenší výškou rostlin od China 2010 Lunang 16-41 s nejvyššími rostlinami. Mezi genetické zdroje z nejdelším klasem patřily China 2014 Tieluo 10-22 (7,8 cm) a China 2012 Xinduqiao 2-8 (7,7 cm), které se nejvíce přibližovaly délce klasu kontrolní odrůdy Bojos (8,4 cm). Hustota klasů však byla u těchto genetických zdrojů jedna z nejnižších (28,3 a 25,1 zrn/4 cm). Nejkratší klas měly genotypy Negra Pergamino a China 2014 Wengshui 16-38 (5,1 cm), následované další sběrovou položkou China 2014 Zhongdian 5-10 (5,3 cm). Poslední dva jmenované

Tab. 3: Variabilita hospodářky významných a kvalitativních znaků (Kroměříž, 2019-2021)

Znak	N	Průměr	Minimum	Maximum	Variační koeficient (%)
Výška (cm)	45	84,6	68,0	110,0	11,51
Klas délka (cm)	45	6,3	4,5	8,7	16,69
Klas hustota (zrna/4 cm)	45	30,1	8,6	50,1	30,53
Vegetační doba (dny)	45	107,7	99,0	123,0	5,89
Poléhání (1–9)	45	1,8	1,0	9,0	81,61
Počet produktivních stébel (ks/m ²)	45	320,4	160,0	688,0	38,07
Výnos ke K (%)	45	37,7	11,8	72,0	36,98
Hmotnost tisíce semen (g)	45	37,0	26,1	48,8	12,05
Počet zrn na klas (ks)	45	47,7	15,5	67,8	25,19
Obsah bílkovin (%)	45	17,1	13,4	20,5	8,86

Tab. 4: Průměrné hodnoty a statisticky významné rozdíly sledovaných znaků u jednotlivých genetických zdrojů (Kroměříž, 2019–2021)

Genetický zdroj	Výška (cm)		Klas - délka (cm)		Klas - hustota (zrn/4 cm)		Odolnost poléhání (1–9)		Počet produktivních stébel (ks/m ²)	
	průměr	SEM ¹⁾	průměr	SEM	průměr	SEM	průměr	SEM	průměr	SEM
Freak	91,7 ab ²⁾	10,14	6,4 de	0,19	29,3 cd	0,38	1,7 a	0,67	262,7 a	8,74
China 2010 Shungdor E 6-14	86,7 ab	9,35	6,0 a-d	0,12	32,9 de	2,27	2,0 a	0,58	403,7 ab	97,90
China 2010 Lunang 16-41	98,0 b	8,00	6,3 cde	0,70	36,5 e	0,80	1,5 a	0,50	281,0 ab	69,00
6-row Purple Barley	85,3 ab	6,36	5,4 a-d	0,45	29,7 cd	1,22	1,0 a	0,00	345,3 ab	139,26
2-row Purple Barley	79,3 a	5,70	6,3 cde	0,30	10,4 a	0,29	1,3 a	0,33	366,7 ab	1,33
Weihenstephaner Schwarze Nackte	79,3 a	3,84	7,3 ef	0,30	24,9 bc	0,99	1,0 a	0,00	352,0 ab	32,08
China 2011 Kashgar 10-21	91,3 ab	4,10	7,3 ef	0,44	20,4 b	5,89	1,7 a	0,67	276,0 ab	26,63
Negra Pergamino	81,7 ab	4,37	5,1 a	0,18	32,9 de	0,26	1,3 a	0,33	260,0 a	50,01
Arabian Blue Barley	81,3 ab	6,96	5,5 a-d	0,28	29,3 cd	1,15	1,0 a	0,00	250,7 a	19,64
China 2009 Rawu 15-35 Gray-brown	82,3 ab	4,48	6,3 cde	0,23	30,8 de	0,67	1,0 a	0,00	348,0 ab	96,69
China 2012 Xindujiao 2-8	80,3 ab	3,18	7,7 fg	0,61	25,1 bc	0,54	1,7 a	0,67	344,0 ab	74,33
China 2014 Zhongdian 5-10	83,3 ab	6,39	5,3 abc	0,38	46,1 f	1,16	2,7 ab	0,88	404,0 ab	147,02
China 2014 Wengshui 16-38	87,3 ab	1,33	5,1 ab	0,17	47,1 f	1,50	4,7 b	2,19	366,7 ab	108,67
China 2014 Tieluo 10-22	87 ab	6,51	7,8 fg	0,24	28,3 cd	0,99	1,0 a	0,00	250,7 a	10,91
China 2014 Jiji 11-24 Short Awn	82,3 ab	2,33	7,3 ef	0,71	28,7 cd	1,53	2,7 ab	0,89	290,7 ab	66,22
Bojos (K)	86,7 ab	3,53	8,4 g	0,18	12,0 a	0,21	7,7 c	1,33	493,3 b	16,91
Genetický zdroj	Výnos (% ke K)		Hmotnost tisíce semen (g)		Počet zrn v klase (ks)		Obsah bílkovin (%)		Obsah β-glukanů (%)	
	průměr	SEM	průměr	SEM	průměr	SEM	průměr	SEM	průměr	SEM
Freak	38,8 bcd	9,17	37,7 bc	1,34	46,6 bcd	1,37	18,3 ef	0,92	5,3 b-e	0,33
China 2010 Shungdor E 6-14	32,7 abc	1,43	37,7 bc	2,15	56,9 def	2,13	16,8 b-e	0,38	4,6 abc	0,58
China 2010 Lunang 16-41	27,0 ab	5,43	33,4 ab	0,05	57,5 def	7,70	18,0 def	0,35	4,2 abc	0,50
6-row Purple Barley	48,8 d	4,90	38,6 bc	1,66	40,0 b	1,62	17,5 c-f	0,54	5,0 b-e	0,22
2-row Purple Barley	22,0 a	4,12	39,5 bcd	3,18	16,27 a	0,43	19,1 f	0,49	6,0 e	0,84
Weihenstephaner Schwarze Nackte	32,5 ab	4,44	28,0 a	1,62	45,5 bc	2,45	17,4 c-f	0,58	5,8 de	0,56
China 2011 Kashgar 10-21	47,4 cd	4,52	37,8 bc	2,31	47,8 b-e	3,38	15,7 a-d	0,47	5,4 cde	0,58
Negra Pergamino	67,1 e	2,94	44,9 de	1,97	41,7 b	1,11	15,1 ab	0,83	4,1 ab	0,30
Arabian Blue Barley	50,2 d	7,99	38,5 bc	1,12	40,5 b	1,46	17,2 b-f	0,57	5,1 b-e	0,12
China 2009 Rawu 15-35 Gray-brown	33,4 abc	2,22	34,0 b	1,21	48,8 b-e	2,40	15,5 abc	0,77	4,7 bcd	0,46
China 2012 Xindujiao 2-8	41,1 bcd	3,75	41,0 cde	2,68	48,3 b-e	4,82	16,9 b-e	1,04	5,1 b-e	0,52
China 2014 Zhongdian 5-10	23,2 a	1,83	36,9 bc	1,15	60,6 f	4,34	18,3 ef	1,17	4,4 abc	0,32
China 2014 Wengshui 16-38	31,9 ab	10,05	36,0 bc	1,40	60,5 f	3,53	17,3 c-f	1,04	4,7 bcd	0,35
China 2014 Tieluo 10-22	39,3 bcd	4,72	36,3 bc	0,94	55,3 c-f	3,59	17,4 c-f	0,81	4,9 b-e	0,18
China 2014 Jiji 11-24 Short Awn	26,4 ab	4,28	34,8 b	1,09	52,5 c-f	7,77	17,2 c-f	0,79	5,5 cde	0,20
Bojos (K)	100,0 f	0,00	46,5 e	3,81	25,5 a	0,91	14,5 a	0,40	3,5 a	0,20

¹⁾ SEM - střední chyba průměru;

²⁾ homogenní skupiny – v rámci stejného znaku označují rozdílná písmena průkaznou diferenci při $P \leq 0,05$ (Fisherův LSD test)

materiály původem z Číny měly zároveň nejhustší klasy (47,1 a 46,1 zrn/4 cm) a v tomto znaku se statisticky průkazně odlišily od všech ostatních materiálů. Nejmenší hustotu klasu měl genotyp 2-row Purple Barley, který má však dvouřadý klas. Ze šestiřadých ječmenů se nejmenší hustotou klasu vyznačoval materiál China 2011 Kashgar 10-21 (20,4 zrn/4 cm). Všechny sledované genetické zdroje se vyznačovaly nízkou mírou odolnosti k poléhání. Nejlepší odolnost z nich měl materiál China 2014 Wengshui 16-38, a to 4,7 bodu. Nejnížší počty produktivních stébel měly genotypy Arabian Blue Barley (250,7 ks/m²), China 2014 Tieluo 10-22 (250,7 ks/m²), Negra Pergamino (260,0 ks/m²) a Freak (262,7 ks/m²), které se statisticky významně odlišily od kontrolní odrůdy. Největšího počtu produktivních stébel dosáhl materiál China 2014 Zhongdian 5-10 (404,0 ks/m²). Výnos u studovaného souboru se ve většině případů pohyboval po 50% v porovnání s kontrolní odrůdou. Nejvyšší hodnoty dosáhl genotyp Negra Pergamino (67,1%), který se statisticky průkazně odlišil od všech ostatních materiálů.

Nejnižšího výnosu dosáhl genetický zdroj 2-row Purple Barley (22,0 %), který měl však jednu z nejvyšších hodnot hmotnosti tisíce zrn (39,5 g). Mezních hodnot tohoto znaku dosáhly v obou případech genotypy s černým zrnem. Nejnížší hodnot měl genetický zdroj Weihenstephaner Schwarze Nackte (28,0 g) a nejvyšší hodnotu pak Negra Pergamino (44,9 %). Nejméně zrn v klase měl dvouřadý genetický zdroj 2-row Purple Barley (16,3 zrn), což je dáno typem klasu. Ze šestiřadých materiálů se nejmenším počtem zrn v klase vyznačoval genotyp 6-row Purple Barley (40,0 zrn) a největším materiál China 2014 Zhongdian 5-10 (60,6 zrn).

Důležitými hodnocenými znaky, charakterizujícími kvalitu zrna z pohledu potenciálního využití v potravinářství, byly obsahy bílkovin a β-glukanů. Ve srovnání s kontrolní sladovnickou odrůdou Bojos, která dosáhla v rámci obsahu bílkovin v zrně hodnoty 14,5 %, měly všechny studované genetické zdroje obsah bílkovin vyšší. Mezních hodnot u obou kvalitativních znaků dosáhly stejné genotypy. Materiál Negra Pergamino

měl jak nejnižší obsah bílkovin (15,1 %), tak i nejnižší obsah β -glukanů (4,1 %), zatímco genetický zdroj 2-row Purple Barley měl nejvyšší obsah bílkovin (19,1%) současně s nejvyšším obsahem β -glukanů (6,0 %). Z tohoto pohledu jsou zajímavé i další genetické zdroje, které v sobě kombinují vysoký obsah bílkovin s vysokým obsahem β -glukanů. Jsou jimi Freak (18,3 % bílkovin, 5,3 % β -glukanů), Weihestephaner Schwarze Nackte (17,4 %, 5,8 % β -glukanů) a China 2014 Jiji 11-24 Short Awn (17,2 % bílkovin, 5,5 % β -glukanů).

Závěr

Ve sledovaném souboru byla nalezena vysoká fenotypová variabilita v projevu morfologických znaků. Nicméně u studovaných genetických zdrojů byla prokázána i nízká agronomická hodnota, projevující se nízkou odolností k poléhání, nízkým počtem produktivních stébel, a především nízkým výnosem. Avšak tyto nedostatky mohou být zcela vyváženy jejich specifickou kvalitou zrna vhodnou převážně pro lidskou výživu. Některé genotypy obsahují významně vyšší obsah β -glukanů, které jsou řazeny do rozpustné vlákniny a při jejich konzumaci mají pozitivní vliv na lidské zdraví. Evropský úřad pro bezpečnost potravin (Nařízení Komise č. 432/2012) potvrdil závěry dlouholetých výzkumů, že denní příjem 3 g β -glukanů snižuje hladinu cholesterolu a současně upravuje hladinu glukózy v krvi. Významné obsahy této látky byly u obilovin nalezeny pouze u ovsu a ječmene. Nicméně β -glukany obsahují také některé houby, lišejníky a kvasinky, avšak pro lidský organismus jsou vhodnější a lépe stravitelné β -glukany z obilovin. Kromě β -glukanů byly u všech studovaných genotypů objeveny i vyšší obsahy bílkovin. Tato vysoká nutriční kvalita současně s přítomností různých pigmentů s antioxidačními a jinými prospěšnými účinky, může být podnětem pro větší zájem o tyto genetické zdroje v souvislosti s výrobou potravin s vysokou přidanou hodnotou.

/Recenzováno/

Poděkování

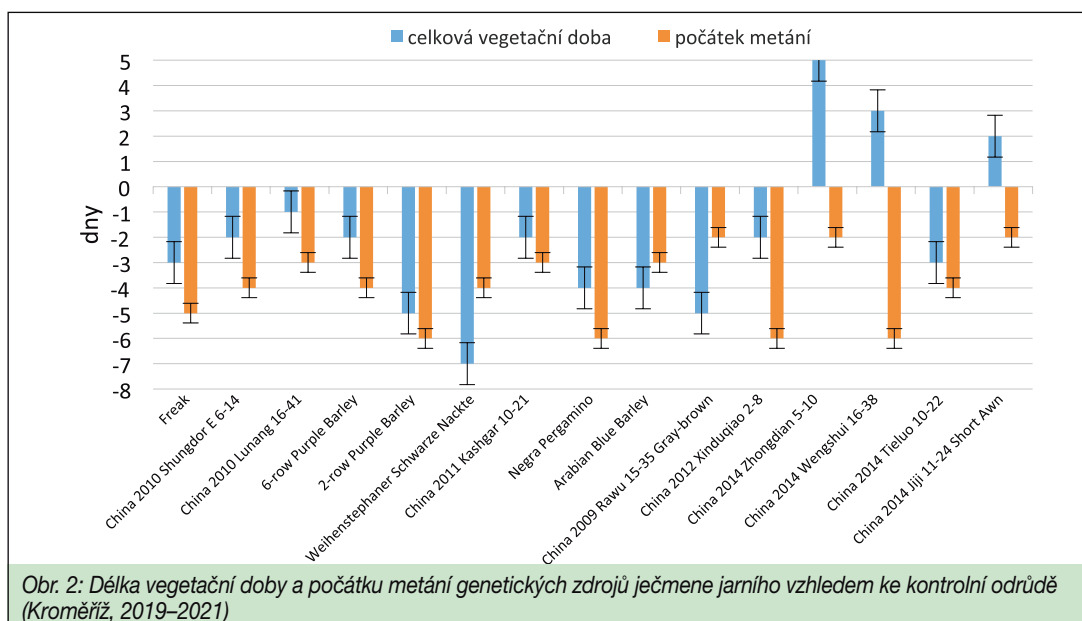
Výsledek vznikl za podpory Ministerstva zemědělství ČR - institucionální podpora MZE-RO1123 a výzkumný projekt č. QL24010230.

Kontakt zavrelova@vukrom.cz

Literatura

Assefa, A., Labuschagne, M.T. 2004. Phenotypic variation in barley (*Hordeum vulgare* L.) landraces from North Shewa in Ethiopia. *Biodivers. Conserv.*, 13, 1441–1451.

- Cockram, J., White, J., Zuluaga, D. L., Smith, D., Comadran, J., Macaulay, M., Luo Z., Kearsey, M.J., Werner, P., Harrap D., et al. 2010. Genome-wide association mapping to candidate polymorphism resolution in the unsequenced barley genome. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 107(50): 21611–21616.
- Dai, F., Nevo, E., Wu, D., Comadran, J., Zhou, M., Qiu, L., Chen, Z., Beiles, A., Chen, G., Zhang, G. 2012. Tibet is one of the centers of domestication of cultivated barley. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 109: 16969–16973.
- Dang, B., Zhang, W.G., Zhang, J., Yang, X.J., Xu, H.D. 2022. Evaluation of nutritional components, phenolic composition, and antioxidant capacity of highland barley with different grain colors on the Qinghai Tibet Plateau. *Foods*, 11, 2025.
- Himi, E., Yamashita, Y., Haruyama, N., Yanagisawa, T., Maekawa, M., Taketa, S. 2012. Ant28 gene for proanthocyanidin synthesis encoding the R2R3 MYB domain protein (Hvmyb10) highly affects grain dormancy in barley. *Euphytica*, 188(1):141–51.
- Himi, E., Taketa, S. 2015. Barley Ant17, encoding flavanone 3-hydroxylase (F3H), is a promising target locus for attaining anthocyanin/proanthocyanidin-free plants without pleiotropic reduction of grain dormancy. *Genome*, 58(1):43–53.
- Jende-Strid, B. 2004. Genetic control of flavonoid biosynthesis in barley. *Hereditas*, 119, 187–204.
- Jin, H.M., Dang, B., Zhang, W.G., Zheng, W.C., Yang, X.J. 2022. Polyphenol and anthocyanin composition and activity of highland barley with different colors. *Molecules*, 27, AN 3411.
- Kajla, P., Chaudhary, V., Dewan, A., Goyal, N. 2023. Colored cereals: Botanical aspects. p. 6. In: Bangar S.P. and Kumar M. (eds.). *Functionality and Application of Colored Cereals – Nutritional, Bioactive, and Health Aspects*, Elsevier, ISBN 978-0-323-99733-1.
- Kristiansen, K., Rohde, W. 1991. Structure of the *Hordeum vulgare* gene encoding dihydroflavonol-4-reductase and molecular analysis of Ant18 mutants blocked in flavonoid synthesis. *Mol. Gen. Genet.*, 230(1–2):49–59.
- Manjunatha, T., Bisht, I.S., Bhat, K.V., Singh, B.P. 2007. Genetic diversity in barley (*Hordeum vulgare* L. ssp. *vulgare*) landraces from Uttaranchal Himalaya of India. *Genet. Resour. Crop. Evol.* 54, 55–65.
- Nařízení Komise (EU) č. 432/2012 ze dne 16. května 2012, kterým se zřizuje seznam schválených zdravotních tvrzení při označování potravin jiných než tvrzení o snížení rizika onemocnění a o vývoji a zdraví dětí.
- Sun, L., and Wang, X. 1999. Genetic diversity of Chinese hull-less barley germplasm and its utilization. *Plant Genet. Resour. Newsl. Med. Sci. Hist. Soc.*, 120, 55–57.



Obr. 2: Délka vegetační doby a počátku metání genetických zdrojů ječmene jarního vzhledem ke kontrolní odrůdě (Kroměříž, 2019–2021)