



Grain and malt quality of selected winter barley genetic resources

Kvalita zrna a sladu vybraných genetických zdrojů ozimého ječmene

Zdeněk Nesvadba^{1*}, Vratislav Psota², Ivo Hartman², Pavel Mařík³

¹ Crop Research Institute, Drnovská 507/73, 161 06 Prague 6 – Ruzyně, Czech Republic
Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Drnovská 507/73, 161 06 Praha 6 – Ruzyně

² Research Institute of Brewing and Malting, Mostecká 971/7, 614 00 Brno, Czech Republic
Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a.s., Mostecká 971/7, 614 00 Brno

³ Selton Research Centre, 334 54 Lužany u Přeštic 168, Czech Republic
Výzkumné centrum SELTON, s.r.o., ŠS Lužany, 334 54 Lužany u Přeštic 168

* corresponding author (odpovědný autor): nesvadba@vurv.cz

Abstract

The present study evaluated the agronomic and malting quality of 18 selected winter barley varieties. The varieties were obtained from the Gene Bank of the Crop Research Institute in Prague-Ruzyně. The varieties were tested under field conditions in three-year trials of basic evaluation. After the harvest, grain was malted and malting quality was determined according to international methods (EBC and MEBAK). The highest extract content was found in the Atlantick variety (80.6%). Proteolytic modification of the varieties Absolut, KWS Ariane and the line QK19/08030A_18 was at an optimal level. The value of diastatic power was high in all varieties, which is typical for winter barley varieties, similarly as low levels of cell wall degradation (friability) and high β -glucan content of the sweet wort. The lowest β -glucan content in the sweet wort was recorded in the two-row winter barley variety KWS Ariane (241 mg/l). Of the six-row varieties, the line QK19/08030A_18 had the lowest β -glucan content of the sweet wort (382 mg/l).

Keywords: *Hordeum vulgare* L.; winter barley; genetic resources; malting quality; biological traits; agronomic traits

Abstrakt

V předložené studii byla hodnocena hospodářská a sladovnická kvalita 18 vybraných odrůd ozimého ječmene. Odrůdy pochází z Genové banky Výzkumného ústavu rostlinné výroby v Praze – Ruzyni. Odrůdy byly testovány v polních podmínkách ve tříletých školkách základního hodnocení. Po sklizni zrna bylo provedeno sladování a podle mezinárodních metodik (EBC a MEBAK) byla stanovena sladovnická kvalita. Nejvyšší obsah extraktu měla odrůda Atlantick (80,6 %). Odrůdy Absolut, KWS Ariane a linie QK19/08030A_18 měly proteolytické rozluštění na optimální úrovni. Hodnoty diastatické mohutnosti byly u všech odrůd vysoké, což je pro odrůdy ozimého ječmene typické stejně jako nízká úroveň degradace buněčných stěn (friabilita) a vysoký obsah β -glukanů ve sladince. Nejnižší obsah β -glukanů ve sladince vykazala dvouřadá odrůda ozimého ječmene KWS Ariane (241 mg/l). Z víceřadých odrůd měla nejnižší obsah β -glukanů ve sladince linie QK19/08030A_18 (382 mg/l).

Klíčová slova: *Hordeum vulgare* L.; ozimý ječmen; genetické zdroje; sladovnická jakost; biologické znaky; hospodářské znaky

1 Introduction

Global climate change is expected to be accompanied by further increases in temperatures and changes in the distribution and intensity of precipitation (Dawson et al., 2015; Gammans et al., 2017). Global warming poses a serious threat to barley production (Giraldo et al., 2019; Bindereif et al., 2021). In extremely dry years, the yield and grain quality of spring barley are severely compromised as the increase in temperature reduces grain yield due to a shortened grain filling phase (Paynter and Young, 2004; Cook et al., 2013; Xie et al., 2018). Due to its development in autumn, winter barley tolerates pre-summer drought well and therefore can help significantly diversify risk in areas of frequent spring drought (Heil et al., 2020).

The collection of genetic resources of winter barley (*Hordeum vulgare* L.), which is maintained at the Gene Bank in Prague – Ruzyně, is expanded with new accessions every year. As of 31 October 2022, there are 2,259 winter barley accessions in the regular collection of the National Program of Plant Genetic Resources (NP PGR). Of this number, 1,785 accessions were six-row barley (79.0%) and 474 accessions two-row barley varieties (21.0%). Bred varieties (advanced cultivars) and genetic lines, represented mainly by breeding materials, prevail in the winter barley collection. This collection includes material from a total of 51 countries in Europe, North America, Africa, Asia and Australia. The most numerous sub-collections are from former Czechoslovakia and the Czech Republic (31%), Germany (17%), France (10%), the former GDR (5%), the USA (5%), the former Soviet Union (4%) and Hungary (3%). The collection also includes genetic resources from Bulgaria, Romania, Austria, the Netherlands, Great Britain, Ukraine, Poland, Belgium and other countries. Passport data and fairly extensive descriptive data are available for most of the accessions in the collection, these data are the result of a three-year evaluation of morphological (9), biological (6) and agronomic (9) traits. The winter barley collection currently contains 90 accessions with declared malting quality or used abroad for malt and beer production. Of this number, 40 varieties have been bred in France in recent years, the vast majority of which are six-row forms (Nesvadba et al., 2023).

The aim of this study was to evaluate the grain and malt quality of selected winter barley genetic resources from the 2019–2022 harvests and to assess their potential for use in breeding of malting varieties.

2 Materials and methods

Seeds of winter barley varieties with declared malting quality and control varieties were obtained from foreign breeding companies under the National Programme for Conservation and Utilization of Plant Genetic Resources

1 Úvod

Předpokládá se, že globální změna klimatu bude provázena dalším zvýšením teplot a změnami v rozložení a intenzitě srážek (Dawson et al., 2015; Gammans et al., 2017). Globální oteplování představuje vážné ohrožení produkce ječmene (Giraldo et al., 2019; Bindereif et al., 2021). V extrémně suchých letech jsou výnos a kvalita zrna jarního ječmene výrazně ohroženy, protože nárůst teploty sníží výnos zrna z důvodu zkrácení fáze plnění zrna (Paynter and Young, 2004; Cook et al., 2013; Xie et al., 2018). Ozimý ječmen díky svému vývoji na podzim dobře snáší předletní sucho, a má tudíž významný potenciál pro diverzifikaci rizika v oblastech častého výskytu jarního sucha (Heil et al., 2020).

Kolekce genetických zdrojů ječmene ozimého (*Hordeum vulgare* L.), která je vedena v Genové bance v Praze – Ruzyni, je každoročně rozšiřována o nové položky. K 31. říjnu 2022 bylo v kolekci evidováno 2259 položek ozimého ječmene. Z tohoto počtu bylo 1785 položek víceřadého ječmene (79,0 %) a 474 položek dvouřadého ječmene (21,0 %). V kolekci ozimého ječmene převládají šlechtěné odrůdy (pokročilé kultivary) a genetické linie, reprezentované zejména šlechtitelskými materiály. Tato kolekce zahrnuje materiály z celkem 51 zemí Evropy, Severní Ameriky, Afriky, Asie a Austrálie. Nejpočetnější jsou subkolekce z bývalého Československa, respektive České republiky (31 %), Německa (17 %), Francie (10 %), bývalé NDR (5 %), USA (5 %), zemí bývalého Sovětského svazu (4 %) a Maďarska (3 %). Kolekce obsahuje také genetické zdroje z Bulharska, Rumunska, Rakouska, Nizozemí, Velké Británie, Ukrajiny, Polska, Belgie a dalších států. U většiny položek v kolekci jsou k dispozici pasportní data a poměrně rozsáhlá popisná data, která jsou výsledkem tříletého hodnocení morfologických (9), biologických (6) a hospodářských (9) znaků. V současné době je v kolekci ozimého ječmene 90 položek s deklarovanou sladovnickou kvalitou nebo využívaných v zahraničí na produkci sladu a piva. Z tohoto počtu bylo 40 odrůd vyšlechtěno v posledních letech ve Francii, z nichž převážnou většinu představují víceřadé formy (Nesvadba et al., 2023).

Cílem této studie bylo zhodnotit kvalitu zrna a sladu u vybraných genetických zdrojů ozimého ječmene ze sklizní 2019–2022 a posoudit jejich potenciál pro využití ve šlechtění sladovnických odrůd.

2 Materiál a metody

Osivo odrůd ozimého ječmene s deklarovanou sladovnickou kvalitou a kontrolních odrůd bylo získáno od zahraničních šlechtitelských firem v rámci Národního programu konzervace a využívání genetických zdrojů rostlin

and Agrobiodiversity (MZe, 2022). A set of 17 six-row and 1 two-row winter barley varieties was studied (Table 1). The basic evaluation of these varieties was carried out after three-year (2019–2021) field trials, which took place in Prague – Ruzyně [GPS: 50°5'11.58'N, 14°18'9.84"E]. The varieties were cultivated on 4.5 m² plots in one replication with standard cultivation practices in basic intensity (without fungicide and morphoregulators). The pre-crop was pea. The seeding rate was 3.5 million germinating grains per hectare. Sowing was carried out with an Oyjord residue-free drill. The experimental site is classified as a beet production area, beet-wheat subtype, with a soil type of degraded chernozem. The Prague-Ruzyně area (340 m above sea level) has an average annual rainfall of 526 mm. The long-term average annual air temperature is 7.9 °C.

a agrobiodiverzity (MZe, 2022). Byl studován soubor 17 šestiřádkových a 1 dvouřádkové odrůdy ozimého ječmene (Tabulka 1). Základní hodnocení uvedených odrůd proběhlo po tříletých (2019–2021) polních pokusech, které se uskutečnily v Praze – Ruzyni [GPS: 50°5'11.58'N, 14°18'9.84„E]. Odrůdy byly pěstovány na parcelách o velikosti 4,5 m² v jednom opakování standardními pěstebními postupy v režimu s nízkým uplatněním intenzifikačních zásahů (bez použití fungicidů a morforegulatorů). Předplodinou byl hrách. Výsev byl proveden bezezbytkovým secím strojem Oyjord. Pokusná lokalita je zařazena do výrobní oblasti řepařské, subtypu řepařsko-pšeničného, s půdním typem degradovaná černozem. Oblast Praha – Ruzyně (340 m n. m.) má průměrný roční úhrn srážek 526 mm. Dlouhodobá průměrná roční teplota vzduchu je 7,9 °C.

Table 1 Passport data of winter barley genetic resources with declared malting quality and control varieties. CRI / VÚRV, v.v.i. Praha - Ruzyně, 2019–2021

Tabulka 1 Pasporní data genetických zdrojů ozimého ječmene s deklarovanou sladovnickou kvalitou a kontrolní odrůdy. CRI / VÚRV, v.v.i. Praha – Ruzyně, 2019–2021

| ECN | Variety Odrůda | Origin Původ | 2/6 row 2/6 řádky | Breeder Šlechtitel | Breeder's reference Předběžné označení | Registration Registrace | Pedigree |
|------------|-------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|---|------------------------------|-----------------------|
| 01C0502364 | Absolut | FRA | 6 | KWS Momont SAS | MH 09 AB 59 | 2017 (FRA) | unknown / neznámé |
| 01C0502248 | Atlantick | FRA | 6 | RAGT | S 34196 | 2011 (FRA) | unknown / neznámé |
| 01C0502171 | Citadel | FRA | 6 | Secobra Recherches | SC 3043 JH 22 | 2013 (FRA) | unknown / neznámé |
| 01C0502172 | Etincel | FRA | 6 | Secobra Recherches | SC 1205 IH 23 | 2011 (FRA) | unknown / neznámé |
| 01C0502362 | Family | FRA | 6 | KWS Momont SAS | MH 09 FM 21 | 2017 (FRA) | unknown / neznámé |
| 01C0502363 | Fanion | FRA | 6 | KWS Momont SAS | MH 9 FM 91 | 2017 (FRA) | unknown / neznámé |
| 01C0502281 | Gambrinus | FRA | 6 | KWS Momont SAS | MH 08 KU 86 | 2016 (FRA, SVK) | Gigga x Meridian |
| 01C0502212 | Gigga | FRA | 6 | KWS Momont SAS | MH 02 GG 78 | 2009 (ITA) | unknown / neznámé |
| 01C0502173 | Isocel | FRA | 6 | Secobra Recherches | SC 1905-2 | 2011 (FRA) | unknown / neznámé |
| 01C0502185 | KWS Ariane | DEU | 2 | KWS Lochow GmbH | KW 2-822 | 2012 (DEU) | Wintmalt x Malwinta |
| 01C0502359 | KWS Borrelly | FRA | 6 | KWS Momont SAS | MH 10 BJ 33 | 2018 (FRA) | unknown / neznámé |
| 01C0502360 | KWS Estaminet | FRA | 6 | KWS Momont SAS | MH 10 DH 27 | 2017 (FRA) | unknown / neznámé |
| 01C0502361 | KWS Faro | FRA | 6 | KWS Momont SAS | MH 10 BG 47 | 2017 (ITA) | Henriette x Cargo |
| 01C0502208 | KWS Kosmos (C) | DEU | 6 | KWS Lochow GmbH | KW 6-130 | 2015 (CZE, DEU, FRA, POL) | unknown / neznámé |
| 01C0502330 | Laurin (C) | DEU | 6 | Nordsaat Saatzucht GmbH | NORD 11002/8 | 2019 (CZE) | unknown / neznámé |
| 01C0502397 | LG Zoro (C) | FRA | 6 | Limagrain Europe | LGBB 15W 003 | 2019 (CZE) | unknown / neznámé |
| 01C0502407 | QK19/08030A_18 | CZE | 6 | Výzkumné centrum Selton, s.r.o. | | | Azurel x SG-L 5003/06 |
| 01C0502314 | Visuel | FRA | 6 | Secobra Recherches | SC 9433 OH | 2017 (FRA) | unknown / neznámé |

Explanatory notes: CRI – Crop Research Institute; ECN – national accession number; C – control variety; CZE – Czech Republic; DEU – Germany; FRA – France; ITA – Italy; POL – Poland; SVK – Slovakia
Vysvětlivky: VÚRV – Výzkumný ústav rostlinné výroby; ECN – národní evidenční číslo; C – kontrolní odrůda
CZE – Česká republika; DEU – Německo; FRA – Francie; ITA – Itálie; POL – Polsko; SVK – Slovensko

During the vegetation period, the assessment of morphological, biological and agronomic traits was carried out according to the valid classifier for the genus *Hordeum* L. (Lekeš et al., 1986). The level of expression of each trait was evaluated on a scale of 1–9, where 1 is the lowest and 9 the highest level of the trait, expressing the average value of the trait in a multi-year evaluation. Harvesting was carried out with a Wintersteiger small-plot combine harvester, yield was converted to t/ha and 15% moisture content. The harvested grain was cleaned on a laboratory thresher, the weight of one thousand grains was determined and the nitrogen substances content and starch content were assessed using the NIR method. For malting purposes, grain harvested in Lužany (SELTON Research Centre) and Žabčice (Mendel University Brno) from the crops of 2019–2022 was used. The varieties were grown according to the Methodology of utility value tests (Dvořáčková, 2019).

The grain samples (0.5 kg) were malted in the micro malting plant of KVM (Czech Republic). Steeping was carried out in the steeping box for 72 hours, with alternating steeping and air rests. The temperature of the water and air was maintained at 14.0 °C. On the first day, steeping lasted 5 hours and the air rest 19 hours, on the second day, steeping lasted 4 hours followed by a 20-hour air rest. On the third day, the water content of the germinating grains was adjusted to 45% by steeping or spraying. Germination took place in the germination box. The temperature was maintained at 14.0 °C during germination. The total germination time was 72 hours. Kilning was carried out in a one-floor electrically heated kiln and the total kilning time was 22 hours. The pre-drying phase lasted 12 hours at 55 °C. During the temperature increase phase, the temperature was gradually increased over a period of 6 hours to 75 °C. The curing phase lasted 4 hours at 80 °C. Malt quality was determined according to the methods described in MEBAK (2011) and EBC Analysis Committee (2010).

3 Results and discussion

The basic activities when working with plant genetic resources include their collecting, propagation, documentation of passport data, evaluation, long-term conservation and sustainable utilisation of genetic resources. The primary objective of the evaluation is to obtain information on genetic, biological, agronomic and economic traits that are relevant for users of genetic resources and for effective development and management of collections. Characterisation of genetic resources is an important part of the evaluation of collections. The aim is to identify them by morphological or other traits, and especially by using genetic markers. In addition, in the case of DNA markers, the ge-

V průběhu vegetace byla prováděna hodnocení morfologických, biologických a hospodářských znaků podle platného Klasifikátoru pro genus *Hordeum* L. (Lekeš et al., 1986). Úroveň projevu jednotlivých znaků byla hodnocena na stupnici 1–9, kde je 1 nejnižší a 9 nejvyšší úroveň daného znaku, vyjadřující průměrnou hodnotu znaku ve víceletém hodnocení. Sklizeň byla provedena maloparcelním kombajnem Wintersteiger, výnos byl přepočten na t/ha a 15 % vlhkost. Sklizené zrno bylo přečištěno na laboratorní mlátičce, byla stanovena hmotnost tisíce zrn a metodou NIR byl stanoven obsah N-látek a škrobu. Pro potřeby sladování bylo použito zrno sklizené v lokalitě Lužany (Výzkumné centrum SELTON, s.r.o.) a Žabčice (Mendelova univerzita Brno) z ročníků 2019–2022. Odrůdy byly pěstovány podle Metodiky zkoušek užitné hodnoty (Dvořáčková, 2019).

Vzorky zrna (0,5 kg) byly sladovány v mikrosladovně společnosti KVM (Česká republika). Máčení probíhalo v máčírně po dobu 72 hodin, přičemž se střídaly namáčky a vzdušné přestávky. Teplota vody a vzduchu byla udržována na 14,0 °C. První den trvala namáčka 5 hodin a vzdušná přestávka 19 hodin, druhý den trvala namáčka 4 hodiny a po ní následovala 20ti hodinová vzdušná přestávka. Třetí den byl obsah vody v klíčovcích zrnech upraven na 45 % namočením nebo postřikem. Klíčení probíhalo v klíčovně. Během klíčení byla udržována teplota 14,0 °C. Celková doba klíčení byla 72 hodin. Hvozďení probíhalo v jednolískovém elektricky vytápěném hvozdu a celková doba hvozďení byla 22 hodin. Fáze předsoušení trvala 12 hodin při 55 °C. Během fáze zvyšování teploty se teplota postupně zvyšovala po dobu 6 hodin až na 75 °C. Fáze dotahování probíhala 4 hodiny při 80 °C. Kvalita sladu byla stanovena podle metod popsanych v MEBAK (2011) and EBC Analysis Committee (2010).

3 Výsledky a diskuze

K základním činnostem při práci s genetickými zdroji rostlin patří jejich získávání, množení, dokumentace pasportních dat a hodnocení. Základním cílem hodnocení je získání informací o genetických, biologických, agronomických a hospodářských znacích, které jsou významné pro uživatele genetických zdrojů a pro efektivní tvorbu a management kolekcí. Významnou součástí hodnocení kolekcí je charakterizace genetických zdrojů. Cílem je jejich identifikace pomocí morfologických či jiných znaků, zejména pak využitím genetických markerů. V případě DNA markerů lze navíc posuzovat genetickou odlišnost mezi jednotlivými položkami a ge-

netic dissimilarity between the individual accessions and genetic diversity in the collection can be assessed. This can be used for selecting new genotypes for the collection, recommending them for hybridization programs, and, where appropriate, identifying some genotypes in the collection with user-relevant traits (Holubec et al., 2015).

All the varieties passed tests for winterhardiness without problems in all the years under study, only the French variety Gigga was rated as medium resistant with a score of 7 (Table 2). In terms of **the length of the growing period** from 1 January to heading, the early genotypes include Etincel, Isocel, Gigga, Atlantick and Citadel (134 to 139 days from 1 January). Late varieties are LG Zoro, QK19/08030A_18, Absolut, KWS Estaminet and Laurin, they headed 13 to 18 days later than the earliest varieties.

netickou diverzitu v kolekci. Toho je možné využít při výběru nových genotypů do kolekce, jejich doporučování do hybridizačních programů a popřípadě k identifikaci některých genotypů v kolekci s užitelsky významnými znaky (Holubec et al., 2015).

Všechny testované odrůdy ve všech sledovaných letech bez problémů přezimovaly, pouze francouzská odrůda Gigga byla hodnocena stupněm 7 jako středně odolná (Tabulka 2). Z hlediska **délky vegetační doby** od 1. ledna do metání lze mezi rané genotypy zařadit odrůdy Etincel, Isocel, Gigga, Atlantick a Citadel (134 až 139 dnů od 1. ledna). K pozdním odrůdám patřily LG Zoro, QK19/08030A_18, Absolut, KWS Estaminet a Laurin, které metaly o 13 až 18 dní později než nejranější odrůdy.

Table 2 Evaluation of the selected morphological and biological traits of winter barley genetic resources

Tabulka 2 Hodnocení vybraných morfoložických a biologických znaků genetických zdrojů ozimého ječmene. CRI / VÚRV, v.v.i. Praha – Ruzyně, 2019–2021

| Variety Odrůda | Winterhardiness Přezimování | Date of heading Datum metání | Date of full ripening Plná zralost | Powdery mildew Paří ječmene | Leaf spot complex Komplex list. skvrnitosti | Scald of barley Spála ječmene | Plant height Délka rostlin | Lodging Poléhání |
|----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--|----------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| | | days from 1/1 dny od 1.1. | days from 1/1 dny od 1.1. | | | | | |
| Absolut | 9 | 148 | 190 | 7 | 9 | 8 | 86 | 6 |
| Atlantick | 8 | 138 | 174 | 5 | 7 | 9 | 80 | 7 |
| Citadel | 9 | 139 | 181 | 8 | 8 | 8 | 87 | 7 |
| Etincel | 9 | 134 | 180 | 8 | 9 | 7 | 91 | 8 |
| Family | 9 | 144 | 188 | 7 | 7 | 7 | 85 | 6 |
| Fanion | 9 | 146 | 190 | 8 | 7 | 7 | 78 | 6 |
| Gambrinus | 8 | 143 | 186 | 6 | 7 | 9 | 86 | 6 |
| Gigga | 7 | 138 | 174 | 7 | 9 | 9 | 90 | 8 |
| Isocel | 9 | 136 | 181 | 8 | 9 | 9 | 91 | 8 |
| KWS Ariane | 9 | 143 | 184 | 9 | 9 | 9 | 82 | 9 |
| KWS Borrelly | 9 | 144 | 189 | 7 | 7 | 9 | 79 | 6 |
| KWS Estaminet | 9 | 151 | 192 | 7 | 8 | 7 | 86 | 7 |
| KWS Faro | 9 | 143 | 189 | 6 | 9 | 6 | 79 | 6 |
| KWS Kosmos (C) | 9 | 142 | 182 | 7 | 9 | 9 | 82 | 7 |
| Laurin (C) | 9 | 152 | 191 | 7 | 8 | 9 | 101 | 9 |
| LG Zoro (C) | 9 | 147 | 186 | 9 | 9 | 9 | 92 | 7 |
| QK19/08030A_18 | 9 | 148 | 187 | 7 | 9 | 9 | 87 | 6 |
| Visuel | 9 | 145 | 188 | 8 | 8 | 7 | 86 | 7 |
| Average of trial | 9 | 152 | 196 | 8 | 9 | 9 | 86 | 7 |
| Average of controls | 9 | 147 | 186 | 8 | 9 | 9 | 93 | 8 |

Explanatory notes / Vysvětlivky:
CRI – Crop Research Institute
VÚRV – Výzkumný ústav rostlinné výroby

A statistically significant positive correlation was calculated between the growing period from 1 January to heading and the trait 1000-grain weight ($r=0.49^*$) and nitrogen substances content ($r=0.51^*$). A highly statistically significant negative correlation ($r=-0.70^{**}$) was found between the heading period and starch content (Table 3).

Statisticky průkazná kladná korelace byla vypočtena mezi vegetační dobou od 1. ledna do metání a znakem hmotnost 1000 zrn ($r=0,49^*$) a obsahem dusíkatých látek ($r=0,51^*$). Vysoce statisticky průkazná negativní korelace ($r=-0,70^{**}$) byla zjištěna mezi dobou metání a obsahem škrobu (Tabulka 3).

Table 3 Correlation coefficients between selected morphological, biological and agronomic traits
Tabulka 3 Korelační koeficienty mezi vybranými morfologickými, biologickými a hospodářskými znaky.
 CRI / VÚRV, v.v.i. Praha – Ruzyně, 2019–2021

| | | DH | PH | NFT | L | PM | LSC | SB | GY | TGW | P | S |
|-----|-----|--------------|--------------|------------------------|-------|--------------|-------|-------|--------------|-------|--------------|---|
| | | VDM | DR | PPO | P | PT | KLS | SJ | VZ | HTZ | NL | Š |
| | | days | cm | pcs / 1 m ² | 9-1 | 9-1 | 9-1 | 9-1 | t/ha | g | % | % |
| | | dny | | ks / 1 m ² | | | | | | | | |
| DH | VDM | | | | | | | | | | | |
| PH | DR | -0.12 | | | | | | | | | | |
| NFT | PPO | 0.06 | -0.54 | | | | | | | | | |
| L | P | -0.22 | 0.60 | -0.08 | | | | | | | | |
| PM | PT | 0.01 | 0.28 | 0.23 | 0.34 | | | | | | | |
| LSC | KLS | -0.14 | 0.35 | -0.10 | 0.34 | 0.31 | | | | | | |
| SB | SJ | -0.06 | 0.28 | -0.03 | 0.40 | 0.08 | 0.17 | | | | | |
| GY | VZ | -0.14 | -0.02 | -0.54 | 0.14 | 0.69 | 0.22 | -0.10 | | | | |
| TGW | HTZ | 0.49 | 0.26 | 0.30 | 0.20 | 0.46 | 0.11 | 0.26 | 0.50 | | | |
| P | NL | 0.51 | -0.10 | -0.11 | -0.34 | -0.64 | -0.13 | 0.08 | -0.83 | -0.14 | | |
| S | Š | -0.70 | -0.03 | 0.23 | 0.47 | 0.34 | 0.15 | -0.02 | 0.51 | -0.07 | -0.76 | |

P – value / hodnota **P = 0.05; P = 0.01**

Explanatory notes:
 CRI – Crop Research Institute; DH – date of heading from 1/1 ; PH – plant height;
 NFT – number of fertile tillers; L – lodging; PM – powdery mildew of barley; LSC – leaf spot complex; SB – scald of barley;
 GY – grain yield; TGW – thousand grain weight; P – nitrogen substances content in barley grain; S – starch content

Vysvětlivky:
 VÚRV – Výzkumný ústav rostlinné výroby; VDM – vegetační doba od 1/1 do metání;
 DR – délka rostlin; PPO – počet plodných odnoží; P – poléhání; PT – padlí ječmene; KLS – komplex listových skvrnitostí;
 SJ – spála ječmene; VZ – výnos zrna; HTZ – hmotnost 1000 zrn; NL – dusíkaté látky; Š – škrob

Another important characteristic was the health status of the selected genotypes. Leaf diseases affect yield, sieving fractions, and also nitrogen substances content. The varieties LG Zoro, KWS Ariane, Fanion, Visuel, Citadel, Etincel and Isocel showed resistance to **powdery mildew of barley** (*Blumeria graminis*), with a score of 9–8. The variety Atlantick was rated as less resistant with a score of 5. A statistically highly significant positive correlation was found between resistance to powdery mildew and grain yield ($r=0.69^{**}$). A statistically highly significant negative correlation was found between resistance to powdery mildew and nitrogen substances content ($r=-0.64^{**}$). Most of the studied varieties were rated as resistant to the **complex of leaf spots** of barley (net blotch of barley *Pyrenophora*

Další významnou charakteristikou bylo hodnocení zdravotního stavu vybraných genotypů. Listové choroby ovlivňují výnos, podíly na sítěch, ale i obsah bílkovin. K původci **padlí ječmene** (*Blumeria graminis*) prokázaly odolnost (hodnocení stupněm 9–8) odrůdy LG Zoro, KWS Ariane, Fanion, Visuel, Citadel, Etincel a Isocel. Odrůda Atlantick byla hodnocena stupněm 5 jako méně odolná. Statisticky vysoce průkazná pozitivní korelace byla nalezena mezi odolností k padlí travnímu a výnosem zrna ($r=0,69^{**}$). Statisticky vysoce průkazná negativní korelace byla zjištěna mezi odolností k padlí travnímu a obsahem dusíkatých látek ($r=-0,64^{**}$). V odolnosti ke **komplexu listových skvrnitostí** ječmene (síťovitá skvrnitost ječmene *Pyrenophora teres* a vřetenovitá hnědá skvrnitost ječmene

teres and spot blotch of barley *Cochliobolus sativus*), only Fanion, Family, KWS Borrelly, Atlantick and Gambrinus were rated as moderately resistant (7). In resistance to **scald of barley** (*Rhynchosporium secalis*), most varieties were rated as resistant (score 9–8). The varieties Family, Fanion, KWS Estaminet, Visuel, Etincel and KWS Faro were rated as moderately resistant (score 7–6). In terms of **lodging**, only the varieties KWS Ariane, Laurin, Etincel, Gigga and Isocel were rated as resistant (score 9–8). A statistically significant positive correlation was found between lodging and starch content ($r=0.47^*$). All the other genotypes showed moderate resistance in field trials (score 7–6). In the study set, the average **number of fertile tillers** was 516 pcs/m² (Table 4). The number of ears per 1 m² in KWS Ariane, the only two-row variety tested, was 769. For the six-row forms, the highest stand density was found in KWS Borrelly (588 ears) and the lowest in Gambrinus (368 ears). A statistically negative correlation was calculated between the number of fertile tillers and grain yield ($r=-0.54^*$). The average **plant height** in this set was 86 cm. The shortest plant height was measured in the varieties Fanion, KWS Borrelly, KWS Faro and Atlantick (78–80 cm), which according to the classifier is rated as medium-low length. Variety Laurin, with the longest length in the set of 101 cm, can be characterised as medium according to the classifier. Plant height was statistically highly positively correlated with plant lodging ($r=0.60^{**}$) and negatively statistically correlated with the number of fertile tillers ($r=-0.54^*$).

The best yielding variety in the three-year average was the two-row German variety KWS Ariane (9.90 t/ha, which was 120.1% to the trial average and 119.6% to the control average). Among the six-row varieties, the French variety Isocel was the best yielding variety (9.36 t/ha, which represented 113.6% to the trial average and 113.0% of the average of the controls). On the contrary, the lowest yield was obtained by the French variety Atlantick (5.45 t/ha, which was 66.1% to the trial average and 65.8% to the average of the controls (Table 5).

The trait grain yield was statistically positively correlated (Table 5) with the trait Thousand Grain Weight (TGW) ($r=0.50^*$) and starch content ($r=0.51^*$). Negatively, it was highly statistically correlated with nitrogen substances content ($r=-0.83^{**}$). **TGW** is directly related with barley grading, and higher values indicate a higher fraction above 2.5 mm. Large grains with a higher density usually have a higher value of the ratio of endosperm to other morphological (covering) parts of the grain. TGW is one of the factors for barley extract prediction. The better the malt is modified, the lower its average TGW is (Basařová et al., 1992). The average weight of 1000 grains in the test set was 41.8 g. Within the test set, the range of this trait was from 30.5 g (Atlantick) to 48.9 g in the control variety Laurin (Table 3).

Cochliobolus sativus) byla většina položek hodnocena jako odolná, pouze odrůdy Fanion, Family, KWS Borrelly, Atlantick a Gambrinus byly bonitovány jako středně odolné (7). V rezistenci ke **spále ječmene** (*Rhynchosporium secalis*) byla většina odrůd hodnocena jako odolná (stupeň 9–8). Odrůdy Family, Fanion, KWS Estaminet, Visuel, Etincel a KWS Faro byly bonitovány jako středně odolné (stupeň 7–6). Ve znaku **poléhání** byly pouze odrůdy KWS Ariane, Laurin, Etincel, Gigga a Isocel bodovány stupněm 9–8 jako odolné. Byla zjištěna statisticky průkazná kladná korelace mezi znakem poléhání a obsahem škrobu ($r=0.47^*$). Všechny ostatní genotypy se v polních pokusech projevily jako středně odolné (stupeň 7–6). Ve studovaném souboru byl průměrný **počet produktivních odnoží** 516 ks/m² (Tabulka 4). U jediné testované dvouřadé odrůdy KWS Ariane byl zjištěn počet 769 klasů na 1 m². U víceřadých forem byla nejvyšší hustota porostu u odrůdy KWS Borrelly (588 klasů) a naopak nejnižší u odrůdy Gambrinus (368 klasů). Statisticky negativně průkazná korelace byla vypočtena mezi znakem počet plodných stébel a výnosem zrna ($r=-0.54^*$). Průměrná **délka rostlin** v daném souboru byla 86 cm. Nejkratší délka rostlin byla naměřena u odrůd Fanion, KWS Borrelly, KWS Faro a Atlantick (78–80 cm) což je podle klasifikátoru hodnocení jako středně nízká délka. Jako středně vysokou dle klasifikátoru můžeme charakterizovat odrůdu Laurin, u které byla naměřena největší délka v souboru a to 101 cm. Délka rostlin statisticky vysoce pozitivně průkazně korelovala s poléháním rostlin ($r=0.60^{**}$) a negativně statisticky průkazně korelovala s počtem plodných **odnoží** ($r=-0.54^*$).

Nejvýnosnější odrůdou byla v tříletém průměru dvouřadá německá odrůda KWS Ariane (9,90 t/ha zrna, což bylo 120,1 % k průměru pokusu a 119,6 % k průměru kontrol). Z víceřadých odrůd byla výnosově nejlepší francouzská odrůda Isocel (9,36 t/ha, což představovalo 113,6 % k průměru pokusu a 113,0 % k průměru kontrol. Naopak nejnižší **výnos** dosáhla francouzská odrůda Atlantick (5,45 t/ha, což bylo 66,1 % k průměru pokusu a 65,8 % k průměru kontrol (Tabulka 5).

Znak výnos zrna statisticky pozitivně průkazně koreloval se znakem hmotnost 1000 zrn ($r=0.50^*$) a se znakem obsah škrobu ($r=0.51^*$). Negativně vysoce statisticky průkazně koreloval s obsahem dusíkatých látek ($r=-0.83^{**}$). **Hmotnost 1000 zrn** (HTZ) má přímý vztah ke třídění ječmene a vyšší hodnoty poukazují na vyšší podíl předního zrna. Velká zrna s větší hustotou mají obvykle větší hodnotu poměru endospermu k ostatním morfologickým (obalovým) částem zrna. HTZ je jedním z faktorů pro předpověď extraktu. Čím je slad lépe rozluštěn, tím je nižší jeho průměrná hmotnost 1000 zrn (Basařová et al., 1992). Průměrná hmotnost 1000 zrn v testovaném souboru byla 41,8 g. V rámci sledovaného souboru bylo rozpětí tohoto znaku od 30,5 g (Atlantick) až do 48,9 g u kontrolní odrůdy Laurin.

Table 4 Evaluation of selected agronomic traits of grain of winter barley genetic resources.
Tabulka 4 Hodnocení vybraných hospodářských znaků zrna genetických zdrojů ozimého ječmene.
 CRI / VÚRV, v.v.i. Praha – Ruzyně, 2019–2021

| Variety Odrůda | Number of fertile tillers Počet plodných stébel | Grain yield Výnos zrna | To the average of the trial K průměru pokusu | To the average of the control K průměru kontrol | TGW HTZ | Nitrogen substances content Obsah N-látek | Starch content Obsah škrobu | Bulk density Objemová hmotnost | Water content Obsah vody | Nitrogen content Obsah dusíku | Size fraction > 2.5 mm Podíl na sítě > 2,5 mm | Size fraction > 2.8 mm Podíl na sítě > 2,8 mm | Size fraction > 2,5 + > 2,8 mm Podíl na sítě > 2,5 + > 2,8 mm | Falling number Číslo poklesu |
|---------------------------------------|--|---------------------------|---|--|------------|--|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--|--|--|---------------------------------|
| | pcs / 1 m ² | t/ha | % | % | g | % | % | g/l | % | % | % | % | % | s |
| Absolut | 519 | 8.03 | 97.5 | 97.0 | 36.4 | 11.9 | 59.2 | 667 | 11.9 | 1.90 | 46.1 | 13.9 | 60.0 | 329 |
| Atlantick | 527 | 5.45 | 66.1 | 65.8 | 30.5 | 10.9 | 60.3 | 720 | 12.1 | 1.74 | 51.9 | 24.6 | 76.6 | 389 |
| Citadel | 481 | 9.34 | 113.3 | 112.8 | 39.0 | 11.2 | 62.2 | 693 | 11.9 | 1.78 | 48.9 | 36.6 | 85.5 | 421 |
| Etincel | 455 | 9.35 | 113.5 | 112.9 | 38.7 | 11.2 | 63.0 | 692 | 12.2 | 1.81 | 41.9 | 31.3 | 73.9 | 361 |
| Family | 575 | 8.65 | 105.0 | 104.5 | 44.4 | 11.1 | 60.2 | 682 | 12.1 | 1.78 | 40.0 | 48.0 | 88.0 | 365 |
| Fanion | 556 | 8.40 | 101.9 | 101.4 | 40.6 | 10.8 | 59.8 | 675 | 12.2 | 1.73 | 43.9 | 33.2 | 77.0 | 336 |
| Gambrinus | 368 | 6.72 | 81.6 | 81.2 | 43.1 | 10.9 | 60.7 | 714 | 12.1 | 1.74 | 47.5 | 34.0 | 81.6 | 381 |
| Gigga | 403 | 6.34 | 76.9 | 76.6 | 34.8 | 10.9 | 59.3 | 694 | 11.5 | 1.80 | 37.8 | 47.2 | 85.2 | 381 |
| Isocel | 521 | 9.36 | 113.6 | 113.0 | 47.9 | 11.6 | 62.5 | 699 | 12.2 | 1.87 | 35.7 | 36.8 | 72.5 | 369 |
| KWS Ariane | 769 | 9.90 | 120.1 | 119.6 | 47.9 | 13.0 | 62.8 | 683 | 11.8 | 2.09 | 47.9 | 38.5 | 86.4 | 337 |
| KWS Borrelly | 588 | 8.89 | 107.9 | 107.4 | 43.3 | 12.4 | 59.4 | 661 | 11.9 | 1.99 | 48.0 | 28.7 | 76.8 | 313 |
| KWS Estaminet | 461 | 8.11 | 98.4 | 97.9 | 39.2 | 11.6 | 59.0 | 681 | 12.0 | 1.85 | 47.3 | 29.4 | 76.7 | 314 |
| KWS Faro | 579 | 8.14 | 98.8 | 98.3 | 38.4 | 11.3 | 59.7 | 674 | 12.1 | 1.80 | 41.5 | 48.4 | 89.9 | 309 |
| KWS Kosmos (K) | 461 | 9.26 | 112.4 | 111.8 | 44.5 | 12.6 | 61.5 | 669 | 11.6 | 2.01 | 36.1 | 50.5 | 86.6 | 343 |
| Laurin (K) | 433 | 7.55 | 91.6 | 91.2 | 48.9 | 12.4 | 59.5 | 654 | 11.5 | 1.97 | 32.6 | 59.1 | 91.7 | 338 |
| LG Zoro (K) | 500 | 9.04 | 109.7 | 109.2 | 45.6 | 12.1 | 58.3 | 667 | 11.6 | 1.94 | 46.7 | 25.6 | 72.3 | 304 |
| QK19/08030A_18 | 550 | 6.80 | 82.5 | 82.1 | 45.5 | 12.5 | 58.1 | 658 | 11.7 | 2.01 | 46.4 | 33.8 | 80.3 | 321 |
| Visuel | 539 | 7.46 | 90.5 | 90.1 | 36.7 | 11.3 | 61.2 | 658 | 11.9 | 1.81 | 47.7 | 21.3 | 69.0 | 306 |
| Average of trial Průměr pokusu | 546 | 7.93 | 100 | | 41.8 | 11.6 | 60.0 | 680 | 11.9 | 1.87 | 43.8 | 35.6 | 79.4 | 345 |
| Average of controls Průměr kontrol | 486 | 8.28 | | 100 | 45.1 | 12.4 | 59.4 | 663 | 11.6 | 1.97 | 38.5 | 45.1 | 83.5 | 328 |

Explanatory notes: CRI – Crop Research Institute; TGW – Thousand grain weight
Vysvětlivky: VÚRV – Výzkumný ústav rostlinné výroby; HTZ – Hmotnost tisíce zrn

Starch is the basic organic polysaccharide compound of barley (60–65% of dry matter). It consists of amylose (20–25%) and amylopectin (75–80%). Starch acts as a reserve polysaccharide in barley and a nutrient reservoir for the germ during its development. Starch is made available for the action of amylolytic enzymes occurring during mashing in the preparation of the sweet wort (Basařová, 2015). The analysis of starch content using NIR revealed a maximum

Škrob je základní organickou polysacharidovou sloučeninou ječmene (60–65 % sušiny). Skládá se z molekuly amylosy (20–25 %) a amylopektinu (75–80 %). Škrob má v ječmeni funkci rezervního polysacharidu a zásobárny živin pro klíček v době vývinu. Škrob je zpřístupněn pro působení amylolytických enzymů, ke kterému dochází v průběhu rmutování při přípravě sladiny (Basařová, 2015). Při analýze obsahu škrobu pomocí NIR byla zjištěna maximální

Table 5 Mean values and degrees of variability of the studied traits.
Tabulka 5 Průměrné hodnoty a míry variability studovaných znaků.
 CRI / VÚRV, v.v.i. Praha – Ruzyně, 2019–2021

| Parameter / Znak | Units / Jednotky | \bar{x} | Min | Max | s_x | CV | SEM |
|---|------------------------------|-----------|------|------|-------|--------|-------|
| Winterhardiness Přezimování | 9–1 | 9.0 | 7.0 | 9.0 | 0.53 | 5.89 | 0.13 |
| Date of heading Datum metání | days from 1/1 dny od 1.1. | 143 | 134 | 152 | 4.83 | 3.17 | 1.14 |
| Date of full ripening Plná zralost | days from 1/1 dny od 1.1. | 185 | 174 | 192 | 5.27 | 2.69 | 1.24 |
| Powdery mildew of barley Padlí ječmene | 9–1 | 7 | 5 | 9 | 0.99 | 12.38 | 0.23 |
| Leaf spot complex Komplex listových skvrnitostí | 9–1 | 8 | 7 | 9 | 0.85 | 9.44 | 0.20 |
| Scald of barley Spála ječmene | 9–1 | 8 | 7 | 9 | 1.01 | 11.22 | 0.24 |
| Plant height Délka rostlin | cm | 86 | 78 | 101 | 5.58 | 6.13 | 1.32 |
| Lodging Poléhání | 9–1 | 7 | 6 | 9 | 1.00 | 14.29 | 0.24 |
| Number of fertile tillers Počet plodných odnoží | pcs /1 m ² | 546 | 368 | 769 | 85.93 | 15.70 | 20.27 |
| Grain yield Výnos zrna | t/ha | 7.93 | 5.45 | 9.90 | 1.19 | 15.00 | 0.28 |
| TGW HTZ | g | 41.8 | 30.5 | 48.9 | 4.71 | 11.27 | 1.11 |
| Nitrogen substances content Obsah N látek | % | 11.6 | 10.1 | 12.8 | 0.77 | 6.64 | 0.18 |
| Starch content Obsah škrobu | % | 60 | 58 | 63 | 1.54 | 2.57 | 0.36 |
| Bulk density Objemová hmotnost | g/l | 680 | 586 | 730 | 2.81 | 4.13 | 0.35 |
| Grain water content Obsah vody v zrně ječmene | % | 11.9 | 10.9 | 13.3 | 0.64 | 5.38 | 0.08 |
| Nitrogen content in grain Obsah dusíku v zrně ječmene | % | 1.87 | 1.40 | 2.93 | 0.25 | 13.37 | 0.03 |
| Size fraction > 2.5 mm Podíl na síti > 2,5 mm | % | 43.8 | 27.7 | 76.6 | 11.48 | 26.21 | 1.45 |
| Size fraction > 2.8 mm Podíl na síti > 2,8 mm | % | 35.6 | 6.1 | 77.1 | 16.57 | 46.54 | 2.09 |
| Size fraction > 2,5 + > 2,8 mm Podíl na síti > 2,5 + > 2,8 mm | % | 79.4 | 43.7 | 98.9 | 11.98 | 15.09 | 1.51 |
| Falling number Číslo poklesu | s | 345 | 175 | 449 | 53.10 | 153.91 | 6.69 |
| Explanatory notes / Vysvětlivky: CRI – Crop Research Institute; VÚRV – Výzkumný ústav rostlinné výroby \bar{x} = mean / průměr; s_x = standard deviation / směrodatná odchylka CV = coefficient of variation / variační koeficient; SEM = standard error of the mean / standardní chyba průměru TGW – Thousand grain weight; HTZ – Hmotnost tisíce zrn | | | | | | | |

value of 63.0% for Etincel (FRA) and a minimum value of 58.0% for KWS Estaminet (FRA). A highly statistically significant negative correlation ($r=-0.76^{**}$) was found between nitrogen substances content and starch content in barley. Hartman et al. (2010) and Hřivna et al. (2010) came to the same conclusions in their studies.

hodnota 63,0 % u odrůdy Etincel (FRA) a minimální hodnota 58,0 % u odrůdy KWS Estaminet (FRA). Byla zjištěna statisticky vysoce průkazná negativní korelace ($r=-0,76^{**}$) mezi obsahem dusíkatých látek a obsahem škrobu v ječmeni. Ke stejným závěrům došli ve svých pracích i Hartman et al. (2010) a Hřivna et al. (2010).

3.1 Malting parameters

The nitrogen substances of barley are important carriers of biological changes during the production of malt and beer. The content of nitrogen substances in the grain of specific barley varieties is genetically determined, but strongly influenced by the external environment. Each variety has a different ability to accumulate nitrogen substances during the grain development. The loss of nitrogen substances during malting is minimal. A large proportion of the nitrogen substances contained in the barley grain are converted by proteolytic enzymes into a soluble form and some are further broken down into amino acids and peptides. Six-row barley varieties tend to provide higher levels of nitrogen substances soluble in the sweet wort. The higher nitrogen content in the grain of six-row barley corresponds to higher enzyme activity. This characteristic has contributed to the popularity of malt from six-row barley in North American breweries. The increased enzyme activity allows the conversion of starch in mashes with adjuncts such as rice or corn with low enzyme activity (DeClerck, 1957). This compensates for the higher nitrogen substances content of the malt from the six-row variety and increases the extract content of the malt (Schwarz and Horsley, 1996; Goldammer, 2022).

Higher nitrogen substances content in malting barley grain can prolong steeping time, cause irregular germination, increase malt losses, increase enzymatic activity and reduce extract content in the sweet wort (Burger and LaBerge, 1985). Soluble nitrogen substances are of major technological importance. For example, they contribute to the fullness, colour and flavour of beer, give foam stability and are important for yeast metabolism (Basařová and Paulů, 2015).

Psota and Kosař (2002) give limit values and weights for the quality traits included in the malting quality index. Nine varieties showed optimal (Fanion, Gigga, Atlantic, Gambrinus) or close to optimal grain nitrogen substances content (Family, KWS Faro, Visuel, Citadel, Etincel) (Table 6).

A statistically highly significant negative correlation (Table 7) was found between the nitrogen substances content and apparent final attenuation ($r=-0.60^{**}$).

Malt extract is an essential economic criterion for this raw material. It influences the results of fermentation, the chemical composition of the finished beer, and its organoleptic properties. Malt extract is strongly influenced by variety as well as by starch content and nitrogen substances content (Basařová and Paulů, 2015).

Carbohydrates make up approximately 90 to 92% of the total soluble substances in the sweet wort. The remaining part consists of peptides of various sizes, hydrolytic products of nucleic acids, amino acids and

3.1 Sladovnické parametry

Dusíkaté látky ječmene jsou důležitými nosiči biologických změn v průběhu výroby sladu a piva. Obsah dusíkatých látek v zrně konkrétních odrůd ječmene je geneticky podmíněn, ale výrazně ovlivněn vnějším prostředím. Každá odrůda má jinou schopnost akumulovat dusíkaté látky během vývoje zrna. Ztráta dusíkatých látek v průběhu sladování je minimální. Velká část dusíkatých látek obsažených v zrně ječmene je přeměněna proteolytickými enzymy na rozpustnou formu a část se dále rozkládá na aminokyseliny a peptidy. Šestiřadé odrůdy ječmene mají tendenci poskytovat vyšší hladiny dusíkatých látek rozpustných ve sladině. Vyšší obsah dusíkatých látek v zrně šestiřadého ječmene koresponduje s vyšší enzymovou aktivitou. Tato vlastnost přispěla k popularitě sladu z šestiřadého ječmene v pivovarech Severní Ameriky. Zvýšená aktivita enzymů umožňuje přeměnu škrobu ve rmutech surovaných například rýží nebo kukuřicí s nízkou aktivitou enzymů (DeClerck, 1957). Vyrovná se tak vyšší obsah dusíkatých látek ve sladu z šestiřadé odrůdy a zvýší se obsah extraktu ve sladině (Schwarz a Horsley, 1996; Goldammer, 2022).

Vyšší obsah dusíkatých látek v zrně sladovnického ječmene může prodloužit dobu máčení, způsobit nepravidelné klíčení, zvýšit ztráty sladu, zvýšit enzymatickou aktivitu a snížit obsah extraktu ve sladině (Burger a LaBerge, 1985). Rozpustné dusíkaté látky mají zásadní technologický význam. Přispívají například k plnosti, barvě a chuti piva, podílejí se na stabilitě pěny a jsou důležité pro metabolismus kvasinek (Basařová a Paulů, 2015).

Psota a Kosař (2002) uvádějí limitní hodnoty a váhy kvalitativních znaků zařazených do ukazatele sladovnické jakosti. Optimální obsah (Fanion, Gigga, Atlantic, Gambrinus) nebo se optimálnímu obsahu dusíkatých látek v zrně blížící (Family, KWS Faro, Visuel, Citadel, Etincel) vykázalo 9 odrůd (Tabulka 6).

Statisticky vysoce průkazná negativní korelace (Tabulka 7) byla nalezena mezi znaky obsah dusíkaté látek a dosažitelný, stupeň prokvašení ($r=-0,60^{**}$).

Extrakt sladu je důležitým ekonomickým kritériem této suroviny. Ovlivňuje výsledky kvašení, chemické složení hotového piva i jeho organoleptické vlastnosti. Extrakt sladu je silně ovlivňován odrůdou stejně jako obsahem škrobu a dusíkatých látek (Basařová a Paulů, 2015).

Přibližně 90 až 92 % celkových látek rozpustných ve sladině tvoří sacharidy. Zbytek tvoří peptidy různé velikosti, hydrolytické produkty nukleových kyselin, aminokyseliny, malé množství fenolických sloučenin a různé lipidy, vitamíny a minerální látky (Burger

Table 6 Evaluation of selected malting quality traits in winter barley genetic resources
Tabulka 6 Hodnocení vybraných znaků sladovnické jakosti genetických zdrojů ozimého ječmene
 RIBM, ATL – Malting Institute Brno / VÚPS, AZL – Sladařský ústav Brno

| Variety Odrůda | ECN | MQI | P | E | VZ45 | KI | DP | AFA | F | BG |
|-------------------|------------|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|--------------------|
| | | USJ | NL | E | RE45 | KČ | DM | DSP | F | BG |
| | | | % | % | % | % | WK | % | % | mg/dm ³ |
| Absolut | 01C0502364 | 2.9 | 11.9 ± 0.50 | 78.1 ± 0.50 | 42.7 ± 1.53 | 41.9 ± 0.15 | 408 ± 44.77 | 80.5 ± 0.60 | 60 ± 8.07 | 513 ± 106.14 |
| Atlantick | 01C0502248 | 2.1 | 10.9 ± 0.27 | 80.6 ± 0.50 | 37.0 ± 1.66 | 41.8 ± 2.99 | 403 ± 15.60 | 81.0 ± 0.52 | 61 ± 5.07 | 824 ± 168.27 |
| Citadel | 01C0502171 | 1.9 | 11.2 ± 1.41 | 78.6 ± 0.18 | 35.9 ± 0.04 | 37.2 ± 0.14 | 344 ± 20.21 | 80.6 ± 0.60 | 59 ± 4.01 | 721 ± 18.09 |
| Etincel | 01C0502172 | 2.6 | 11.2 ± 1.41 | 78.5 ± 0.74 | 33.6 ± 2.16 | 37.8 ± 1.24 | 418 ± 24.82 | 80.9 ± 0.11 | 60 ± 3.30 | 590 ± 93.26 |
| Family | 01C0502362 | 2.6 | 11.1 ± 0.68 | 78.6 ± 0.65 | 37.3 ± 1.04 | 39.1 ± 1.53 | 447 ± 22.48 | 81.3 ± 0.69 | 62 ± 6.40 | 567 ± 117.64 |
| Fanion | 01C0502363 | 2.4 | 10.8 ± 0.56 | 78.2 ± 0.60 | 36.5 ± 1.09 | 39.4 ± 0.99 | 401 ± 21.48 | 80.6 ± 0.52 | 57 ± 7.29 | 759 ± 151.61 |
| Gambrinus | 01C0502281 | 2.1 | 10.9 ± 0.21 | 79.2 ± 0.15 | 37.3 ± 1.40 | 41.4 ± 1.86 | 359 ± 12.04 | 80.6 ± 0.05 | 57 ± 3.28 | 868 ± 114.38 |
| Gigga | 01C0502363 | 2.6 | 10.9 ± 0.14 | 79.1 ± 0.26 | 39.5 ± 1.32 | 40.0 ± 2.08 | 401 ± 31.29 | 80.9 ± 0.40 | 64 ± 6.61 | 568 ± 114.86 |
| Isocel | 01C0502281 | 2.2 | 11.6 ± 0.11 | 78.4 ± 1.03 | 34.1 ± 2.16 | 38.8 ± 0.14 | 422 ± 32.27 | 81.5 ± 0.39 | 60 ± 4.33 | 581 ± 137.94 |
| KWS Ariane | 01C0502363 | 2.9 | 13.0 ± 0.75 | 79.6 ± 0.38 | 40.5 ± 1.29 | 41.8 ± 1.02 | 501 ± 27.68 | 80.7 ± 0.54 | 68 ± 4.76 | 241 ± 20.23 |
| KWS Borrelly | 01C0502359 | 2.2 | 12.4 ± 0.66 | 77.7 ± 0.34 | 39.5 ± 1.31 | 37.5 ± 0.34 | 396 ± 49.86 | 79.3 ± 0.36 | 51 ± 6.01 | 975 ± 142.86 |
| KWS Estaminet | 01C0502360 | 2.9 | 11.6 ± 0.58 | 77.4 ± 0.47 | 39.3 ± 0.60 | 40.5 ± 0.73 | 484 ± 45.64 | 81.6 ± 0.54 | 63 ± 8.50 | 527 ± 99.85 |
| KWS Faro | 01C0502361 | 2.6 | 11.3 ± 0.71 | 79.4 ± 0.41 | 38.1 ± 1.27 | 41.6 ± 0.44 | 397 ± 68.69 | 80.3 ± 0.35 | 69 ± 6.22 | 616 ± 58.22 |
| KWS Kosmos (C) | 01C0502208 | 1.8 | 12.6 ± 0.28 | 78.5 ± 1.03 | 35.4 ± 0.92 | 36.8 ± 0.35 | 501 ± 4.61 | 79.5 ± 0.04 | 41 ± 3.19 | 1013 ± 33.33 |
| Laurin (C) | 01C0502330 | 2.5 | 12.4 ± 0.25 | 77.3 ± 0.39 | 39.2 ± 0.07 | 36.3 ± 0.14 | 457 ± 19.50 | 80.0 ± 0.04 | 44 ± 0.35 | 1004 ± 82.62 |
| LG Zoro (C) | 01C0502397 | 2.2 | 12.1 ± 0.14 | 76.4 ± 0.25 | 38.7 ± 0.14 | 34.5 ± 0.21 | 369 ± 11.35 | 78.9 ± 0.07 | 38 ± 0.35 | 1355 ± 81.56 |
| QK19/08030A_18 | 01C0502407 | 2.7 | 12.5 ± 0.68 | 78.8 ± 0.39 | 41.6 ± 1.57 | 42.8 ± 1.40 | 392 ± 18.90 | 79.3 ± 0.63 | 61 ± 3.52 | 382 ± 62.16 |
| Visuel | 01C0502314 | 2.4 | 11.3 ± 0.24 | 77.9 ± 0.58 | 38.1 ± 1.45 | 36.9 ± 0.83 | 449 ± 29.98 | 80.9 ± 0.68 | 53 ± 5.71 | 742 ± 93.70 |

Explanatory notes: RIBM, ATL – Research Institute of Brewing and Malting, Analytical Testing Laboratory
 ECN – national accession number; MQI – malting quality index; P – protein content in barley grain;
 E – extract in malt dry matter; VZ45 – Hartong and Kretschmer VZ 45 °C; KI – Kolbach index; DP – diastatic power;
 AFA – apparent final attenuation; F – friability; BG – β-glucans in wort; C – control varieties
Vysvětlivky: VÚPS, AZL – Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Analytická zkušební laboratoř
 ECN – národní evidenční číslo; USJ – ukazatel sladovnické jakosti; NL – dusíkaté látky v zrně ječmene;
 E – extrakt v sušině sladu; RE45 – relativní extrakt při 45°C; KČ – Kolbachovo číslo; DM – diastatická mohutnost;
 DSP – dosažitelný stupeň prokvašení; F – friabilita; BG – β-glukany ve sladince; C – kontrolní odrůdy

small amounts of phenolic compounds, and various lipids, vitamins and minerals (Burger and LaBerge, 1985). The quantity and quality of extract in the sweet wort is influenced by a number of factors: environment, genetic factors, malting and mashing technology (Fox et al., 2003).

a LaBerge, 1985). Množství a kvalita extraktu ve sladince je ovlivněna řadou faktorů: prostředím, genetickými faktory, technologií sladování a rmutování (Fox et al., 2003).

Obsah extraktu ve sladince se u odrůd víceřadého ječmene pohybuje kolem 79 % (Burger a LaBerge, 1985).

Table 7 Correlation coefficients between selected malting quality traits
Tabulka 7 Korelační koeficienty mezi vybranými znaky sladovnické kvality
 RIBM, ATL – Malting Institute Brno / VÚPS, AZL – Sladařský ústav Brno

| Methods Metody | Units Jednotky | References Odkazy | P | E | VZ45 | KI | DP | AFA | F | BG |
|---|-------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| | | | NL | E | RE45 | KČ | DM | DSP | F | BG |
| Protein content in barley grain (factor 6.25) Dusíkaté látky v ječmeni (faktor 6,25) | % | EBC 2010 3.3.1 | | | | | | | | |
| Extract in malt dry matter Extrakt sladu v sušině sladu | % | EBC 2010 4.5.1 | -0.28 | | | | | | | |
| Hartong and Kretschmer VZ 45 °C Relativní extrakt při 45 °C | % | EBC 2010 3.1.4.11 | 0.45 | -0.23 | | | | | | |
| Kolbach index Kolbach index | % | EBC 2010 4.3.1, 4.9.1 | -0.14 | 0.65 | 0.40 | | | | | |
| Diastatic power Diastatická mohutnost | % | EBC 2010 4.12.1 | 0.43 | 0.07 | -0.01 | -0.02 | | | | |
| Apparent final attenuation Dosažitelný stupeň prokvašení | % | EBC 2010 4.11.1 | -0.60 | 0.44 | -0.16 | 0.39 | 0.28 | | | |
| Friability Friabilita | % | EBC 2010 4.15 | -0.32 | 0.58 | 0.28 | 0.82 | -0.04 | 0.63 | | |
| β-Glucan of sweet wort β-Glukany ve sladince | mg/l | EBC 2010 8.13.2 | -0.01 | -0.46 | -0.43 | -0.77 | -0.25 | -0.52 | -0.87 | |
| P – value / P – hodnota P = 0.05; P = 0.01 | | | | | | | | | | |
| Explanatory notes: RIBM, ATL – Research Institute of Brewing and Malting, Analytical Testing Laboratory P – protein content in barley grain, E – extract in malt dry matter; VZ45 – Hartong and Kretschmer VZ 45 °C; KI – Kolbach index; DP – diastatic power; AFA – apparent final attenuation; F – friability; BG – β-glucans of sweet wort Vysvětlivky: VÚPS, AZL – Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Analytická zkušební laboratoř NL – dusíkaté látky v zru ječmene, E – extrakt v sušině sladu; RE45 – relativní extrakt při 45°C; KČ – Kolbachovo číslo; DM – diastatická mohutnost; DSP – dosažitelný stupeň prokvašení; F – friabilita; BG – β-glukany ve sladince | | | | | | | | | | |

The extract content of the sweet wort is around 79% in six-row barley varieties (Burger and LaBerge, 1985). The extract content of the six-row barley varieties studied ranged from 77.3% (Laurin) to 80.6% (Atlantick). The only two-row malting barley variety in the set, KWS Ariane, had a low extract content (79.6%), which was probably due to the high nitrogen substances content of the barley grain (13.0%). During the registration process, the variety KWS Ariane had an extract content of 81.7%, but with a grain nitrogen substances content of 11.4% in barley grain (Psota et al., 2015).

A statistically highly significant positive correlation was found between the extract and Kolbach index ($r=0.65^{**}$). The same conclusions were reached by Kosař et al. (1997), Špunarová and Prokeš (1998), and Nesvadba and Leišová-Svobodová (2019). A statistically significant negative correlation was calculated between extract in malt dry matter and β-glucan content ($r=-0.46^*$). A statistically significant positive correlation was found between the traits extract and friability ($r=0.58^*$).

The activity of proteolytic and cytolytic enzymes is highest at 45 °C. The value of **relative extract at 45 °C (VZ 45)** should be around 36%. In the set of varieties

Obsah extraktu se u sledovaného souboru víceřadých odrůd ječmene pohyboval od 77,3 % (Laurin) do 80,6 % (Atlantick). V souboru jediná dvouřadá sladovnická odrůda ječmene KWS Ariane měla nízký obsah extraktu (79,6 %), což bylo pravděpodobně způsobeno vysokým obsahem dusíkatých látek v zru ječmene (13,0 %). Odrůda KWS Ariane měla v průběhu registračního řízení obsah extraktu na úrovni 81,7 %, ale při obsahu dusíkatých látek v zru ječmene na úrovni 11,4 % (Psota et al., 2015).

Statisticky vysoce průkazná pozitivní korelace byla nalezena mezi extraktem a Kolbachovým číslem ($r=0,65^{**}$). Ke stejným závěrům dospěli i Kosař et al. (1997), Špunarová a Prokeš (1998) a Nesvadba a Leišová-Svobodová (2019). Statisticky průkazná negativní korelace byla vypočtena mezi extraktem v sušině sladu a obsahem β-glukanů ($r=-0,46^*$). Statisticky průkazná pozitivní korelace byla mezi znaky extrakt a friabilita ($r=0,58^*$).

Při teplotě 45 °C je aktivita proteolytických a cytolytických enzymů nejvyšší. Hodnota **relativního extraktu při 45 °C** by se měla pohybovat kolem 36 %. Ve sledované skupině odrůd se hodnota relativního

studied, the relative extract value at 45 °C ranged from 33.6% (Etincel) to 42.7% (Absolut). Lower values are found in malts with insufficient nitrogen substances degradation and thus with low enzyme activity. In addition to Etincel, the varieties Isocel, KWS Kosmos and Citadel also showed the values of relative extract at 45 °C of up to 36%. Malts with values above 36% are suitable for the production of colloid-stable beers. Only KWS Ariane, QK19/08030A_187 and Absolut reached the optimum level (40–48%).

Kolbach index is an important indicator of proteolysis that occurs during malting and mashing. Kolbach index is the proportion of nitrogen (%) that passes from the malt to the sweet wort. Kolbach index is influenced by environmental conditions, but the genetic makeup of individual varieties is also important (Wang et al., 2015; Kochevenko et al., 2018). Stronger nitrogen substances hydrolysis during malting means more soluble nitrogen substances and a higher value of the Kolbach index. In case of weak hydrolysis of nitrogen substances, Kolbach index has low values (Fang et al., 2019).

In the tested set of varieties, the value of Kolbach index ranged from 34.5% (LG Zoro) to 42.8% (QK19/08030A_18). KWS Faro, Atlantick, KWS Ariane, Absolut and line QK19/08030A_18 reached the optimum limit (42–48%).

Correlation analysis revealed a highly statistically significant negative correlation between Kolbach index and β -glucan content ($r=-0.77^{**}$) and a highly statistically significant positive correlation between Kolbach index and friability ($r=0.82^{**}$).

Diastatic power is an important qualitative characteristic of malt. It is positively correlated with β -amylase activity but it also includes the activity of other hydrolytic starch-degrading enzymes (α -amylase, limit dextrinase and α -glucosidase) (Arends et al., 1995; Qi et al., 2006). The diastatic power of malt is influenced by the interaction of genetic variation and environmental factors (Arends et al., 1995). Diastatic power of two-row and six-row barley varieties differs significantly (Gebhardt et al., 1993). The mean value of diastatic power of the studied set of barley varieties was 419 WK and ranged from 344 WK in Citadel to 501 WK in KWS Kosmos (Table 6). After β -glucans, this parameter was the second with the highest variability, CV 10.89%. All the varieties studied reached optimum values above 300 WK.

Apparent final attenuation that characterizes the quality of the sweet wort was the least variable parameter of all analyzed traits, CV 0.91% (Table 8).

Its values ranged from 78.9% for LG Zoro to 81.6% for KWS Estaminet. LG Zoro, KWS Borrelly and line QK19/08030A_18 showed unacceptably low values,

extraktu při 45 °C pohybovala od 33,6 % (Etincel) do 42,7 % (Absolut). Nižší hodnoty vykazují slady s nedostatečným rozluštěním bílkovin, a tedy s nízkou aktivitou enzymů. Hodnotu relativního extraktu při 45 °C do 36 % měly vedle odrůdy Etincel ještě odrůdy Isocel, KWS Kosmos a Citadel. Hodnoty nad 36 % mají slady vhodné pro výrobu koloidně stabilních piv. Optimální úrovně (40–48 %) dosáhly pouze odrůdy KWS Ariane, QK19/08030A_187 a Absolut.

Kolbachovo číslo je důležitým ukazatelem proteolýzy, k níž dochází v průběhu sladování a rmutování. Kolbachovo číslo je podíl dusíku (v %), který přejde ze sladu do sladiny. Kolbachovo číslo je ovlivněno podmínkami prostředí, ale významná je také genetická výbava jednotlivých odrůd (Wang et al., 2015; Kochevenko et al., 2018). Silnější hydrolyza dusíkatých látek během sladování znamená více rozpustných dusíkatých látek a vyšší hodnotu Kolbachova čísla. V případě slabé hydrolyzy dusíkatých látek má Kolbachovo číslo nízké hodnoty (Fang et al., 2019).

V testovaném souboru odrůd se hodnota Kolbachova čísla pohybovala od 34,5 % (LG Zoro) do 42,8 % (QK19/08030A_18). Optimální hranice (42–48 %) dosáhly odrůdy KWS Faro, Atlantick, KWS Ariane, Absolut a linie QK19/08030A_18.

Korelační analýzou byl zjištěn negativní statisticky vysoce průkazný vztah mezi hodnotou Kolbachova čísla a obsahem β -glukanů ($r=-0,77^{**}$) a statisticky vysoce průkazná kladná korelace mezi Kolbachovým číslem a friabilitou ($r=0,82^{**}$).

Diastatická mohutnost je významný kvalitativní znak sladu. Pozitivně koreluje s aktivitou β -amylázy, ale je v ní zahrnuta i aktivita dalších hydrolytických enzymů degradujících škrob (α -amyláza, limitní dextrináza a α -glukosidáza) (Arends et al., 1995; Qi et al., 2006). Diastatická mohutnost sladu je ovlivněna vzájemným působením genetické variability a faktorů prostředí (Arends et al., 1995). Diastatická mohutnost dvouřadých a šestiřadých odrůd ječmene se výrazně liší (Gebhardt et al., 1993). Průměrná hodnota diastatické mohutnosti sledovaného souboru odrůd ječmene byla 419 j. WK a pohybovala se od 344 j. WK u odrůdy Citadel do 501 j. WK u odrůdy KWS Kosmos (Tabulka 6). Po β -glukanech byl tento parametr druhý s nejvyšší variabilitou, CV 10,89 %. Všechny sledované odrůdy dosáhly optimálních hodnot nad 300 j. WK.

Dosažitelný stupeň prokvašení charakterizující kvalitu sladiny byl nejméně variabilní parametr, CV 0,91 %, (Tabulka 8) ze všech analyzovaných znaků.

Jeho hodnoty se pohybovaly od 78,9 % u odrůdy LG Zoro do 81,6 % u odrůdy KWS Estaminet. Odrůdy LG Zoro, KWS Borrelly a linie QK19/08030A_18 vykazovaly

Table 8 Average values and degrees of variability of the studied malting quality traits.
Tabulka 8 Průměrné hodnoty a míry variability studovaných znaků sladovnické kvality.
 RIBM, ATL – Malting Institute Brno / VÚPS, AZL – Sladařský ústav Brno

| Parameter Znak | Units Jednotky | \bar{x} | Min | Max | s_x | CV | SEM |
|---|-------------------|-----------|------|------|--------|-------|-------|
| Nitrogen substances content of barley (factor 6.25) Dusíkaté látky v ječmeni (faktor 6,25) | % | 11.7 | 10.8 | 13.0 | 0.68 | 5.81 | 0.16 |
| Extract in malt dry matter Extrakt sladu v sušině sladu | % | 78.6 | 76.4 | 80.6 | 1.02 | 1.30 | 0.24 |
| Hartong and Kretschmer VZ 45 °C Relativní extrakt při 45 °C | % | 38.4 | 35.4 | 42.7 | 1.90 | 4.95 | 0.45 |
| Kolbach index Kolbach index | % | 39.3 | 34.5 | 42.8 | 2.30 | 5.85 | 0.54 |
| Diastatic power Diastatická mohutnost | WK | 424 | 344 | 501 | 46.18 | 10.89 | 10.89 |
| Apparent final attenuation Dosažitelný stupeň prokvašení | % | 80.4 | 78.9 | 81.6 | 0.73 | 0.91 | 0.17 |
| Friability Friabilita | % | 56 | 38 | 69 | 8.51 | 15.20 | 2.01 |
| β -Glucan of sweet wort β -Glukany ve sladině | mg/l | 732 | 241 | 1355 | 252.87 | 34.55 | 59.64 |
| Explanatory notes / Vysvětlivky: RIBM, ATL - Research Institute of Brewing and Malting, Analytical Testing Laboratory VÚPS, AZL - Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Analytická zkušební laboratoř \bar{x} = mean / průměr; s_x = standard deviation / směrodatná odchylka CV = coefficient of variation / variační koeficient | | | | | | | |

whereas KWS Estaminet and Isocel achieved optimum CV levels. The correlation analysis revealed a statistically significant negative relationship between β -glucan value and apparent final attenuation ($r=-0.52^*$) and a statistically highly significant positive correlation between friability and apparent final attenuation ($r=0.63^{**}$).

Friability is related to the degradation of cell walls during malting. The walls of barley endosperm cells are composed mainly of non-starch polysaccharides and nitrogen substances. Well-modified grains are fragile and the milling energy of malt is low. The level of cytolytic modification in six-row barley varieties is low, which is reflected in the friability values and the β -glucan content of the wort. The friability values ranged from 38% (LG Zoro) to 69% (KWS Faro). In the case of two-row varieties, the situation is much better. In the studied set, the two-row variety KWS Ariane achieved a friability level of 68%. The friability values for the study set of varieties were unacceptably low. A highly statistically significant negative correlation was calculated between friability and β -glucan content ($r=-0.87^{**}$): as the friability value decreases, the β -glucan content of the wort increases. The same result was reached by Nesvadba and Leišová-Svobodová (2019).

β -Glucans in the sweet wort influence the course of lautering and filtration of the wort and are an important economic indicators of beer production. Only the two-

nepřijatelně nízké hodnoty, naopak odrůdy KWS Estaminet a Isocel dosáhly optimálních hodnot dosažitelného stupně prokvašení. Korelační analýzou byl zjištěn negativní statisticky průkazný vztah mezi hodnotou β -glukanů a dosažitelným stupněm prokvašení ($r=-0,52^*$) a statisticky vysoce průkazná kladná korelace mezi friabilitou a dosažitelným stupněm prokvašení ($r=0,63^{**}$).

Friabilita souvisí s odbouráním buněčných stěn v průběhu sladování. Stěny buněk endospermu ječmene jsou tvořeny převážně neškrobovými polysacharidy a dusíkatými látkami. Dobře rozluštěná zrna jsou křehká a mlecí energie sladu je nízká. Úroveň cytolytického rozluštění u víceřadých odrůd ječmene je nízká, což se odráží na hodnotách friability a obsahu β -glukanů ve sladině. Hodnoty friability se pohybovaly v rozpětí 38 % (LG Zoro) do 69 % (KWS Faro). V případě dvouřadých odrůd je situace výrazně lepší. Ve sledovaném souboru dosáhla dvouřadá odrůda KWS Ariane úroveň friability 68 %. Hodnoty friability u sledovaného souboru odrůd byly nepřijatelně nízké. Statisticky vysoce průkazná negativní korelace byla vypočtena mezi friabilitou a obsahem β -glukanů ($r=-0,87^{**}$): s klesající hodnotou friability vzrůstá obsah β -glukanů ve sladině. Ke stejnému výsledku dospěli i autoři Nesvadba a Leišová-Svobodová (2019).

β -Glukany ve sladině ovlivňují průběh scezování a filtraci sladinu a jsou důležitým ekonomickým ukazatelem výroby piva. Akceptovatelné množství

row winter variety KWS Ariane (241 mg/l) showed an acceptable level of β -glucans in the wort. Among the six-row varieties, the line QK19/08030A_18 (382 mg/l) had the lowest amounts of β -glucans of the wort. In the evaluated set of genotypes, the β -glucan content of the wort was highly variable (CV 34.55%). A similar result (CV 60.59%) was also reached by [Zavřelová et al. \(2021\)](#), who tested a collection of 92 spring barley genetic resources for malting quality. As reported by [Zheng et al. \(2011\)](#), β -glucan levels are influenced by both genetic and environmental factors. However, genetic factors seem to predominate.

4 Conclusion

The studied set of the selected winter barley varieties showed low malting quality even with an on average favourable nitrogen substances content in unmalted barley grain. Nevertheless, some varieties under study are close to the required quality in some traits: for example, the variety Atlantick with an extract content of 80.6%, the varieties Absolut, KWS Ariane and QK19/08030A_18 with an optimum level of proteolytic solubility and KWS Ariane and QK19/08030A_18 with a relatively low β -glucan content of the sweet wort (241 and 382 mg/l). This is where breeding progress can be seen. Six-row winter barley varieties with improved malting quality may be one of the options to secure malting barley production in the period of climate change. For pre-breeding and further breeding, it is necessary to look for genetic resources of winter barley with the required level of malting traits.

5 Acknowledgement

The study was prepared with the financial support of the research project QK1910197 and the institutional support R00423 of the Ministry of Agriculture of the Czech Republic. The authors thank the Crop Research Institute, Gene Bank Prague – Ruzyně for providing seed samples under the National Programme on Conservation and Utilization of Plant, Animal and Microbial Genetic Resources Important for Food and Agriculture (62216/2022-13113/6.2.14).

β -glukanů ve sladince vykazala pouze dvouřadá ozimá odrůda KWS Ariane (241 mg/l). Nejnižší množství β -glukanů ve sladince z víceřadých odrůd měla linie QK19/08030A_18 (382 mg/l). V hodnoceném souboru genotypů byl obsah β -glukanů ve sladince vysoce variabilní (CV 34,55 %). K podobnému výsledku (CV 60,59 %) došli také autoři [Zavřelová et al. \(2021\)](#), kteří testovali kolekci 92 genetických zdrojů jarního ječmene z hlediska sladovnické kvality. Jak uvádí [Zheng et al. \(2011\)](#), tak hladiny β -glukanů jsou ovlivněny jak genetickými, tak environmentálními faktory. Zdá se ale, že genetické faktory převažují.

4 Závěr

Sledovaný soubor vybraných odrůd ozimého ječmene vykázal nízkou sladovnickou kvalitu i při v průměru příznivém obsahu dusíkatých látek v nesladovaném zrně. Přesto lze v tomto souboru nalézt odrůdy, které se v některých znacích požadované kvality blíží: například odrůda Atlantick obsahem extraktu (80,6 %), odrůdy Absolut, KWS Ariane a linie QK19/08030A_18 s optimální úrovní proteolytického rozluštění a odrůdy KWS Ariane a linie QK19/08030A_18 s relativně nízkým obsahem β -glukanů ve sladince (241 a 382 mg/l). V tom lze spatřovat šlechtitelský progres. Odrůdy šestiřadého ozimého ječmene s lepší sladovnickou kvalitou mohou být jednou z možností, jak zabezpečit produkci sladovnického ječmene v období klimatické změny. Pro přípravnou fázi šlechtění (pre-breeding) a vlastní šlechtitelský proces je třeba hledat genetické zdroje ozimého ječmene s požadovanou úrovní sladovnických znaků.

5 Poděkování

Článek byl zpracován za finanční podpory projektu QK1910197 a institucionální podpory R00423 poskytované Ministerstvem zemědělství České republiky. Autoři děkují Výzkumnému ústavu rostlinné výroby, v.v.i., Genové bance Praha – Ruzyně za poskytnutí vzorků osiva v rámci Národního programu konzervace a využívání genetických zdrojů rostlin, zvířat a mikroorganismů významných pro výživu a zemědělství (62216/2022-13113/6.2.14).

6 References / Literatura

- Arends, A. M., Fox, G. P., Henry, R. J., Marschke, R. J., Symons, M. H. (1995). Genetic and environmental variation in the diastatic power of Australian barley. *Journal of Cereal Science*, 21(1), 63–70. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(95\)80009-3](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(95)80009-3)
- Basařová, G., Čepička, J., Doležalová, A., Kahler, M., Kubíček, J., Poledníková, M., Voborský, J. (1992). *Pivovarsko-sladařská analytika I*, Praha: Merkanta, p. 385.
- Basařová, G. (2015). Vlastnosti sladovnického ječmene. In: Basařová, G. et al. (Eds.) *Sladařství. Teorie a praxe výroby sladu*. Havlíček Brain Team, Chapter 4, pp. 97–139. ISBN 978-80-87109-47-2
- Basařová, G., Paulů, R. (2015). Stručná historie a současnost výroby sladu. In: Basařová, G. et al. (Eds.) *Sladařství. Teorie a praxe výroby sladu*. Havlíček Brain Team, Chapter 1, pp. 21–50. ISBN 978-80-87109-47-2
- Bindereif, S. G., Rüll, F., Kolb, P., Köberle, L., Willms, H., Steidele, S., Schwarzinger, S., Gebauer, G. (2021). Impact of global climate change on the European barley market requires novel multi-method approaches to preserve crop quality and authenticity. *Foods*, 10(7), 1592. <https://doi.org/10.3390/foods10071592>
- Burger, W. C., LaBerge, D. E. (1985). Malting and brewing quality. In: Rasmusson, D. C. (Ed.) *Barley*, Volume 26, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 367–401. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr26.c13>
- Cook, J., Nuccitelli, D., Green, S. A., Richardson, M., Winkler, B., Painting, R., Way, R., Jacobs, P., Skuce, A. (2013). Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. *Environmental Research Letters*, 8(2), 024024. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024024>
- Dawson, I. K., Russel, J., Powell, W., Steffenson, B., Thomas, W. T. B., Waugh, R. (2015). Barley: a translational model for adaptation to climate change. *New Phytologist*, 206(3), 913–931. <https://doi.org/10.1111/nph.13266>
- DeClerck, J. (1957). *Barley. In: A Textbook of Brewing*, Vol. 1 Chapman and Hall, London, pp. 7–49.
- Dvořáčková, O. (2019). Metodika zkoušek užitné hodnoty – ječmen. ÚKZÚZ NOÚ, Brno. Available in Czech from: https://eagri.cz/public/web/file/112373/Priloha_10_ZUH10_2019_Jecmen_revize_2021.pdf
- EBC Analysis Committee (2010). *Analytica EBC*. Nürnberg, Fachverlag Hans Carl. ISBN 978-3-418-00759-5
- Fang, Y., Zhang, X., Xue, D. (2019). Genetic analysis and molecular breeding applications of malting quality QTLs in barley. *Frontiers in Genetics*, 10, 352. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00352>
- Fox, G. P., Panozzo, J. F., Li, C. D., Lance, R. C. M., Inkerman, P. A., Henry, R. J., (2003): Molecular basis of barley quality. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54(11–12), 1081–1101. <https://doi.org/10.1071/ar02237>
- Gammans, M., Mérel, P., Ortiz-Bobea, A. (2017). Negative impacts of climate change on cereal yields: Statistical evidence from France. *Environmental Research Letters*, 12, 054007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6b0c>
- Gebhardt, D. J., Rasmusson, D. C., Fulcher, R. G. (1993). Kernel morphology and malting quality variation in lateral and central kernels of six-row barley. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 51(4), 145–148. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-51-0145>
- Giraldo, P., Benavente, E., Manzano-Agugliaro, F., Gimenez, E. (2019). Worldwide research trends on wheat and barley: A biometric comparative analysis. *Agronomy*, 9(7), 352. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070352>
- Goldammer, T. (2022). *The Brewer's Handbook*. Apex Publishers. ISBN (13): 979-8-88757-911-5
- Hartman, I., Prokeš, J., Helánová, A., Hartmann, J. (2010). The relationship between barley starch content and malt extract. *Kvasny prumysl*, 56(11–12), 423–427. <https://doi.org/10.18832/kp2010043>
- Heil, K., Lehner, A., Schmidhalter, U. (2020). Influence of climate conditions on the temporal development of wheat yields in a long-term experiment in an area with pleistocene loess. *Climate*, 8(9), 100. <https://doi.org/10.3390/cli8090100>
- Holubec, V., Papoušková, L., Faberová, I., Zedek, V., Dotlačil, L. (2015). Rámcová metodika Národního programu konzervace a využívání genetických zdrojů rostlin a agrobiodiversity. VÚRV Praha – Ruzyně, pp. 386. Available in Czech from: [Rámcová-metodika-Národního-programu-konzervace-a-udržitelného-využívání-GZR.pdf](https://www.vurv.cz/ramcova-metodika-narodniho-programu-konzervace-a-udrzitelneho-vyuzivani-gzr.pdf)
- Hřivna, L., Ryant, P., Homola, L., Radoch T. (2010). Hodnocení obsahu N-látek a škrobu v zrně ječmene po aplikaci dusíku a síry. *Proceedings of the conference „Sladovnický ječmen – přiměřená ekonomika, vysoký výnos a kvalita zrna“*, February 8–11 2010, 41–42. Available in Czech from: <http://konference.agrobiologie.cz/2010-02-08/12-hrivna-ryant-homola-radoch-hodnoceni-obshahu-n-latek-a-skrobu-v-zrnu-jecmene-po-aplikaci-dusiku-a-siry.pdf>
- Kochevenko, A., Jiang, Y., Seiler, C., Surdonja, K., Kollers, S., Reif, J. C., Korzun, V., Graner, A. (2018). Identification of QTL hot spots for malting quality in two elite breeding lines with distinct tolerance to abiotic stress. *BMC Plant Biology*, 18(1), 106. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1323-4>
- Kosař, K., Prokeš, J., Psota, V. (1997). Kvalita sladovnického ječmene a technologie jeho pěstování. In: *Metodiky pro zemědělskou praxi*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských technologií, č. 3, pp. 48. ISSN 0231-9470
- Lekeš, J., Zezulová, P., Bareš, I., Sehnalová, J., Vlasák, M. (1986). *Klasifikátor – genus *Hordeum* L.*, VÚRV Praha – Ruzyně, „Genové zdroje“ č. 27: pp. 46.
- MEBAK (2011). *Raw Materials: Barley; Adjuncts; Malt; Hops and Hop Products; Collection of Brewing Analysis Methods of the Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission*. MEBAK, Freising-Weihenstephan, pp. 341.
- MZe (2022). *National Program on Conservation and Utilization of Plant Genetic Resources and Agro-biodiversity*. The Ministry of Agriculture of the Czech Republic, 62216/2022-MZE-13113.
- Nesvadba, Z., Leišová – Svobodová, L. (2019). Srovnání vybraných parametrů sladovnické jakosti v genofondu ozimého ječmene. *Obilnářské listy*, 27(3–4), 62–67.
- Nesvadba, Z., Psota, V., Hartman, I. (2023). History, current status and prospects of winter barley breeding for malting quality. In: Psota, V. (Ed.) *Barley Year Book*. Praha: VÚPS. ISBN 978-80-88613-38-1
- Paynter B. H., Young K. J. (2004). Grain and malting quality in two-row spring barley are influenced by grain filling moisture. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55(5), 539–550. <https://doi.org/10.1071/AR02093>
- Psota, V., Kosař, K. (2002). Malting quality index. *Kvasny prumysl*, 48(6), 142–148. <https://doi.org/10.18832/kp2002011>
- Psota, V., Dvořáčková, O., Sachambula, L., Nečas, M., Musilová, M. (2015). Barley varieties registered in the Czech Republic in 2015. *Kvasny prumysl*, 61(5), 138–146. <https://doi.org/10.18832/kp2015016>
- Qi, J. C., Zhang, G. P., Zhou, M. X. (2006). Nitrogen substances and hordein content in barley seeds as affected by nitrogen level and their relationship to beta-amylase activity. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.08.005>
- Schwarz, P. B., Horsley, R. D. (1996). A Comparison of North American two-row and six-row malting barley. *Brewing techniques*, 4(6), 48–55.
- Špunarová, M., Prokeš, J. (1998). Jakost sladu v závislosti na odrůdě, ročníku a technologii sladování u jarního ječmene. *Rostlinná výroba*, 44(2), 45–50.

- Wang, X., Zhang, X., Cai, S., Ye, L., Zhou, M., Chen, Z., Zhang, G., Dai, F. (2015). Genetic diversity and QTL mapping of thermostability of limit dextrinase in barley. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(14), 3778–3783. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00190>
- Xie, W., Xiong, W., Pan, J., Ali, T., Cui, Q., Guan, D., Meng, J., Mueller, N. D., Lin, E., Davis S. J. (2018). Decreases in global beer supply due to extreme drought and heat. *Nature Plants*, 4, 964–973. <https://doi.org/10.1038/s41477-018-0263-1>
- Zavřelová, M., Psota, V., Matušinsky, P., Musilová, M., Némethová, M. (2021). Evaluation of malting quality of spring barley genetic resources from different regions of origin. *Kvasny prumysl*, 67(1), 392–402. <https://doi.org/10.18832/kp2021.67.392>
- Zheng, X., Li, L., Wang, X. (2011). Molecular characterization of arabinoxylans from hull-less barley milling fractions. *Molecules*, 16(4), 2743–2753. <https://doi.org/10.3390/molecules16042743>