

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Vliv agrotechniky na nutriční hodnotu čiroku zrnového v
podmínkách ČR**

Diplomová práce

**Autor práce: Bc. Tereza Šenková
Výživa a potraviny (AMD)**

Ing. Jaroslav Tomášek, Ph.D.

© 2019 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Vliv agrotechniky na nutriční hodnotu čiroku zrnového v podmínkách ČR" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 11.4. 2019

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Jaroslavu Tomáškoví, Ph.D., svému vedoucímu práce, za odbornou pomoc a konzultace.

Vliv agrotechniky na nutriční hodnotu čiroku zrnového v podmínkách ČR

Souhrn

Cílem diplomové práce bylo porovnat vliv termínu setí na kvalitu zrna třech hybridů čiroku zrnového (Arsenio, Express a Tonkawa), respektive jeho schopnost dozrávání v podmínkách České republiky. Na základě testů klíčivosti bylo zjištěno, že termín výsevu měl průkazný vliv ($p < 0,05$) na klíčivost zrna. Zatímco u zrn z prvního výsevu (9. května 2018) se klíčivost pohybovala napříč zkoumanými hybridy v podmínkách světla (22 °C) (hodnoceno 4. den) od 61 % (Tonkawa) do 69,5 % (Arsenio), hodnoceno 7. den od 72 % (Express) do 77,5 % (Arsenio), a podmínkách ve tmě (25 °C) od 74,67 % (Express) do 83,33 % (Arsenio), u zrn z druhého výsevu (11. června 2018) nebyla klíčivost u žádného hybridu zaznamenána. Potvrdilo se, že z hlediska agrotechnických postupů má termín výsevu významný vliv na klíčivost, respektive dozrávání zrna.

Dále byl zjišťován vliv termínu setí na obsah taninů v zrně čiroku. Byly sledány statisticky průkazný rozdíl v obsahu taninů mezi zrny z prvního a druhého výsevu, přičemž byla potvrzena hypotéza, že zrno z prvního termínu výsevu bude mít nižší obsah taninů než zrno z druhého termínu výsevu.

Dalším cílem práce bylo posoudit pekařskou kvalitu čiroku na základě měření objemu chlebů upečených z jednotlivých odrůd/hybridů čiroku. Byly provedeny dva pekařské experimenty. Do těchto pokusů byla navíc zahrnuta jako kontrola čiroková mouka Druid. V prvním experimentu bylo dosaženo nejvyššího objemu 382,25 ml a specifického objemu 2,08 ml.g⁻¹ u chleba z hybridu Express. Naopak nejnižší hodnoty, v případě objemu 348,75 ml a specifického objemu 1,75 ml.g⁻¹, byly naměřeny u chleba z čirokové mouky Druid. Do druhého pekařského pokusu byl navíc zahrnut chléb z hybridu Arsenio z druhého výsevu, který vykazoval nejvyšší objem 367,25 ml i specifický objem 2,03 ml.g⁻¹. Naopak nejnižšího objemu 279 ml a specifického objemu 1,66 ml.g⁻¹ dosáhl chléb z hybridu Express. I přes rozdílné výsledky těchto experimentů nebyla vyvrácena hypotéza, že odrůda čiroku bude mít vliv na kynutí mouky, tedy pekařská kvalita bude ovlivněna hybridem/odrůdou čiroku.

Klíčová slova: zrno, chemická analýza, jakost, obsah taninů, odrůda

Influence of agrotechnic for nutrition value of sorghum grain in Czech republic

Summary

The aim of this work was to compare the effect of sowing time on grain quality of three sorghum hybrids (Arsenio, Express and Tonkawa), respectively its maturation ability in the Czech Republic conditions. Based on the germination tests, it was found that the sowing time had a significant effect ($p < 0.05$) on germination. Whereas for grains from the first sowing (May 9, 2018) germination moved across the examined hybrids under light conditions of 22 °C (rated day 4) from 61 % (Tonkawa) to 69.5 % (Arsenio), evaluated on day 7 of 72 % (Express) to 77.5 % (Arsenio), and conditions in the dark 25 °C from 74.67 % (Express) to 83.33 % (Arsenio); in the case of second sowing (June 11, 2018) germination of any hybrid was not recorded. It has been confirmed that in terms of agrotechnical procedures the sowing time has a significant effect on the germination or maturation of the grain.

Furthermore, the effect of sowing time on tannin content in sorghum grain was investigated. There was a statistically significant difference in the content of tannins between grains from the first and second sowing, while the hypothesis that the grain from the first sowing date would have a lower tannin content than the grain from the second sowing term was confirmed.

Another aim of the work was to evaluate the baker's quality of sorghum grain on the basis of measuring the bread volume baked from individual varieties / sorghum hybrids. Two baking experiments were performed. In addition, sorghum flour Druid was included as a control in these experiments. In the first experiment, a maximum volume of 382.25 ml and a specific volume of 2.08 ml.g⁻¹ was achieved for bread from the Express hybrid. In contrast, the lowest values for the 348.75 ml volume and the 1.75 ml.g⁻¹ specific volume were found for sorghum flour Druid bread. The second experiment included extra bread from Arsenio hybrid from second sowing, which had the highest volume of 367.25 ml as well as a specific volume of 2.03 ml.g⁻¹ of all other variants. In contrast, the lowest volume of 279 ml and a specific volume of 1.66 ml.g⁻¹ reached the bread from the Express hybrid. In spite of the different results of these experiments, the hypothesis that the sorghum variety influences flour rising, was not disproved, then the baker's quality will be affected by sorghum hybrid/variety.

Keywords: grain, chemical analysis, quality, tannin content, variety

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce.....	2
3	Literární rešerše.....	3
3.1	Čirok dvoubarevný (<i>Sorghum bicolor</i> L.).....	3
3.2	Botanická charakteristika čiroku.....	3
3.3	Situace v České republice.....	4
3.4	Hospodářsky významné variety čiroku.....	5
3.5	Agrotechnika.....	5
3.5.1	Nároky na prostředí.....	5
3.5.2	Příprava půdy a hnojení.....	6
3.5.3	Osevní postup.....	6
3.5.4	Choroby a škůdci.....	7
3.5.5	Chemická ochrana.....	8
3.5.6	Skízeň.....	8
3.6	Stavba a složení zrna.....	8
3.6.1	Obsah živin.....	9
3.6.1.1	Sacharidy.....	9
3.6.1.2	Bílkoviny.....	10
3.6.1.3	Lipidy.....	12
3.6.2	Obsah vybraných prvků.....	13
3.6.3	Obsah vitaminů.....	14
3.7	Antinutriční látky v čiroku.....	14
3.7.1	Fenolické látky.....	15
3.7.2	Anthokyany.....	15
3.7.3	Taniny.....	16
3.7.3.1	Hydrolyzovatelné taniny.....	16
3.7.3.2	Kondenzované taniny.....	17
3.7.3.3	Komplexní taniny.....	17
3.7.3.4	Gallotaniny.....	18
3.7.3.5	Ellagitaniny.....	18
3.7.4	Interakce taninů se složkami potravy.....	18
3.7.5	Kyselina fytová.....	19
3.7.6	Dhurrin.....	20
3.8	Využití čiroku.....	20

3.8.1	Čirok jako potravina	20
3.8.1.1	Využití zrna na mouku	22
3.8.1.2	Čirokový chléb	22
3.8.1.3	Typy příprav čirokového chleba.....	24
3.9	Onemocnění způsobená lepkem.....	24
3.9.1	Celiakie	25
3.9.1.1	Genetické faktory vzniku onemocnění	25
3.9.1.2	Symptomy onemocnění	25
3.9.2	Duhringova nemoc.....	26
3.9.3	Alergie na pšenici	26
3.9.4	Neceliakální glutenová senzitivita (NCGS).....	26
3.9.5	Léčebná opatření.....	27
4	Materiál a metody	28
4.1	Použitý materiál	28
4.1.1	Čirok zrnový	28
4.1.1.1	Charakteristika jednotlivých hybridů	28
4.1.1.2	Charakteristika lokality pěstování	29
4.1.2	Materiály pro pekařské experimenty	29
4.1.3	Laboratorní pomůcky ke stanovení taninů spektrofotometricky	30
4.1.4	Chemikálie ke stanovení taninů spektrofotometricky	30
4.2	Metody.....	31
4.2.1	Založení testu klíčivosti	31
4.2.2	Postup přípravy čirokového chleba.....	33
4.2.3	Stanovení specifického objemu čirokového chleba.....	35
4.2.4	Stanovení taninů spektrofotometricky	35
4.3	Statistická analýza.....	37
5	Výsledky	38
5.1	Vyhodnocení klíčivosti	38
5.2	Vyhodnocení vlivu hybridů na kynutí v rámci 1.experimentu	40
5.3	Vyhodnocení vlivu hybridů na kynutí v rámci 2. experimentu	45
5.4	Porovnání 1. a 2. experimentu	50
5.5	Obsah taninů.....	52
6	Diskuze	55
6.1	Vliv termínu setí na klíčivost semen	55
6.2	Vliv odrůdy/ hybridu čiroku na kynutí mouky	56
6.3	Vliv termínu setí na obsah taninů.....	57
7	Závěr.....	59

8 Seznam literatury	61
9 Seznam obrázků, grafů a tabulek.....	76

1 Úvod

Čirok dvoubarevný (*Sorghum bicolor* L.) je pátou nejprodukovanější plodinou na světě, extrémně důležitou v Asii, Africe a dalších aridních oblastech světa, kde se používá hlavně k výživě lidí (Schober et al. 2015), a kde nezřídka slouží jako hlavní zdroj energie, bílkovin, vitamínů a minerálů (Svensson et al. 2010). Čirok je odolný vůči suchu a má nízký požadavek na hnojení, což ho činí vhodnou a přizpůsobivou plodinou v současné situaci globálního oteplování (Chávez et al. 2018).

V posledních letech je patrný posun pěstování čiroku i do severnějších oblastí např. Francie nebo Maďarska (Hermuth et al. 2012). V podmínkách České republiky je limitujícím faktorem pro pěstování čiroku zejména nízká teplota v době klíčení a vzcházení, která velmi negativně ovlivňuje počáteční růst (Adamčík & Tomášek 2016).

Čirok obsahuje srovnatelné množství škrobu a dalších majoritních živin jako jiné obiloviny. Avšak jejich dostupnost je omezena v důsledku přítomnosti polyfenolických sloučenin, zejména taninů, které se nacházejí primárně v osemení (Svensson et al. 2010), a to vzhledem ke schopnosti taninů srážet bílkoviny a snižovat tak stravitelnost některých živin (Wu et al. 2012).

Na druhou stranu může být čirok zajímavou alternativou pro lidi trpící celiakií nebo nesnášenlivostí lepku (Chávez et al. 2018). Čirok lze použít k výrobě potravin, které jsou bezpečné, a v tomto ohledu existuje potenciál pro nové využití v potravinářství jak ve Spojených státech amerických, tak v Evropě (Berenji & Dahlberg 2004). Mimo jiné by mohl poskytnout dobrý základ pro bezpečný chléb (Schober et al. 2005).

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je porovnat vliv termínu setí zrnového čiroku na kvalitu zrna, respektive jeho schopnost dozrávání v podmínkách České republiky.

Dalším cílem práce je posoudit pekařskou kvalitu dvou odrůd čiroku.

Hypotéza 1: Zrno z prvního termínu výsevu bude mít nižší obsah taninů než zrno z druhého termínu výsevu.

Hypotéza 2: Odrůda čiroku bude mít vliv na kynutí mouky (měřený objemem těsta po upečení).

3 Literární rešerše

3.1 Čirok dvoubarevný (*Sorghum bicolor* L.)

Čirok dvoubarevný (*Sorghum bicolor* L.) je rostlina ze skupiny vousatkovité (*Andropogoneae*), z čeledi *Poaceae* (Kára et al. 2005), podčeledi prosovitých (*Panicoidae*) (Hermuth a kol., 2012) původem z Afriky, která byla domestikována před 3 000 až 5 000 lety (De Wet 1978). Je to pátá nejvíce produkovaná obilovina na světě a předchází jí pšenice, rýže, kukuřice a ječmen (Morais Cardoso et al. 2015). Spojené státy americké jsou hlavním producentem čiroku. Zde zrno není používáno pro lidskou výživu, s výjimkou velmi malého zlomku, ale jako krmivo pro zvířata, zatímco v polosuchých tropických oblastech Afriky a Indie tvoří zrno základní potravu pro velké populace, kde se téměř veškerá produkce používá přímo pro lidskou spotřebu (Kulamarva et al. 2009). V Evropě jsou největšími pěstiteli čiroku Francie, Itálie a Španělsko (Prugar et al. 2008).

3.2 Botanická charakteristika čiroku

Obecně je čirok jednoletá nebo víceletá statná tráva s bohatě rozvětveným hluboko kořenícím kořenovým systémem (Kára et al. 2005) sahajícím do hloubky 140–170 cm a šířky 60–120 cm (Hermuth et al. 2012). Kořenový pás nod pod, nebo těsně nad povrchem půdy rozvíjí propojené kořeny (Anonym n.d.).

Čirok vytváří četná stébla, která jsou vyplněna dřevem s obsahem sladké šťávy, jež dosahují jednodetné až třimetřové výšky, někdy i více (Kára et al. 2005). Hermuth et al. (2012) uvádí, že výška stébla je velmi rozdílná a rozlišuje čiroky zakrslé – nižší jak 1 m, nízké 1–1,5 m, středně vysoké 1,5–2 m, vyšší 2–2,5 m a vysoké 2,5 m a více. Internody jsou pokryté tlustou voskovou vrstvou, která jim dává modrobílou barvu. Voskovitá vrstva snižuje transpiraci a zvyšuje odolnost rostlin proti suchu (Anonym n.d.). Počet článků na hlavním stéble přímo koreluje s délkou vegetačního období, kdy se genotypy s počtem článků 5–11 řadí mezi rané, 11–16 mezi polorané a 16–20 a více článků mezi pozdní genotypy (Hermuth et al. 2012).

Květenstvím je lata, která dosahuje různých velikostí, tvarů a hustoty s jednodetnými klásky (Kára et al. 2012).

Čiroky jsou cizosprašné, ale dobře se opylují vlastním pylem. Patří mezi C4 rostliny (Kára et al. 2005).

3.3 Situace v České republice

Čirok byl zaveden do České republiky ve dvacátých letech minulého století, kdy byl používán především jako krmná plodina. Do roku 1950 byla plocha kultivovaného čiroku vyšší než u nově zavedených odrůd kukuřice. V první dekádě 21. století je vyšší zájem o pěstování čiroku spojen s vývojem obnovitelné energie pro elektrárny díky produkci velkého množství a vysoké kvality biomasy (Hermuth et al. 2016).

Kvůli globálním změnám klimatu a častějším výskytům horkého a suchého léta s teplotami stoupajícími až ke 40 °C se otevírají možnosti pěstování čiroku i v České republice a v dalších zemích střední či východní Evropy. Během suchého a horkého léta se projeví výhody C4 fotosyntézy, které vedou k vyšší tvorbě biomasy, tj. např. píce. V tomto ohledu se čirok jeví dokonce i odolnější než jiné C4 rostliny, např. kukuřice. Čirok lze proto doporučit do oblastí s rychle vysychajícími lehkými písčitými půdami (Kosová & Hermuth, 2018).

V některých Evropských zemích jako je Francie a Maďarsko existují programy šlechtění hybridů čiroku. Šlechtí se zejména na chladuvzdornost, ranost a snížení obsahu antinutričních látek v obilkách, čímž nabízí možnost využití k potravinářským účelům (Prugar et al. 2008)

Významným problémem v oblastech mírného klimatu včetně ČR je výskyt jarních mrazíků a chladných teplot, které nutí zemědělce posouvat výsev čiroku až do druhé poloviny května. Čirok totiž optimálně vzchází a klíčí až při teplotě půdy vyšší než 15 °C. Při šlechtění čiroků pro oblasti jako je ČR, je třeba se zaměřit na odolnost klíčenců a mladých rostlin vůči nízkým teplotám nad bodem mrazu. Výběr materiálů odolných vůči nízkým teplotám by umožnil posunout výsev čiroku v podmínkách ČR např. již na duben, a vést tak k významnému prodloužení vegetační sezony v podmínkách ČR (Kosová & Hermuth, 2018).

Problematika šlechtění čiroků v podmínkách mírného pásma je zaměřena, kromě odolnosti proti nízkým teplotám, na necitlivost k délce dne a zkrácení stébla pro lepší mechanizovanou sklizeň. V Evropě je v posledních letech patrný posun pěstování čiroku i do severnějších oblastí (Francie, Maďarsko), kde existují další programy šlechtění hybridů čiroků. Šlechtí mimo jiné na ranost a snížení obsahu antinutričních látek v obilkách (Hermuth & Janovská 2013).

3.4 Hospodářsky významné variety čiroku

Taxonomie druhu je velice nejednotná. Pro zemědělskou praxi se nejčastěji používá rozdělení podle Mansfelda z roku 1952. Ten rozdělil čirok hlavně z pohledu jeho využití na čirok zrnový, cukrový, technický a súdánskou travu (Janovská & Hermuth, 2015).

Čirok zrnový (*S. vulgare* var. *Eusorghum*) se pěstuje hlavně na zrno, které má značný obsah škrobu a bílkovin. Většinou se jedná o formu s nižším vzrůstem (Hermuth et al. 2012). Využívá se zejména v Africe a Asii k lidské výživě, kde je zrno loupáno na kroupy, mleto na mouku k přípravě chleba a jiného pečiva (Prugar et al. 2008).

Čirok technický (*S. vulgare* var. *Technicum*) je charakterizován silně vyvinutou latou, která bývá používána pro výrobu košťat (Anonym 2011).

Čirok cukrový (*S. vulgare* var. *saccharatum*) má šťavnatou dřev i v biologické zralosti zrna. Používá se jako krmná, zejména silážní rostlina (Hermuth et al. 2012). Stébla obsahují směs mono a disacharidů. Lisuje se z nich šťáva, která může být použita k výrobě sirupu, melasy, cukru a díky vynikajícímu potenciálu pro kvašení také k výrobě etanolu a v současné době začíná být zajímavý i k produkci bioplynu (Petříková 2004). Vnější vzhledem se podobá čiroku zrnovému, ale je vyšší. Stébla dorůstají 2–5 metrů a obsahují šťávu až z 18 % převážně hroznového cukru (Anonym 2011).

Čirok sudánský (*S. vulgare* var. *Sudanense*) se vyznačuje bohatým olistěním a vytváří velké množství hmoty. Je kvalitní píceinou vhodnou pro případné energetické využití (Hermuth et al. 2012).

3.5 Agrotechnika

3.5.1 Nároky na prostředí

Optimální teploty pro vysoce produktivní odrůdy jsou nad 25 °C, ale některé odrůdy jsou přizpůsobeny nižším teplotám a produkují přijatelné výnosy. Pokud jsou průměrné denní teploty v průběhu vegetačního období vyšší než 20 °C, odrůdy včasného zrna trvají 90 až 110 dní a střední odrůdy 110 až 140 dní. Pokud jsou průměrné denní teploty pod 20 °C, je růstové období prodlouženo asi 10 až 20 dní pro každý pokles teploty o 0,5 °C v závislosti na odrůdě, a při 15 °C by zrno čiroku potřebovalo 250 až 300 dní na vyžránání (FAO n.d.). Dle Hermuth et al. (2016) může být čirok v tropických a subtropických oblastech jednou z nejrychleji zrajících rostlin. Raným kultivarům stačí pouze 100 dní nebo méně a mohou proběhnout až tři sklizně za rok, zatímco v mírných oblastech vyžaduje na dozrání 5–7 měsíců.

FAO (n.d.) uvádí, že za dobrý výnos při zavlažování je považováno 3,5 až 5 tun.ha⁻¹ (při vlhkosti 12 až 15 %). Výnos zrna velmi při nízkém úhrnu srážek nebo bez srážek je přibližně 800 kg.ha⁻¹ s maximem 1300 kg.ha⁻¹.

3.5.2 Příprava půdy a hnojení

ÚKZUZ (2016) uvádí, že čirok nemá zvláštní nároky na předplodinu, obvykle se zařazuje do honu jařin po okopanině. Příprava půdy se provádí na podzim klasickým orebním způsobem. Jarní příprava se týká urovnání a prokypření jen do hloubky setí s důrazem na maximální šetření s vláhou. Celková dávka dusíku včetně organického hnojení činí 100–150 kg N.ha⁻¹. Minerální dusíkatá hnojiva se aplikují jednorázově před setím. Fosforem a draslíkem se hnojí zásobně. Dávky jednotlivých hnojiv jsou uvedené v Tabulce 1.

Požadavky na minerální výživu rostlin mohou být splněny jak použitím organických hnojiv (kompost, hnůj), tak průmyslových hnojiv, zapracovaných před výsevem do půdy. Optimální dávka organických hnojiv je 25–35 t.ha⁻¹. Z hlediska minerální výživy je čirok plodina velmi náročná na příjem živin. Potřeba živin je ovlivněna výší výnosu suché hmoty z jednotky plochy. Hnojení je podobné jako u kukuřice (Tabulka 1). O potřebě hnojení rozhoduje aktuální obsah živin v půdě (Hermuth & Kosová 2018).

Tabulka 1: Hnojení čiroku a dávky (kg.ha⁻¹) (Hermuth & Kosová 2018)

Minerální prvek	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
Množství (kg.ha ⁻¹)	140-60	60-80	120-150	30-50	15-30

3.5.3 Osevní postup

Hermuth et al. (2012) uvádí, že výsev čiroků na zrna se nejčastěji provádí do řádků vzdálených od sebe 30–80 cm, přičemž vzdálenost rostlin v řádku činí 25–30 cm. Výsevné množství čiroků se pohybuje mezi 15 a 30 kg.ha⁻¹. Hloubka setí čiroků je 3–5 cm.

Na slévavých těžkých půdách mělčeji, za sušších podmínek hlouběji (ÚKZUZ 2016).

Velmi důležité je rozrušování půdního škraloupu, který se vytváří zvláště po deštích. Doba výsevu je velmi důležitá zvláště v okrajových oblastech, kde je nebezpečí poškození vzcházejících porostů nízkými teplotami (Hermuth et al. 2012). Termín setí se volí v závislosti na počasí, ve druhé polovině května, rozhodujícím kritériem je teplota půdy

(ÚKZUZ 2016). V době setí je důležité brát v potaz i prostředí dané oblasti, kdy se výsev provádí při dostatečné vlhkosti a teplotě půdy (nejméně 10–12 °C v oblasti seťového lůžka). Výsev se provádí secími stroji, používají se secí stroje konstruované pro výsev obilnin, nebo speciální secí stroje na přesný výsev kukuřice nebo čiroku (Hermuth et al. 2012).

V rámci mechanického ošetření ÚKZUZ (2016) uvádí, že válení po setí se v případě použití vhodného secího stroje s přítlačnými kotouči neprovádí.

3.5.4 Choroby a škůdci

Existuje velké množství bakteriálních, houbových a virových onemocnění čiroku (Kucharek 1992). Mezi běžná houbová onemocnění patří antraknóza (Toler 1985).

V oblastech tradičního pěstování patří k hlavním houbovým patogenům čiroku plíseň čiroková (*Sclerospora sorghi*) patřící mezi oomycety, která je rozšířena zvláště v subtropických oblastech (Indie, jižní Asie). Na listech se též někdy vyskytuje rez čiroková (*Puccinia purpurea*). Na čiroku parazituje několik rodů snětí. Krytá sněť čiroku (*Sphacelotheca sorghi*), která přeměňuje semeníky v chlamydospory. Snětivé rostlinky nezakrňují na rozdíl od působení prašné sněti čirokové (*Sphacelotheca cruenta*) (Hýsek et al. 2010).

Mezi nejčastější bakteriózy se řadí komplex bakteriálních skvrnitostí čiroku. Významná je bakteriální čárkovitost čiroku způsobená *Xanthomonas campestris* pv. *Holcicola*. Patogen napadá všechny druhy čiroků včetně plevelných druhů. K infekci může dojít v průběhu celé vegetace. Mezi další onemocnění patří bakteriální pruhovitost čiroku (*Pseudomonas andropogonis*) nebo bakteriální okrouhlá skvrnitost čiroku (*Pseudomonas syringae* pv. *syringae*) (ÚKZUZ 2016).

Nejčastější virové choroby čiroku jsou mozaiky, z nichž nejdůležitější je virus mozaiky trpasličí kukuřice (Toler 1985).

Z živočišných škůdců napadá čirok hmyz i vyšší živočichové. Mladé rostlinky jsou často okusovány larvami kovaříka – drátovci, nebo larvami chrousta obecného. Larvy poškozují především kořenový systém. Velmi nebezpečným škůdcem zvláště v USA je *Contarinia (Diplois) sorghicola* Cog. (bejlmorka), která je nebezpečná hlavně svým rychlým rozmnožováním, její výskyt je zpravidla kalamitní a může porosty i zničit. Larvy i hmyz způsobují požerky na listech a stéblech rostlin (Hýsek et al. 2010).

3.5.5 Chemická ochrana

Ochrana čiroku proti patogenům houbového původu se soustřeďuje zejména na moření osiva. Zde jsou používány, podobně jako u kukuřice, kombinace účinných látek metalaxyl, triticonazol, nebo azoxystrobin, fludioxonil, mefenoxam, případně captan a thiram. Foliárně se čirok ošetřuje proti chorobám metliny u zrnových čiroků. Ochrana proti chorobám listů, není dosud, a to ani v zemích s dlouholetou tradicí pěstování čiroku, rozšířena (Kuthan 2012).

Hermuth & Kosová (2018) uvádějí, že chemická ochrana není nutná, pouze v konvenčním systému je výhodné před setím vyčistit pole neselektivním herbicidem, dále uvádí možnost aplikace postemergentních herbicidů účinné látky MCPA při výšce rostlin 15 cm.

3.5.6 Sklizeň

Zrnový čirok se sklízí pomocí kombajnu upraveném na vysoký řez v době, když jsou zrna dobře vybarvená a lesklá. Sklízí se v plné zralosti nejlépe za suchého počasí, aby se vlhkost obilek zbytečně nezvyšovala. Po sklizni je potřeba zrno přecistit a dosušit na skladovací vlhkost 14–15 %. Zrno je nutné sušit při teplotě 45–50°C. Vysušené zrno se uskladňuje obdobně jako zrno obilnin. Potenciál výnosu zrnového čiroku se pohybuje v rozmezí 5–6 t.ha⁻¹. V nejteplejších oblastech je srovnatelný s výnosem kukuřice na zrno (Hermuth & Kosová 2018).

3.6 Stavba a složení zrna

Zrno čiroku (obilka) je kulovitého nebo vejcovitého tvaru. Může být úplně pluchaté nebo částečně obnažené, případně zcela nahé. Velikost zrna dosahuje přibližně 4 až 5 mm, přičemž HTS je různá v závislosti na odrůdě (Koubová 2009). Hermuth & Kosová (2018) uvádí HTS v rozmezí 3–80 g.

Studie struktury zralého čiroku ukazují, že embryo představuje zhruba 10 %, oplodí kolem 8 % a endosperm více než 80 % zrna. Relativní proporce se mohou lišit podle genetického pozadí, prostředí a stupně zralosti (Kulamarva et al. 2009).

Chemické složení a výživová hodnota zrna čiroku jsou podobná rýži, kukuřici a pšenici. Energetická hodnota 100 gramů zrna čiroku se pohybuje mezi 296,1 a 356,0 kcal (Martino et al. 2012).

3.6.1 Obsah živin

Typické zrno čiroku obsahuje asi 85 % sacharidů, 10 % proteinů, 3,5 % lipidů a 1,5 % popelovin (Rooney & Clark 1968). Chemické složení zrna dle Hermuth et al. (2016) je uvedeno v Tabulce 2. Obvykle jsou oplodí a osemení složeny z neškrobových polysacharidů, fenolických sloučenin (3-deoxyantokyanidiny, taniny a fenolové kyseliny) a karotenoidů. Škrob, bílkoviny, vitamíny skupiny B a minerály se nacházejí v endospermu. Klíček (embryo) obsahuje tuky, vitamíny rozpustné v tucích, vitamíny skupiny B a minerální látky (De Morais Cardoso 2015). Obsahy jednotlivých látek se mohou značně lišit na základě místa pěstování a pěstitelské praxe. Například obsah bílkovin silně ovlivňuje hnojení dusíkem. Zvyšuje se zejména podíl prolaminové frakce u čiroku nazývané kafirin, která je chudá na lysin, arginin, histidin a tryptofan, a naopak obsahuje hodně prolinu a glutaminu (Prugar et al. 2008).

Tabulka 2: Chemické složení zrna čiroku (%) ze sbírky genetických zdrojů v genové bance, Praha Ruzyně (Hermuth et al. 2016)

Varieta	Hrubý protein	Tuk	BNLV	Vláknina	Popeloviny
Zrnový	12,8	3,3	76	5,9	2
Cukrový	14,2	3,7	73,6	6	2,6
Technický	13,7	3,6	73	7,5	2,2

3.6.1.1 Sacharidy

Sacharidy čiroku jsou složeny ze škrobu, rozpustných cukrů, pentosanů, celulózy a hemicelulózy. Nejvyšší podíl tvoří škrob, zatímco obsah rozpustných cukrů a vlákniny je nízký (Serna-Saldivar & Rooney 1995).

Vila-Real et al. (2017) uvádí, že obsah sacharidů se může pohybovat v rozmezí 32 % až 72 % a obsah vlákniny je asi 6 % až 15 %, přičemž procento nerozpustné vlákniny je mnohem vyšší (75–90 %) než rozpustné vlákniny (10–25 %).

Škrob je hlavní formou zásobních sacharidů v čiroku (FAO, 1995) a je hlavním zdrojem energie pro klíčení (Serna-Saldivar & Rooney 1995). Je složen z amylopektinu, polymeru s rozvětveným řetězcem glukózy a amylosy, polymeru s přímým řetězcem (FAO 1995). Amylosa je tvořena lineárním řetězcem glukózových jednotek, které jsou spojeny α -

1,4 glykosidickou vazbou, zatímco amylopektin je tvořen rozvětvenými řetězci z glukózových jednotek spojenými α -1,4 a α -1,6 glykosidickou vazbou a jeho molekula je oproti molekule amylosy mnohem větší. (Serna-Saldivar & Rooney 1995). Při hodnotách v rozmezí od 56 do 73 % je průměrný obsah škrobu v čiroku 69,5 % (Jambunathan & Subramanian, 1988). Okolo 70 až 80 % čiroku je amylopektin a zbývajících 20 až 30 % je amyulóza (Deatherage et al. 1955).

Stravitelnost škrobu, která závisí na hydrolýze pankreatickými enzymy, určuje dostupný energetický obsah zrna obilovin. Zpracování zrna metodami, jako je napařování, tlakové vaření, vločkování, nafukování nebo mikronizace škrobu zvyšuje jeho stravitelnost, nejspíše z toho důvodu, že dojde k uvolnění škrobových granulí z proteinové matrice, což je činí náchylnějšími k enzymatickému trávení (Harbers 1975).

Co se týče obsahu rozpustných cukrů, Jambunathan et al. (1984) uvedl, že jejich průměrný obsah ve sto vzorcích byl 1,3 % (0,8–4,2 %). Rozpustné cukry z čiroku se skládají ze 75 % sacharózy (Subramanian et al. 1980). Bhatia et al. (1972) uvádí, že celkové množství rozpustných a redukujících cukrů se během zrání zrna postupně snižuje. Zralé zrna obsahovalo 3,8 % rozpustných sacharidů, 0,9 % volných redukujících cukrů a 1,3–1,4 % neredukujících sacharidů. Obsah volné glukózy se pohybuje v rozmezí 0,6–1,8 % a obsah volné fruktózy mezi 0,3–0,7 %. Obsah vázané glukózy a fruktózy byl 0,7–1,2 %, respektive 0,1–0,6 %.

Čirok obsahuje i neškrobové polysacharidy (dále jen NSP), které se nacházejí hlavně v perikarpu (oplodí) a buněčných stěnách endospermu, přičemž v zrna jich je obsaženo od 2 do 7 % v závislosti na odrůdě. Neškrobové polysacharidy v zrna čiroku jsou v podstatě tvořeny arabinoxylany a dalšími β -glukany představujícími 55 % a 40 % celkového množství NSP (Dicko et al. 2006).

V neposlední řadě je čirok dobrým zdrojem vlákniny, zejména té nerozpustné (86,2 %). Nerozpustná vláknina z čiroku a prosa může zkrátit dobu průchodu potravy trávicím traktem a zabránit gastrointestinálním potížím (Léder 2004).

3.6.1.2 Bílkoviny

Bílkoviny jsou základní složkou stravy potřebné pro přežití zvířat a lidí. Základní funkcí bílkovin ve výživě je dodávat dostatečné množství potřebných aminokyselin. Kvalita bílkovin, také známá jako nutriční nebo výživná hodnota potraviny, závisí na obsahu aminokyselin a na fyziologickém využití specifických aminokyselin po trávení, absorpci a minimálních povinných rychlostech oxidace (Friedman 1996).

Virupaksha & Sastry (1968) uvádí, že hlavními bílkovinnými frakcemi v zrně čiroku jsou prolaminové a glutelinové. De Morais Cardoso et al. (2015) uvádí, že prolaminy odpovídají v průměru 79 % (77–82 %) celkového obsahu proteinu (7 až 15 g.100 g⁻¹) a zbytek jsou albuminy, globuliny a gluteliny. Kafiriny jsou hlavní prolaminy čiroku a zahrnují tři hlavní třídy: α -kafiriny (66–84 %), β -kafiriny (8–13 %) a γ -kafiriny (9–21 %). Belton a kol. (2006) uvádí, že kafiriny z čiroku jsou odolné vůči peptidáze, a to kvůli tvorbě intramolekulární disulfidické vazby, což pokládá za hlavní příčinu nízké stravitelnosti. V Tabulce 3 je zobrazena skladba frakcí bílkovin v různých varietách a hybridech dle Prugar et al. (2008).

Celkově je stravitelnost bílkovin z čiroku, zvláště po vaření, nižší než u jiných obilovin, jako pšenice a kukuřice (Afify et al. 2012a). Studie ukazují, že stravitelnost bílkovin vařeného čiroku se pohybuje v rozmezí od 76,5 % do 83 %. In vitro (pepsinová) stravitelnost celého syrového čiroku testovaného v této studii se pohybovala v rozmezí od 88,6 % do 56,7 %, avšak vaření výrazně snížilo stravitelnost bílkovin na rozmezí od 45,3 % až 56,7 % (Klopfenstein & Hosney, 1995).

Co se týče nutriční hodnoty bílkovin čiroku, limitující aminokyseliny jsou v první řadě lysin a threonin (Salunkhe et al. 1977), dále také všechny sirné aminokyseliny (Kulamarva et al. 2006). Bylo zjištěno, že leucin, který převyšuje běžné požadavky, může ovlivnit využití isoleucinu a valinu (Salunkhe et al. 1977). Kulamarva et al. (2006) uvádí, že poměr leucinu a isoleucinu byl nevyrovnaný ve srovnání s referenčními hodnotami FAO/WHO.

Přítomnost poměrně vysoké koncentrace leucinu v čiroku byla navržena jako možný faktor ve vývoji pellagry v populační skupině, v jejichž stravě převažuje tato plodina (Salunkhe et al. 1977).

Tabulka 3: Skladba frakcí bílkovin v různých varietách a hybridech (Prugar et al. 2008)

Odrůda/frakce	Albuminy+globuliny (%)	Prolaminy (%)	Gluteliny (%)	Nerozpustný zbytek (%)
Čirok cukrový BAZ (VÚRV Ruzyně)	7,5	44,1	16,7	31,3
Čirok zrnový GK Zsófia F1 hybrid (VÚOB Szeged)	20,0	35,1	13,3	31,5
Čirok zrnový GK Zsófia (VÚOB Szeged)	21,3	36,9	11,5	30,0
Čirok zrnový bělosemenný Bianca (beztaninový) (VÚOB Szeged)	22,3	36,4	10,3	29,8
Čirok cukrový klasnatý (Seva Flor Valtice)	7,8	44,8	16,4	30,6

3.6.1.3 Lipidy

Obsah surového tuku v čiroku činí přibližně 3 %, což je více než v případě pšenice a rýže. Složení mastných kyselin je podobné jako u kukuřičného oleje s vysokou koncentrací linolové kyseliny (49 %), kyseliny olejové (31 %) a kyseliny palmitové (14 %) (Léder 2004).

Vosk, který je koncentrovaný na perikarpu zrna se skládá mastných aldehydů (46 %), mastných kyselin (7,5 %), mastných alkoholů (41 %), uhlovodíků (0,7 %), vosků a esterů sterolů (1,4 %) a triacylglycerolů (1 %) (Hwang et al. 2002). Vzhledem k tomu, že čirokový vosk obsahuje jen malé množství voskových esterů, termín "lipidy s dlouhými řetězci" je považován vhodnější než termín "vosk" (Hwang et al. 2004).

Hwang et al. (2004) dále uvádí, že mastné alkoholy v čirokovém vosku mohou být klasifikovány jako polikosanol, což jsou primární alkoholy s dlouhým řetězcem.

Ve své další studii uvádí, že lipidy s dlouhým řetězcem z různých čiroků se pohybují v rozmezí 37–44 % pro polikosanol, 44–55 % pro aldehydy a 4–5 % pro kyseliny a lipidy s dlouhými řetězci představují 0,2–0,3 % zrna čiroku. Obsah polikosanolu v zrnech čiroku činil přibližně 800 mg.kg⁻¹. Zrna destilovaná suchem (DDG), ve kterých jsou koncentrovány neškrobové složky, obsahovaly přibližně 2500 mg.kg⁻¹ policosanolů. Tato množství jsou relativně vysoká v porovnání s jinými zdroji jako např. hnědá rýže, rýžové otruby, rýžové klíčky a pšeničné klíčky. Octakosanol (28: 0) a triakontanol (30: 0) tvořily více než 80 % z celkového obsahu množství polykosanolů v čiroku a DDG. Hargrove a kol. (2004) navrhuje, že směšené alkoholy C24–C34, včetně oktakosanolu a triakontanolu, snižují množství cholesterolu s nízkou hustotou lipoproteinu (LDL) a zvyšují množství cholesterolu

lipoproteinů s vysokou hustotou (HDL), čímž se zlepšuje poměr LDL / HDL. Carr et al. (2005) zjistili, že surový lipidový extrakt z celého ze zrna čiroku, který obsahoval širokou škálu lipidových látek včetně rostlinných sterolů a polikosanolů, snížil absorpci cholesterolu a plasmatickou hladinu non-HDL cholesterolu u křečků.

3.6.2 Obsah vybraných prvků

Zrno obsahuje 1,30–3,30 % popelovin a minerálů, mezi nimiž dominují fosfor, draslík a hořčík v různých množstvích (Chan et al. 2007). Pontieri et al. (2014) uvádí, že se obsah popela pohyboval mezi 1,63 % a 2,90 %. Minerální látky jsou koncentrovány zejména v perikarpu, aleuronové vrstvě a klíčku (O’Kennedy et al. 2006).

Je také důležitým zdrojem železa a zinku. V tomto ohledu je tudíž lepším bohatším zdrojem než rýže a pšenice (Chan et al. 2007)

Pontieri et al. (2014) porovnávali minerální složení sedmi bílých hybridů čiroku určeným k výživě, šlechtěných a vyvinutých v USA, pěstovaných ve středomořském prostředí jižní Itálie. Obsah draslíku a sodíku ve vzorcích se pohyboval od 3434,46 do 6957,67 mg.kg⁻¹, respektive 489,00 až 840,64 mg.kg⁻¹.

Podle současných doporučení by poměr Na: K měl být menší než 0,49 (Bailey et al. 2016). Nedávné studie naznačují, že poměr sodíku a draslíku v potravě (Na: K) ve prospěch sodíku je spojen se zvýšeným rizikem úmrtí souvisejícího s hypertenzí a kardiovaskulárními chorobami (CVD) spíše, než samotný příjem sodíku nebo draslíku (Bailey et al. 2016). Vysoký poměr K: Na ve vzorcích naznačuje, že zkoumané hybridy čiroku by mohly být vhodné ke zlepšení zdravotních problémů spojených s nadměrným příjmem sodíku (Arbeit et al. 1992).

Obsah vápníku a fosforu se pohyboval od 233,84 do 411,83 mg.kg⁻¹, respektive od 2148,60 do 2963,40 mg.kg⁻¹, přičemž ideální strava by měla mít poměr Ca: P nad 1,0 (Pontieri et al. 2014).

Vzhledem k tomu, že poměr Ca: P u hybridů čiroku činil přibližně 0,14, měla by být velká spotřeba mouky z čiroku doprovázena suplementací vápníku, aby se zabránilo minerální a osmotické nerovnováze (Serna-Saldivar & Rooney 1995). Obsah hořčíku se pohyboval od 1454,92 do 2862,00 mg.kg⁻¹. V případě mikronutrientů je důležité zdůraznit vysoký obsah železa a zinku u všech hybridů čiroku. Zejména obsah železa ve všech hybridy, který se pohyboval v rozmezí od 39,36 do 77,03 mg.kg⁻¹ (Pontieri et al. 2014).

Badigannavar a kol. (2016) zjišťovali obsah železa a zinku ve 112 kultivarech a varietách, přičemž jejich analýza odhalila vysokou variabilitu pro železo (1,10–9,54 mg.100 g⁻¹)

i zinek (1,12–7,58 mg.100 g⁻¹). Reddy et al. (2005) navíc poznamenávají, že semena bohatá železo a zinek vykazují několik agronomických výhod, jako jsou vyšší sazenice zejména v nízkourodných půdách, vyšší úroveň odolnosti vůči chorobám a posílení rostlin a v neposlední řadě vyšší efektivita využívání vody.

Avšak minerály se v aleuronové vrstvě vyskytují z velké části ve formě fytátů, které jsou směsnými solemi kyseliny fytové (myo-inositol-(1,2,3,4,5,6)-hexakis-fosfát).

Tyto soli také představují více než 70 % celkového obsahu fosfátu v zrnech obilovin a jsou špatně stravitelné, což vede k nedostatečnému příjmu minerálů i při konzumaci celých zrn (O’Kennedy et al. 2006).

3.6.3 Obsah vitaminů

Čirok je důležitým zdrojem vitaminů skupiny B, vyjma vitamínu B12, a dobrým zdrojem tokoferolů. Vitamíny skupiny B jsou spolu s minerálními látkami koncentrovány v aleuronové vrstvě a klíčku. Odstraněním těchto částí vzniká rafinovaný produkt, který ztrácí část těchto důležitých živin (Léder 2004). Omondi et al. (2017) zjišťovali obsah vitamínu B u čtyřech somaklonů čiroku. Obsah niacinu byl v rozmezí 0,2–6,65 mg.100 g⁻¹. Množství thiaminu se pohybovalo mezi 0,1–1,49 mg.100 g⁻¹, obsah riboflavinu a pyridoxinu se pohyboval od 0,21 do 6,44 mg.100 g⁻¹, respektive 0,03–0,73 mg.100 g⁻¹.

Afify et al. (2012b) měřili množství β -karotenu a vitamínu E v syrovém zrně. Zatímco obsah β -karotenu se pohyboval v rozmezí 1,74–5,25 mg.kg⁻¹, obsah vitamínu E byl 0,54–1,19 mg.kg⁻¹. Reddy et al. (2005) zjistili, že obsah β -karotenu se pohyboval mezi 0,156 mg.kg⁻¹ a 1,132 mg.kg⁻¹ v případě obilok se žlutým endospermem, zatímco zrno s nežlutým endospermem obsahovalo pouze stopové množství.

3.7 Antinutriční látky v čiroku

Čirok obsahuje v podstatě dvě důležité antinutriční složky – tanin, polyfenolickou sloučeninu nacházející se v zrně, a kyanogenní glykosid dhurin, který se vyskytuje hlavně ve vzdušných výhoncích a klíčích semen (Etuk et al. 2012). Ratnavathi & Patil (2013) dále uvádí jako další významný antinutriční faktor kyselinu fytovou.

Všechny odrůdy čiroku, stejně jako jiné obiloviny, obsahují větší nebo menší množství polyfenolických sloučenin a mnoho čiroků obsahuje pigment tvořený některými z těchto sloučenin, mezi něž patří antokyaniny, anthokyanidiny a další flavonoidy, které udávají červenou, hnědou nebo fialovou barvu zrna. Pigmenty jsou koncentrovány v oplodnění a / nebo v plevách, ale mohou se rozšířit do endospermu. Pigmentace čiroku může být žádoucí

v některých potravinářských výrobcích, jako je tradiční africké, neprůhledné pivo, naopak nežádoucí je v mouce a kaši (Taylor & Dewar, 2001). Selle et al. (2010) uvádí, že obsah polyfenolů v čiroku může dosahovat hodnot více než 100 g.kg⁻¹.

3.7.1 Fenolické látky

Fenolické sloučeniny jsou sekundární metabolity, které jsou syntetizovány rostlinami během normálního vývoje zejména v reakci na stresové stavy jako je infekce, poranění a mimo jiné UV záření. Tyto sloučeniny se vyskytují všudypřítomně v rostlinách a jsou velmi diverzifikovanou skupinou fytochemikálií odvozených od fenylalaninu a tyrosinu. Fenoly rostlin zahrnují jednoduché fenoly, fenolické kyseliny (deriváty kyseliny benzoové a kyseliny skořicové), kumariny, flavonoidy, stilbeny, hydrolyzovatelné a kondenzované taniny, lignany a ligniny (Naczka & Shadidi, 2004). V rozmezí od jednoduchých fenolických molekul až po vysoce polymerované sloučeniny s molekulovou hmotností větší než 30 000 Da je výskyt této složité skupiny látek v rostlinných potravinách extrémně variabilní. Polyfenoly byly tradičně považovány výživovými odborníky za antinutriční látky, vzhledem k nepříznivému účinku taninů, jednoho typu polyfenolu, na stravitelnost bílkovin. Na druhou stranu byla potvrzena antioxidační schopnost fenolických látek, což vede k spekulacím o možných přínosech konzumace rostlinných fenolů pro lidské zdraví (Al-Mamari et al. 2001).

Čirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) obsahuje fenolické sloučeniny patřící do tří hlavních kategorií: fenolické kyseliny, flavonoidy a taniny (Chandrashekar et al. 2006). Fenolické kyseliny jsou primárně přítomny v perikarpu, osemení a aleuronové vrstvě (Chandrashekar et al. 2006). Dykes & Rooney (2006) uvádí, že všechen čirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) obsahuje fenolické kyseliny a většina obsahuje flavonoidy. Pouze odrůdy s pigmentovaným osemením mají kondenzované taniny. Fenolové kyseliny se nacházejí v perikarpu, osemení, aleuronové vrstvě a endospermu.

3.7.2 Anthokyaniny

Anthokyaniny jsou hlavní třídou flavonoidů studovaných u čiroku. Obecně tato třída sloučenin přispívá k modrým, purpurovým a červeným zbarvením v rostlinách. Mezi šest běžných anthokyanidinů patří kyanidin, delphinidin, malvidin, pelargonidin, petunidin a peonidin. Na rozdíl od těchto běžných anthokyaninů jsou anthokyaniny čiroku jedinečné, protože neobsahují hydroxylovou skupinu v poloze 3 C-kruhu, a tak se nazývají 3-deoxyanthokyaniny. Mezi běžně se vyskytující 3-deoxyanthokyanidiny čiroku patří žlutý apigeninidin a oranžový luteolinidin (Dykes & Rooney, 2006). Další fenolické sloučeniny

izolované z čiroku byly naringenin (flavanon), dále luteolin, apigenin, kampferol a katechin (Dykes & Rooney, 2007).

3.7.3 Taniny

Taniny, jsou ve vodě rozpustné polyfenolické heterogenní sloučeniny s molekulovou hmotností vyšší než 5000 Da a schopností precipitovat želatinu a jiné bílkoviny z vodného roztoku (Etuk et al. 2012). Lehka & Lonsane (1997) uvádí molekulovou hmotnost taninů mezi 500–3000 Da. Nicméně tyto hodnoty molekulové hmotnosti se mění, když jsou polymerovány za vzniku kondenzovaných nebo hydrolyzovatelných taninů dosahujících hodnot blízké 40000 Da.

Taniny se nacházejí ve vakuolách neporušených rostlinných buněk a uvolňují se při napadení různými mikroorganismy, včetně virů, bakterií a hub, čímž se zabrání potenciální infekci rostlinných tkání (Silva et al. 1997). Taniny navíc nabízejí ochranu proti hmyzu (Goldstein & Swain 1965) a přežvýkavcům v důsledku tvorby komplexů mezi rostlinnými taniny a živočišnými bílkovinami, jako jsou proteiny bohaté na hydroxyprolin. Tvorba takových komplexů vede k hořkému a nepříjemnému pocitu, který odráží potenciální dravce (Chávez-González et al. 2012)

Hydrolyzovatelné a kondenzované taniny jsou dvě hlavní skupiny těchto sloučenin široce distribuované v rostlinné říši, které mohou být diferencovány podle jejich struktury a reaktivity vůči hydrolytickým činidlům (Kumar & Singh 1984). Hydrolyzovatelné taniny z třídy pyrogallolu mají ester glukózy a kyseliny jako např. chebulické, ellagické, galické a m-digalické, kdežto kondenzované, neboli katecholové tanniny jsou na bázi leukoanthocyanidinu a jemu podobných látek (Etuk et al. 2012).

Khanbabae & van Ree (2001) klasifikují taniny do čtyř skupin: kondenzované taniny, komplexní taniny, gallotaniny a ellagitaniny.

3.7.3.1 Hydrolyzovatelné taniny

Hydrolyzovatelné taniny sestávají z centrálního jádra v podobě vícesytného alkoholu jako je glukóza, a hydroxylové skupiny, které jsou esterifikovány buď částečně nebo úplně kyselinou gallovou (gallontaniny) nebo kyselinou hexahydroxydifenovou (ellagotaniny). Po hydrolýze kyselinami, bázemi nebo určitými enzymy gallotaniny poskytují glukózu a kyselinu gallovou. Součástí ellagitaninů, kyselina hexahydroxydifenová, prochází laktonizací za vzniku kyseliny ellagické (Chung et al. 1998).

3.7.3.2 Kondenzované taniny

Zrna čiroku neobsahují hydrolyzovatelné taniny. Avšak jsou zde přítomné kondenzované taniny (proanthokyanidin, polymer hydroxyflavonon-3-olu, katechin) (Youssef et al. 1988).

Kondenzované taniny, které se také nazývají proantokyanidiny nebo prokyanidiny, sestávají z polymerizovaných jednotek flavanolu a přispívají k trpkosti potravin. Tyto sloučeniny se mimo jiné nacházejí v čiroku s pigmentovanou vrstvou osemení, prosu a ječmeni (Dykes & Rooney 2007). Kondenzované taniny, známé jinak jako proanthokyaniny, se nacházejí v osemení a perikarpu. Taniny poskytují těmto čirokům s vysokým obsahem taninů značné agronomické výhody. Predace ptáků, což je zásadní problém v oblastech jižní Afriky, je nižší, z důvodu trpkosti těchto zrn. Dále jsou tyto čiroky lépe chráněny před napadením hmyzem a houbami (Taylor & Dewar 2001).

Kultivary čiroku mohou být rozděleny do tří kategorií v závislosti na jejich genotypu a obsahu taninů. Typ I nemá pigmentované osemení a je beztaninový (Selle et al. 2010). Odrůdy čiroku, které neobsahují taniny se dále mohou dělit na beztaninové (non-tannin), nízko taninové (low-tannin), bez kondenzovaných taninů (condensed tannin free) a sladký čirok (sweet sorghum) (Taylor & Taylor 2008). Typ II má pigmentovanou vrstvu osemení, která obsahuje kondenzované taniny a čiroky typu III (jinak označované jako "odolné vůči ptactvu") obsahují kondenzované taniny jak v osemení, tak v perikarpu (Selle et al. 2010). Bylo zjištěno, že 99 % čiroku v USA neobsahuje tanin. Ve Francii byl zaznamenán průměrný obsah taninu $0,7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ u 68 vzorků a chybí i v čiroku používaném pro výživu v Indii (Chandrashekar et al., 2006). Bohužel neexistuje jasný vztah mezi barvou semene, a obsahem taninu. Zrna čiroku s vysokým obsahem taninů jsou obvykle tmavší barvy, na druhou stranu, některá tmavě zbarvená zrna ho obsahují nízké množství (Leeson & Summers 2005).

3.7.3.3 Komplexní taniny

Komplexní taniny jsou sloučeniny vzniklé vazbou katechinů nebo epikatechinů s gallickými nebo ellagickými kyselinami v důsledku reakcí katalyzovaných světlem, teplem a kyslíkem. Typický smíšený tanin je katechin galát obsahující hydrolyzovatelné a kondenzované skupiny (Khanbabaee & Van Ree 2001).

3.7.3.4 Gallotaniny

Gallotaniny jsou nejjednodušší hydrolyzovatelné taniny, které existují. Jsou tvořeny z galloylových nebo di-galloylových jednotek esterifikovaných jádrem glukózy (Khanbabaee & van Ree, 2001) nebo jiného polyvalentního alkoholu, jako je například glucitol, kyselina shikimová či kyselina chinová. Jako typické příklady takových sloučenin se uvádějí kyselina taninová a pentagalloylglukosa (Belmares-Cerda 2004).

3.7.3.5 Ellagitaniny

Ellagitaniny jsou estery kyseliny hexahydroxydifenové (HHDP). Skupina HHDP se ve vodném roztoku spontánně transformuje v kyselinu ellagickou, proto se nazývají ellagitaniny. Ellagitaniny se tvoří z gallotaninů oxidačním spojením alespoň dvou galloylových skupin (Khanbabaee & Van Ree 2001). Získávají se především z kmenů stromů, jako jsou duby (*Quercus sp*) a kaštany (*Castanea dentata*) nebo keřů jako je granátové jablko (*Punica granatum*), dále ovoce jako například maliny. Různé studie ukazují, že ellagitaniny snižují výskyt vrozených vad, podporují hojení, snižují riziko srdečních záchvatů, mohou zvrátit chemicky indukovanou fibrózu jater a zastavit proliferaci virů, také předcházet vzniku rakovinných buněk (Chávez-González et al. 2012).

3.7.4 Interakce taninů se složkami potravy

Strumeyer & Malin (1969) identifikovali v čiroku inhibitory jako sérii oligomerních kondenzovaných taninů leukocyanidinové skupiny, schopných inaktivovat řadu enzymů. Tyto inhibitory ovlivňují savčí, rostlinné a bakteriální amylázy.

Taniny jsou klasifikovány jako antinutriční faktory kvůli jejich schopnosti vázat se s dietárními bílkovinami, trávicími enzymy, minerály jako je železo, a vitamíny jako jsou thiamin a vitamin B-6 (Wang & Kies, 1991).

Interakce mezi tanniny a bílkovinami z čiroku snižují stravitelnost bílkovin i škrobu (Afify et al. 2012a), a to z důvodu schopnosti tvorby velkého množství agregátů, čímž je snížena jejich rozpustnost, což vede k inhibici digesce škrobu i dalších živin (Dreher et al. 1984). Zhoršují využití makronutrientů vytvářením komplexů tanin-protein s různými trávicími enzymy (Davis & Hosoney 1979), což brání tvorbě produktů vstřebatelných tenkým střevem (Al-Mamary et al. 2001).

Proteiny bohaté na prolin váží více taninů než jiné bílkoviny (Afify et al. 2012a).

Al-Mamari et al. (2001) zkoumali *In vivo* efekty taninů čiroku na králících a zjistili, že přidání zrna čiroku s vysokým obsahem taninu (odpovídající 3,5 % katechinového

ekvivalentu) významně snížilo jejich živý přírůstek tělesné hmotnosti, konverzi krmiva a mírně zvýšilo spotřebu potravy v porovnání s kontrolní skupinou. Naopak přidání zrna čiroku s nízkým obsahem taninu (1,4 % katechinového ekvivalentu) do stravy zvířat nezměnilo významně míru růstu, spotřebu potravy nebo poměr konverze krmiv. Aktivita amylázy, trypsinu a lipázy získaných z horní části tenkého střeva byla inhibována u zvířat krmených čirokem. Zrno s vysokým obsahem a nízkým obsahem taninů inhibovalo amylázu o 37 % respektive 77 %, trypsin o 22 % respektive 56 % a lipázu o 6 % respektive 43 %.

Dále bylo zjištěno, že výskyt pellagry, onemocnění nedostatku niacinu obvykle spojeného se stravou bohatou na kukuřici, vzrůstá s nárůstem příjmu zrna čiroku. Černý jazyk u psů (onemocnění podobné pellagře) mělo rychlejší nástup u psů krmených čirokem než u psů krmených kukuřicí (Wang & Kies 1991), ačkoli niacin je v kukuřici vázaný a v čiroku je ve volné formě (Carter & Carpenter 1981). Z tohoto důvodu je možné, že taniny přítomné v čiroku mohou inhibovat absorpci a využití niacinu (Wang & Kies 1991).

Taniny jsou poměrně odolné vůči teplu a odolávají autoklávu po dobu 1 hodiny (Marshall 1975).

Na druhou stranu další studie uvádí, že čirok je vynikajícím zdrojem bioaktivních sloučenin, které mohou mít přínos pro lidské zdraví. Výsledky *in vitro* a studií na zvířatech ukázaly, že sloučeniny izolované z čiroku, hlavně fenoly, podporují příznivé změny parametrů souvisejících s civilizačními onemocněními, jako je obezita, diabetes, dyslipidémie, kardiovaskulární onemocnění, rakovina a hypertenze (De Moraes et al. 2015).

3.7.5 Kyselina fytová

Výživová kvalita čiroku je diktována především jeho chemickým složením a přítomností antinutričních faktorů, jako mimo jiné kyselina fytová. Kyselina fytová a / nebo fytát je hlavní skladovací forma fosfátu, která je všudypřítomně distribuována v rostlinách, zejména v zrnech obilovin a v luštěninách (Elkhalil et al. 2001).

Kyselina fytová (kyselina myo-inositol hexafosforečná) se obvykle vyskytuje v zrně ve formě smíšených draselných, hořečnatých a vápenatých solí (fytiny nebo fytáty) (Duedu et al. 2003).

Obsah fytátu v čiroku a kukuřici je variabilní a zdá se, že je závislý na kultivaru. Několik studií se zabývalo měřením této látky v čiroku a byly zjištěny následující hodnoty 0,27 % (Elkhalil et al., 2001), 0,886 % (Marfo et al., 1990) a 1 % (García-Esteba et al. 1999).

Efekty kyseliny fytové v lidské a živočišné výživě souvisí s interakcí kyseliny fytové s bílkovinami, vitamíny a několika minerály, a tím omezuje jejich biologickou dostupnost (Elkhalil et al. 2001). Bylo pozorováno, že fytát významně snížil *in vitro* štěpení kaseinu a bovinního sérového albuminu pepsinem. Toto pozorování bylo přičítáno možné tvorbě fytátového komplexu s proteiny, který je méně citlivý na enzymatický atak (Duedu et al. 2003).

3.7.6 Dhurrin

Kyanogenní glykosidy se vyskytují u většiny odrůd čiroku. Hlavní kyanogenní glykosid, dhurrin, který se nachází hlavně v listech a klíčivých semenách čiroku, může činit 3–4 % celkové hmotnosti sušiny sazenice, přičemž během zpracování klíčivých semen může být uvolněn kyanid. Při tradičních způsobech zpracování potravin (např. sušení, sladování) se jeví, že dochází ke snížení hladiny kyanidu na nulu nebo k výraznému snížení pod mez, jež je považována za toxickou (Léder 2004).

3.8 Využití čiroku

V poslední době se čiroku věnuje značná pozornost vzhledem k jeho využití jako potraviny, krmivo a suroviny v pivovarnickém průmyslu a výroby biopaliv (Paterson 2008). Čirok je také důležitý ve vyspělých mírných oblastech Ameriky, Austrálie a Evropy. V těchto oblastech vzrůstá produkce čiroku v reakci na rozšíření tržních příležitostí pro použití obilí v průmyslových aplikacích, jako je výroba etanolu a v nových potravinářských výrobcích, zejména jako možná alternativa obilných produktů pro osoby trpící celiakií. Specifické odrůdy čiroku byly vyvinuty tak, aby vyhovovaly potřebám zpracování těchto nových potravinářských produktů (Tuinstra 2008).

3.8.1 Čirok jako potravina

Čirok je považován za důležitou plodinu v suchých tropických a subtropických oblastech Afriky, Asie a Střední Ameriky (Awika & Rooney 2004), kde tvoří hlavní zdroj kalorií, bílkovin a minerálů pro miliony lidí (Mohammed et al. 2011). Dicko et al. (2006) uvádí, že v některých oblastech Afriky a Asie tvoří až 70 % denního příjmu energie. Vzhledem k jeho schopnosti překonávat stresové podmínky je jeho pěstování obecně ekonomičtější než u ostatních plodin. Z celkové produkce se přímo pro lidskou spotřebu pěstuje více než 35 %. Zbytek se používá především pro krmivo pro zvířata a pro alkohol a průmyslové výrobky (Awika & Rooney 2004). V Africe se většina zrna používá k přípravě

potravin a nápojů pro lidskou spotřebu, včetně tradičních tuhých nebo tenkých kašovitých látek (např. do krmiva), granulovaných potravin (např. Kuskusu) a piva (Awika & Rooney 2004; Dicko & kol. 2006).

Jedná se o bezlepkovou obilovinu, která má v současnosti, kdy je výskyt celiakie, imunitní reakce na intoleranci lepku, na vzestupu (Kulammarva 2009).

Plodina je bohatá na minerály, ale biologická dostupnost se pohybuje od méně než 1 % jako například u některých forem železa, po více než 90 % jako v případě sodíku a draslíku. Důvody jsou různorodé a složité, protože stanovení konečné biologické dostupnosti živiny je ovlivněno mnoha faktory (Miller 1996). Čirok, jako potrava, má určitá omezení vzhledem k přítomnosti antinutričních faktorů, jako jsou inhibitory trypsinu a amylázy, kyselina fytová a taniny. O těchto sloučeninách je známo, že ovlivňují metabolismus bílkovin, sacharidů a minerálních látek (Dirar 1991).

Avšak tento problém lze úspěšně minimalizovat řadou různých metod jako je namáčení, fermentace a klíčení (Ali et al. 2009). Osman (2004) dokázal, že obsah taninů tří odrůd čiroku výrazně klesl během 24hodinové fermentace, kdy byly obsahy u odrůd Hamra, Shahla a Baidha sníženy o 31 %, 15 % a 35 %.

I výsledky, které publikovali Hassan & Tinnay (1995) ukázaly, že přirozená fermentace čirokového těsta při teplotě 30 °C (± 2 °C) způsobila velmi výrazné zlepšení nutriční hodnoty snížením obsahu taninu, a tím zlepšení *in vitro* stravitelnosti bílkovin a škrobu.

Pro potravinářské účely se vybírají odrůdy s nízkým obsahem taninů (Osman 2004).

Prugar et al. (2008) uvádí, že potravinářské využití mají zejména odrůdy se světlými zrny. Přímé potravinářské využití čiroku je většinou pro přípravu kaší nebo placek. V malé míře (max. do 20 %) může nahrazovat pšeničnou mouku. Nepřímé využití je pro výrobu škrobu, škrobových sirupů a výrobu pivovarského sladu (v Africe a Jižní Americe) (Kopáčová 2007). Abdelseed et al. (2011) uvádí, že čirok se obecně konzumuje jako fermentovaný plochý chléb (Kisra), hustá kaše (Asseda), řídká fermentovaná kaše (Nasha), vařené zrno (Balela), anebo ve formě nealkoholických nápojů (Sharboat, Abreh a Hulomor).

V potravinářském průmyslu se používá k výrobě cukrových sirupů, sladkostí, etanolu, alkoholických nápojů a piva z důvodu snadné a rychlé fermentace. Rozšířená je také příprava pyré z mouky a krupice v kombinaci s masem a zeleninou (Hermuth 2010).

3.8.1.1 Využití zrna na mouku

Istianah et al. (2018) uvádí, že hlavní složkou čirokové mouky je škrob. Mouka z čiroku má celkový obsah škrobu 40,85 %, přičemž právě škrob má hlavní roli při výrobě pekařského výrobku. Závisí na poměru množství amylozy a amylopektinu. Obsah amylozy v čirokové mouce je 25,66 % a amylopektinu 15,19 %. To ovlivnilo lepivost těsta z čirokové mouky. Tato vlastnost zahrnuje viskozitu a také teplotu. Winger et al. (2014) uvádí, že obsah škrobu ve čtyřech různých testovaných hybridech se pohyboval v rozmezí 66,6 % až 72,6 % sušiny, přičemž obsah amylozy činil 20,2 % až 27,3 %. Obsah proteinu byl 8,61 % až 10,53 % sušiny.

Hugo et al. (2003) uvádějí, že čirok je potenciálně vhodný pro použití v kombinovaných moukách. Mouka z čiroku může mít jednoznačnou výhodu ve srovnání s kukuřicí a jinými tropickými obilovinami v kombinovaných moukách, kvůli své nevýrazné chuti a bílé barvě. Nicméně kvůli zvýšené želatinaci škrobu, v ní obsaženém a nízké schopnosti zadržovat vodu, má čiroková mouka tendenci poskytovat sušší, zrnitější a tvrdší strukturu chleba a sušenek z této mouky vyráběných.

Zpracování čirokové mouky do produktů má několik omezení. Tradiční způsob přípravy čirokového chleba je obvykle velmi namáhavý a pracný.

Čirok, jakožto bezlepková obilnina, se chová zcela jinak než pšenice a má špatné reologické vlastnosti, co se týče ohebnosti, roztažnosti a rolovatelnosti těsta. Reologické vlastnosti těsta jsou popsány jako deformovatelnost, tok nebo praskání při aplikovaném namáhání, a mohou být použity jako nástroj při výběru a specifikaci vhodných surovin (Kulamarva 2009).

Co se týče senzorických vlastností mouky Pagano (2006) uvádí, že mouka z čiroku má mírně sladkou a ořechovou chuť, a zvláště dobře funguje v kombinaci s fazolovými moukami (jako je mouka z fava fazolí nebo z cizrny beraní) v bezlepkovém pečivu.

3.8.1.2 Čirokový chléb

Bezlepkový čirokový chléb lze definovat jako chléb připravený ze směsi čirokové mouky a škrobu, ve kterém je obsah čiroku nejméně 50 %. Typický způsob výroby chleba zahrnuje míchání směsi mouky a škrobu s vodou, cukrem, tukem, solí a kvasnic, přičemž vzniká hladké těsto (Onyago et al. 2011). Přidaný škrob způsobí snadnější a úplnou

želatinizaci. Chléb se potom peče v uzavřené nádobě tak, aby bylo možné ovlivnit jeho tvar a vzhled (Onyago et al. 2011).

Chleby z čiroku bez přidané pšenice, jako všechny bezlepkové chleby, vyžadují jinou technologii přípravy. Těsta bez lepku jsou tekutější než pšeničná a mají blíže svou viskozitou k litým těstům. Dále se v těstu obtížněji drží plyn, k čemuž bylo jako prostředek k zajištění okluze plynu a stabilizačních mechanismů navrženo použití gum, stabilizátorů a předželatinovaného škrobu (Cauvain 1998). Gallagher et al. (2003) dále uvádí, že pozitivní účinky na vlastnosti těsta má i mléčný prášek.

Pouze omezený počet studií se zabýval chlebem z čiroku bez pšenice a většina z nich použila další přísady, jako je methylcelulóza, xanthanová guma, karboxymethylcelulóza a sušené odstředěné mléko nebo pentozany z žita (Schober et al. 2005). Schober et al. (2005) při provádění předběžných laboratorních pokusů s čírokem a ≤ 30 % kukuřičného škrobu potvrdili, že je možné vyrábět dobrý čirokový chléb bez jakýchkoliv těchto extra složek. Pokud jde o technologii výroby čirokového chleba. Dále ujistili, že přidáním kukuřičného škrobu do mouky se současným navýšením množství vody, za účelem dosažení nižší viskozity, lze dosáhnout většího objemu bochníků. I Velázquez et al. (2011) potvrzuje, že specifický objem se významně zvýšil zvýšením poměru kukuřičného škrobu oproti čirokové mouce a zvýšením procentuálního podílu hydroxypropylmethyl celulózy z důvodu zlepšení retence plynu během fermentace a pečení, zatímco zvyšující se hladiny xanthanové gumy výsledný objem snížily.

Jednoduchý recept může pomoci snížit náklady, zejména pokud jde o rozvojové země, a poskytnout zdravý chléb na bázi obilovin bez přidaných složek (jako vejce nebo sušené mléko), které by mohly případně způsobit nové problémy pro osoby s alergiemi.

Co se týče měření pekařských vlastností, Schober et al. (2005) tvrdí, že jedním z problémů při hodnocení nepšeničných chlebů je nedostatek standardizovaných testů pečení. Při testování pšenice, jako je standard ICC č. 131 (ICC 2000), je obecně uznávanou technikou standardizace hladiny vody pro dosažení konstantní konzistence těsta. Konzistence těsta se pak měří pomocí standardizovaného zařízení pro testování těsta, jako je například Brabenderový farinograf. U bezlepkových těst neexistují standardní metody pro měření konzistence. Sanchez et al. (2002) použili kuželový penetrometr pro regulaci vody tak, aby bezlepková těsta dosáhla fixní konzistence. Dále se konzistence těsta měří pomocí vytlačovací síly za použití počítačového analyzátoru textury. Tato metoda umožňuje rychlé a spolehlivé měření a snadnou manipulaci s daty.

3.8.1.3 Typy příprav čirokového chleba

Mouku z loupaného bílého zrna lze použít v bezlepkové chlebové směsi v podílu 60 % i výše (Rysová et al. 2016).

Istianah et al. (2018) uvádí, že ke zlepšení výživových hodnot mouky z čiroku a mouky z kasavy byla použita fermentace. Výsledkem byla modifikovaná čiroková mouka (mosof) a modifikovaná mouka z kasavy (mocaf). Pranoto et al. (2013) uvádí, že mosof má lepší vlastnosti než mouka z nefermentovaného čiroku, např. vyšší rozpustnost škrobu a nižší schopnost vazby vody. Kromě toho má mosof mnoho výhod v chlebových výrobcích, jako je obohacení produktu o bílkoviny, zejména pak aminokyseliny jako lysin, leucin, isoleucin a methionin, zlepšení textury snižující obsah akrylamidu a lepší přijatelnost po sensorické stránce jako pocit v ústech a trvanlivost chleba.

Na druhou stranu Khalil et al. 1984 připravili dva typy těsta – fermentované a nefermentované, přičemž účinek fermentace na výživovou kvalitu chleba byl vypočten jako rozdíl v koncentracích živin nezakvašeného a fermentovaného chleba. Zjistili, že fermentace neměla významný vliv na kompozici s výjimkou malého zvýšení obsahu vlákniny ve fermentovaném chlebu.

3.9 Onemocnění způsobená lepkem

Spektrum onemocnění, vznikajících v souvislosti s konzumací glutenu, je podle aktuálních klasifikací souhrnně označováno termínem „gluten-related disorders“ (GRD). Jedná se o skupinu nejméně tří klinických jednotek, z nichž nejznámější je celiakie, jedna z nejčastějších malabsorpčních poruch označovaná také jako gluten-senzitivní enteropatie, netropická sprue či celiakální sprue. Dále sem patří akutní anafylaktická reakce s přítomností IgE protilátek proti glutenu (alergie na pšenici) a v neposlední řadě tzv. neceliakální glutenová senzitivita (NCGS) (Ford 2009).

Hoffmanová & Sánchez (2015) dělí onemocnění následovně:

- onemocnění s autoimunitní patogenezi: celiakie, Duhringova herpetiformní dermatitida a glutenová ataxie
- onemocnění s alergickou patogenezi: alergie na pšenici
- onemocnění s neautoimunitní a nealergickou patogenezi: neceliakální glutenová senzitivita.

3.9.1 Celiakie

Celiakie je dědičné autoimunitní onemocnění dětí i dospělých (Frič & Keil 2011) se silnou genetickou vazbou (HLA DQ2, DQ8), projevující se zánětlivými změnami sliznice tenkého střeva různého stupně, které jsou vyvolané trvalou intolerancí glutenu (lepku) (Latta, 2012). Postihuje zhruba 1 % populace, ačkoli se předpokládá, že na každý diagnostikovaný případ 5 až 10 případů zůstává nediodagnostikovaných (Jones 2017).

Gluten je bílkovinná frakce pšenice, žita a ječmene, která dodává těstu vlastnosti lepivosti a umožňuje tak pečení chleba. Toxické prolaminy zahrnují gliadin v pšenici, sekalin v žitu a hordein v ječmeni. Prolaminy jsou charakterizovány zvláštním složením aminokyselin s vysokým obsahem prolinu a glutaminu. Bylo prokázáno, že tyto proteinové frakce jsou rezistentní k degradaci žaludeční, pankreatickou proteázou a proteázou tenkého střeva. To vede k akumulaci relativně velkých peptidových fragmentů (Saturni et al. 2010).

Gluten může být rozdělen na v ethanolu rozpustné prolaminy a v ethanolu nerozpustné gluteniny. Byly provedeny studie s více rozpustnými prolaminami, avšak současné údaje naznačují, že gluteniny mohou také poškodit střevní sliznici (Schuppan 2000).

3.9.1.1 Genetické faktory vzniku onemocnění

Na vývoji se podílí tzv. HLA geny a další geny společně s faktory životního prostředí. Asi 40 % obecné populace nese geny zodpovědné za celiakii, ale většina z nich nikdy nevyvolává onemocnění (Jones 2017). Prakticky všichni pacienti s celiakií sdílejí heterodimerické HLA geny II. třídy HLA-DQ2 nebo HLA-DQ8 jako běžné genetické pozadí. Tyto molekuly třídy II jsou exprimovány na buňkách prezentujících antigen, zejména makrofázích, dendritických buňkách a B-lymfocitech. Glutenové peptidy jsou prezentovány těmito s celiakií souvisejícími molekulami HLA II. třídy. To může vést k aktivaci gluten-specifických CD4 T-pomocných 1 (Th1) buněk v lamina propria, které jsou centrálními efektorovými buňkami střevního zánětu, což vede k hyperplázii krypt a atrofii klků (Schuppan et al. 2009). Toto poškození má za následek malabsorpci živin (Jones 2017).

3.9.1.2 Symptomy onemocnění

Gastrointestinální symptomy se mohou lišit od mírných až po těžké nebo dokonce zcela chybějí, a to navzdory přítomnosti léze sliznice. Pacienti nemusí mít po mnoho let nebo desetiletí žádné klinické příznaky nebo mají pouze extraintestinální komplikace, jako je osteoporóza, vady zubního skloviny (Mustalahti et al. 2010), neplodnost, potraty, kožní vyrážka (dermatitis herpetiformis), deprese, zvýšený počet jaterních enzymů, neuropatie a

bolesti hlavy (Jones, 2017) nebo u nich dochází k postižení periferního nebo centrálního nervového systému (Mustalahti et al. 2010). CD je primárně onemocnění obyvatel Kavkazu. Nejčastěji se vyskytuje v evropské populaci, ačkoli se stále více dostává do povědomí ve Spojených státech Amerických. CD se obvykle vyskytuje v raném dětství s klasickými příznaky, zahrnující chronické průjmy, nebo zácpy a snížení prosperity (Sollid 2000). Celkový stav těchto dětí je vážně narušen. Onemocnění se může objevit i později v životě s a projevit se nejasnými příznaky, které zahrnují anémii, únavu, ztrátu hmotnosti, průjem, zácpu a neurologické příznaky (Parzanese et al. 2017).

3.9.2 Duhringova nemoc

Dermatitis herpetiformis Duhring (Duhringova nemoc) je kožní manifestací imunitně mediované enteropatie navozené konzumací glutenu, v literatuře je často označována jako „kožní forma celiakie“. Projevuje se výsevem drobných intenzivně svědících puchýřků připomínajících opar, lokalizovaných často nad extenzorovými oblastmi velkých kloubů, na hýždích a zádech. Patognomonickým nálezem je průkaz depozit IgA protilátek proti tkáňové transglutamináze typu 3 (anti-tTG3) v kožní biopsi (Rose et al. 2008).

3.9.3 Alergie na pšenici

Alergie na pšenici je definována jako obranná imunologická reakce mediovaná specifickými IgE i non-IgE protilátkami na gluten a další bílkoviny, které jsou přítomny v pšeničném znu. Imunoglobuliny E reagují s určitými repetitivními aminokyselinovými sekvencemi glutenových peptidů, které pronikly do organismu. Následně dochází k uvolnění mediátorů alergické reakce, např. histaminu z bazofilů a žírných buněk (Hoffmanová & Sánchez 2015).

3.9.4 Neceliakální glutenová senzitivita (NCGS)

NCGS nebo jednoduše citlivost na gluten jsou reakce proti lepku, které nezahrnují ani alergické ani autoimunitní mechanismy, nicméně příznaky NCGS mohou být podobné příznakům CD. Nejčastějšími poruchami NCGS jsou bolesti břicha, kůže (ekzémy), bolesti hlavy, nebo průjem (Fasano et al. 2015). Jde o poměrně nově uznávanou klinickou jednotku, která dosud není zcela jednoznačně definována (Catassi et al. 2013). Reakce na gluten zde není jednoznačně patogeneticky objasněna, není podmíněna anafylaktickou ani autoimunitní reakcí, a je zvažována jako vrozená intolerance (Vlčková 2015).

3.9.5 Léčebná opatření

Současná dostupná léčba celiakie je celoživotní bezlepková dieta. Obecně se klinické zlepšení dosáhne během několika týdnů a slizniční poškození se obnoví za 1–2 roky (Parzanese et al. 2017). U pacientů, kteří jsou na bezlepkové dietě dochází k úplnému vypuštění lepku a při jeho opětovném zavedení do stravy dochází k recidivě (Sollid 2000). Bezlepková dieta zahrnuje úplné vyloučení pšenice, žita, ječmene a běžného ovsa. Speciální bezlepkový oves je tolerován většinou lidí s celiakií. Kromě toho musí lidé, kteří dodržují bezlepkovou dietu, věnovat zvláštní pozornost tomu, aby se zabránilo kontaminaci potravin glutenem v domácích kuchyních, restauracích a pracovištích (Jones 2017).

Existuje celá řada bezlepkových obilnin, z nichž každá má svou vlastní jedinečnou strukturu a chuť, zahrnující kukuřici, proso, oves, hnědou rýži, čirok, teff a divokou rýži.

Čirok by proto mohl poskytnout dobrý základ pro bezlepkové chleby a jiné pečené produkty, jako jsou těstoviny, sušenky, občerstvení, i když nebylo provedeno žádné přímé testování bezpečnosti pro celiaky (Ciacci et al. 2007).

4 Materiál a metody

4.1 Použitý materiál

4.1.1 Čirok zrnový

V experimentální části byly použity tři hybridy čiroku zrnového – Arsenio, Express a Tonkawa, vypěstovaných ve Výzkumné stanici FAPPZ v Červeném Újezdě ze dvou termínů výsevu - 9. května 2018 a 11. června 2018, jejichž sklizeň proběhla 20. září 2018 ořezáním laty z každé parcelky z plochy 2,5 m². Na Obrázku 1 je zachycen průběh setby ve výzkumné stanici FAPPZ. Čirok byl pro pokusné účely dosušen na 14% vlhkost při 45 °C po dobu 8 hodin a zrna byla následně vymláčena z lat.



Obrázek 1: Setí čiroku (Výzkumná stanice FAPPZ Červený Újezd)

4.1.1.1 Charakteristika jednotlivých hybridů

Express

Express je raný a výnosný hybrid zrnového čiroku vhodný do kukuřičné výrobní oblasti. Rostliny odrůdy Express dorůstají do výšky cca 120 cm a poskytují vysoký výnos

bílého, beztaninového zrna. FAO činí 320. V době vegetace rostlina vykazuje velmi dobrou odolnost proti chladu a nepříznivým povětrnostním vlivům.

Tonkawa

Tonkawa je velmi raný, výnosný hybrid zrnového čiroku, produkuje červené beztaninové zrno. Je vhodný do kukuřičné výrobní oblasti a teplejší řepařské výrobní oblasti (Štěpánek 2018).

Arsenio

Arsenio je nový hybrid vyšlechtěný v USA poskytnutý společností KWS Osiva s.r.o. Je beztaninový a poskytuje bílé zrno. Tento hybrid zatím není na trhu běžně dostupný a nebyly nám poskytnuty ani podrobnější informace o tomto hybridu.

4.1.1.2 Charakteristika lokality pěstování

Výzkumná stanice FAPPZ České zemědělské univerzity se nachází v katastrálním území obce Červený Újezd, okres Praha-západ ve středočeském kraji. Průměrná nadmořská výška činí 405 m.n.m. Jedná se o rovinu až úplnou rovinu se všesměrnou expozicí a sklonitostí 0–3 stupňů. Z hlediska půdního typu této lokality se jedná o hnědozem. Celkový obsah skeletu je do 10 % a hloubka půdy dosahuje více než 60 cm. Průměrná roční teplota se pohybuje v hodnotách 7–8,5 °C a průměrný úhrn srážek činí 450–550 mm.rok⁻¹, přičemž pravděpodobnost suchých vegetačních období je v rozmezí 30–40 % (Ministerstvo zemědělství ČR 2019).

Meteorologické údaje z výzkumné stanice Červený Újezd ukazují, že celkové srážky od ledna 2018 do září 2018 činily celkem 255,5 mm. V květnu 2018, kdy probíhal první výsev, bylo množství srážek 24,4 mm a průměrná teplota 16,72 °C. V červnu srážky činily 74,7 mm a průměrná teplota byla 18,33 °C. V červenci bylo množství srážek pouze 12,1 mm a průměrná teplota 20,64 °C. Srpnové srážky činily 21,9 mm a průměrná teplota 21,76 °C. V září, kdy proběhla sklizeň činily srážky celkem 38,7 mm a průměrná teplota 16,03 °C.

4.1.2 Materiály pro pekařské experimenty

V obou případech jsme k přípravě mouky na chléb použili vzorky čirokových hybridů Express, Tonkawa a Arsenio. Jako kontrolu jsme použili čirokovou mouku značky Druid, výrobce KONKORDIA, spol. s.r.o. (viz Obrázek 2)

V prvním experimentu byly dalšími použitými ingrediencemi jemný bramborový škrob značky Naturamyl (Dr. Oetker) (viz Obrázek 3), sušené droždí (Dr. Oetker), cukr, jedlá sůl a voda.



Obrázek 2: Čiroková mouka Druid od výrobce KONKORDIA s.r.o.



Obrázek 3: Bramborový škrob Naturamyl (Dr. Oetker)

Ve druhém experimentu jsme použili namísto bramborového škrobu značky Naturamyl, bramborový škrob značky Castello (zakoupen v Lidlu, výrobce neuveden). Ostatní ingredience byly totožné. Ve druhém experimentu jsme navíc do pokusu zahrnuli mouku pocházející ze zrna odrůdy Arsenio z pozdějšího výsevu (tj. 11.června 2018).

4.1.3 Laboratorní pomůcky ke stanovení taninů spektrofotometricky

- Spektrofotometr
- Analytické váhy s přesností 0,01 mg
- Laboratorní ultraodstředivý mlýnek (síto o velikosti ok 0,5 mm)
- Minitřepačka (Vortex)
- Laboratorní třepačka s kývavým pohybem
- Laboratorní odstředivka se zrychlením 3000 g
- 50 ml centrifugační zkumavky
- 10ml a 20ml zkumavky a stojan
- Automatické pipety (objem 1 ml, 5 ml, 10 ml) (ČSN ISO 9648 2003)

4.1.4 Chemikálie ke stanovení taninů spektrofotometricky

Používají se chemikálie analytické čistoty, není-li uvedeno jinak.

- Destilovaná nebo deionizovaná voda.
- Dimethylformamid

- Dimethylformamid, vodný roztok, $c(\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}) = 75 \text{ \% (V/V)}$
Postup přípravy: 750 ml dimethylformamidu se přidá do 200 ml vody. Nechá se vytemperovat na laboratorní teplotu a v 1000ml odměrné baňce se doplní vodou po rysku
- Amoniak, (25–29%), vodný roztok
- Amoniak, vodný roztok, $c(\text{NH}_3) = 8,0 \text{ g.l}^{-1}$
Postup přípravy: 32 ml amoniaku se přidá do 500 ml vody. Vytemperuje se na laboratorní teplotu a v 1000ml odměrné baňce se doplní vodou po rysku
- Citronan amonno-železitý, s obsahem Fe (16,5–18,5%)
- Citronan amonno-železitý, vodný roztok $c(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot x\text{Fe} \cdot x\text{H}_3\text{N}) = 3,5 \text{ g.l}^{-1}$
Postup přípravy: 3,5 g citronanu amonno-železitého se rozpustí ve vodě. Poté je roztok kvantitativně převeden do 1000ml odměrné baňky, nechá se vytemperovat na laboratorní teplotu a doplní se po rysku vodou. Příprava tohoto roztoku je nutná 24 h před použitím
- Kyselina taninová
- Kyselina taninová, vodný roztok $c(\text{C}_76\text{H}_52\text{O}_{46}) = 2 \text{ g.l}^{-1}$
Postup přípravy: 0,1 g kyseliny taninové se rozpustí v 30 ml vody. Po vytemperování na laboratorní teplotu se v 50ml odměrné baňce doplní vodou po rysku (ČSN ISO 9648 2003).

4.2 Metody

4.2.1 Založení testu klíčivosti

Byla testována klíčivost semen tří odrůd/hybridů čiroku zrnového – Arsenio, Express, Tonkawa. Hodnotila se klíčivost semen z dvou termínů výsevu. První výsev byl proveden 9. května 2018 a druhý výsev 11. června 2018.

Klíčení semen probíhalo na destilovanou vodou navlhčeném filtračním papíru v plastových miskách o rozměrech 20×10 cm. Zakládání testů klíčivosti je pro jednotlivé hybridy z prvního a druhého výsevu je znázorněno na Obrázcích 4–9. Klíčení probíhalo ve dvou podmínkách. Nejprve se měřila klíčivost při teplotě 22 °C za světla 4. a 7. den. Druhý test klíčivosti probíhal ve tmě v klimaboxu při teplotě 25 °C.



Obrázek 4: Arsenio 1. výsev



Obrázek 5: Arsenio 2. výsev



Obrázek 6: Express 1. výsev



Obrázek 7: Express 2. výsev



Obrázek 8 Tonkawa 1. výsev



Obrázek 9: Tonkawa 2. výsev

V Tabulce 4 je uvedeno schéma pokusu. Varianty 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 16, 17 byly založeny ve dvou opakováních (100 semen na klíčidle). Varianty 3, 9 a 15 ve třech opakováních. Varianty 6, 12, 18 byly hodnoceny pouze v jednom opakování, z důvodu nedostatku zrna.

Tabulka 4: Schéma pokusu klíčení

Varianta	Odrůda	Datum výsevu	Klíčeno v podmínkách	Hodnoceno
1	Arsenio	9.5.	22 °C Světlo	4. den
2				7. den
3			25 °C Tma	7. den
4		11.6.	22 °C Světlo	4. den
5				7. den
6			25 °C Tma	7. den
7	Express	9.5.	22 °C Světlo	4. den
8				7. den
9			25 °C Tma	7. den
10		11.6.	22 °C Světlo	4. den
11				7. den
12			25 °C Tma	7. den
13	Tonkawa	9.5.	22 °C Světlo	4. den
14				7. den
15			25 °C Tma	7. den
16		11.6.	22 °C Světlo	4. den
17				7. den
18			25 °C Tma	7. den

4.2.2 Postup přípravy čirokového chleba

Pekařský experiment proběhl na Katedře agroekologie a rostlinné produkce v rámci Fakulty agrobiologie potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity v Praze.

Experiment jsme prováděli ve dvou termínech podle stejné metodiky. První experiment jsme prováděli dne 18. února, druhý 10. března 2019.

Nejprve bylo namleto zrno zmíněných odrůd čiroku na mouku (viz Obrázek 10) pomocí elektrického mlýnku na značky Moulinex (viz Obrázek 11).



Obrázek 10: Mletí zrna na mouku



Obrázek 11: Zrno tří zkoumaných hybridů čiroku namleté na mouku

Těsto na chléb bylo připraveno na základě experimentů, které provedl Schober et al. (2005). Bylo smícháno 70 dílů čirokové mouky, 30 dílů bramborového škrobu, 2 díly sušeného droždí, 1,75 dílu soli, 1 díl cukru a 105 dílů vody. Droždí se aktivovalo smícháním s vodou o teplotě 30 °C po dobu 10 minut. Zvláště byly smíchány sypké ingredience a následně přidány k mokřým ingrediencím. Vše bylo ručně za pomoci vařečky zapracováno v

tekuté těsto. Každé těsto připravené z testovaných hybridů a zakoupené mouky bylo rozděleno na čtyři díly o celkové hmotnosti 222 g a nalito do ALU vaničky o rozměrech 8x12x5 cm cca 2 cm pod okraj, kde probíhalo následujících 30 minut kynutí za pokojové teploty (viz Obrázek 12). Poté byla těsta vložena do elektrické trouby a pečena na 190 °C po dobu 45 minut. Chléb byl poté vyjmut z trouby a vychlazen na pokojovou teplotu, zhruba 1 a půl hodiny. Pohled shora na chleby z jednotlivých variant jsou na Obrázku 13.



Obrázek 12: Kynutí těsta v ALU vaničkách

4.2.3 Stanovení specifického objemu širokového chleba

Po vychlazení těsta byl stanoven objem chleba pomocí hořčičného semene. Princip měření spočívá ve stanovení změny objemu semene, která odpovídá objemu testovaného pečiva. Tento objem byl měřen pomocí 100 ml odměrného válce. Bochník byl následně zvážen s přesností na jedno desetinné místo. V neposlední řadě byl chléb rozdělen na dvě poloviny a byla změřena výška bochníků.

U každé varianty byl na základě výpočtu podílu objemu (ml) a hmotnosti (g) dále vypočten specifický objem pečiva ($\text{ml}\cdot\text{g}^{-1}$).

4.2.4 Stanovení taninů spektrofotometricky

Stanovení taninů spektrofotometricky proběhlo dle ČSN ISO 9648 (2003).

Test s citrátem amonno-železitým je Mezinárodní organizací pro normalizaci (ISO) používán k měření celkových fenolů a taninů v čiroku za použití kyseliny tríslové jako standardu (Dykes & Rooney 2006).

Tato metoda je součástí jednotných pracovních postupů – testování odrůd v rámci normy ČSN ISO 9648 (461023). Podle „Nařízení komise (ES) č. 824/2000, kterým se zavádějí postupy přejímání obilovin intervenčními agenturami a stanoví metody analýzy pro určování kvality obilovin“ se obsah taninu musí stanovit podle ISO 9648:1988. Tato norma určuje universální metodu pro stanovení obsahu taninu v zrnech čiroku.

Princip metody

Nejprve jsou taniny ze vzorku extrahovány roztokem dimethylformamidu. Následuje reakce extraktu s citronanem amonno-železitým a amoniakem. Poté se taniny stanoví spektrofotometricky ve viditelné oblasti při vlnové délce 525 nm.

Příprava vzorku

Vzorkování probíhalo způsobem, že pro každý hybrid byla odebrána zrna, která pocházela ze všech parcel (opakování), ve kterých byl daný hybrid pěstován. Smícháním zrna z jednotlivých parcel jsme dostali směsný vzorek, ze kterého byl vytvořen vzorek laboratorní. Všechny varianty byly provedeny ve čtyřech opakování.

Z laboratorního vzorku se odstraní nečistoty a po důkladném promíchání a kvartaci se připraví zkušební vzorek, který se umele v mlýnku při 1400 ot.min⁻¹. Pomocí síta o velikosti ok 0,5 mm a namletý vzorek převede do vhodné uzavíratelné nádoby. K vlastnímu stanovení je nutné přistoupit ihned po namletí vzhledem k rychlé oxidaci taninů v rozemletém stavu.

Extrakce

1 g zkušebního vzorku se naváží s přesností na 0,001 g do 50ml centrifugační zkumavky. Ke vzorku je napipetováno 20 ml dimethylformamidu. Zkumavka se uzavře víčkem a vzorek je extrahován o dobu jedné hodiny na třepačce při laboratorní teplotě. Následuje odstředění po dobu 10 minut při odstředivém zrchlení 3000 g. Pro další stanovení se použije připravený supernatant.

Stanovení spektrofotometricky

Nejprve je nutno připravit slepý pokus. Do 20ml zkumavek se ve dvou paralelních stanoveních odpipetuje 1 ml připraveného supernatantu vzorku. Do každé zkumavky se poté přidá 6 ml vody a 1 ml amoniaku. Obsah zkumavky se několik sekund protřepe na minitřepačce.

Do dalších dvou 20ml zkumavek se ve dvou paralelních stanoveních napipetuje 1 ml připraveného supernatantu vzorku. Následně se přidá 5 ml vody a 1 ml roztoku citronanu amonno-železitého, poté se zkumavky několik sekund protřeou na minitřepače.

Následuje měření připravených vzorků a slepých pokusů na spektrofotometru při vlnové délce 525 nm proti vodě.

Příprava kalibrační křivky

Do sady 10ml odměrných baněk je napipetováno (0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0) ml roztoku kyseliny taninové a poté se doplní dimethylformamidem po rysku. Takto získáme kalibrační roztoky o koncentraci kyseliny taninové (0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6) mg.ml⁻¹.

Do 20ml zkumavek označených 0 až 6 se pipetuje vždy 1 ml z každého kalibračního roztoku. Do první zkumavky (ozn. 0) se postupně přidá 5 ml vody a 1 ml citronanu amonno-železitého. Poté se obsah zkumavky protřepe. Uvedené operace se musí zvládnout do 1 minuty. Roztok se poté nechá 10 minut stát. V průběhu 2. minuty se zmíněný postup opakuje s další zkumavkou (ozn. 1) a následně s dalšími (ozn. 2-6).

Z naměřených výsledků se sestrojí kalibrační křivka.

Výpočet

Obsah taninů, vyjádřený jako hmotnostní procento kyseliny taninové se vypočítá podle vztahu:

$$X = \frac{V \times C \times 10^{-3}}{V_1 \times m} \times 100$$

Kde V je celkový objem extraktu v ml,

V_1 je objem extraktu pipetovaný pro spektrofotometrické stanovení v ml,

C je koncentrace kyseliny taninové ve zkušebním vzorku zjištěná z kalibrační závislosti v mg.ml⁻¹,

m je hmotnost zkušebního vzorku v g,

10^{-3} je konverzní faktor pro přepočítání z mg na g.

4.3 Statistická analýza

Hodnocení bylo provedeno pomocí programu STATISTICA 12. K analýze dat byla použita jednofaktorová ANOVA. Pro zhodnocení jednotlivých faktorů byl použit Tukeyho test, při hladině významnosti $\alpha=0,05$.

5 Výsledky

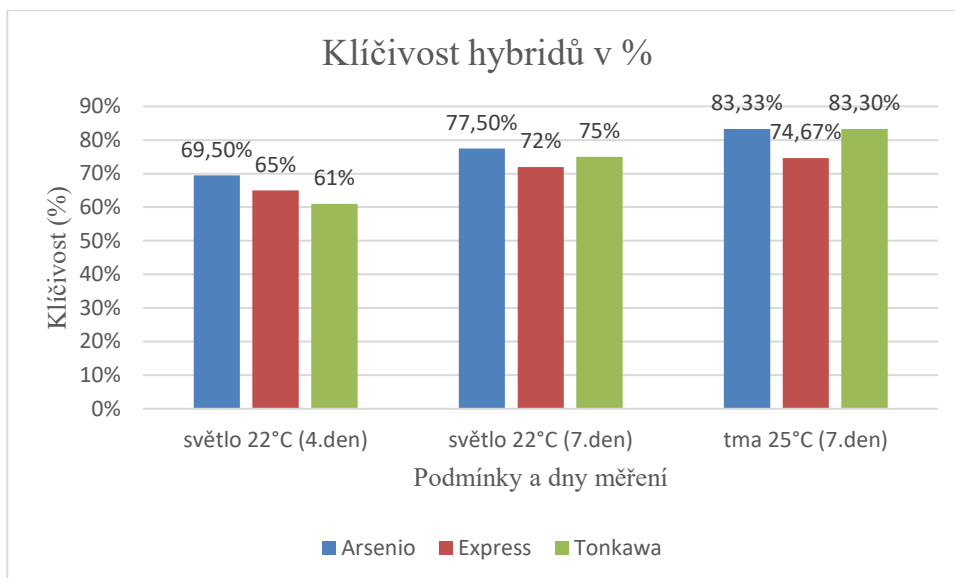
5.1 Vyhodnocení klíčivosti

Byl zjištěn statisticky významný rozdíl v klíčivosti zrn z prvního a druhého výsevu. Ve všech případech druhého výsevu byla zjištěna nulová klíčivost zrna. Průměrná klíčivost všech variant je uvedena v Tabulce 5.

Z tohoto důvodu byla do dalších hodnocení zahrnuta jen klíčivost zrn z prvního výsevu. Hodnoty klíčivosti hybridů z prvního výsevu jsou zaznamenány v Grafu 1.

Tabulka 5: Průměrná klíčivost jednotlivých variant

Varianta	Odrůda	Datum výsevu	Klíčeno v podmínkách	Hodnoceno	Klíčivost (%)
1	Arsenio	9.5.	22 °C Světlo	4. den	69,50
2				7. den	77,50
3			25 °C Tma	7. den	83,33
4		11.6.	22 °C Světlo	4. den	0
5				7. den	0
6			25 °C Tma	7. den	0
7	Express	9.5.	22 °C Světlo	4. den	65,00
8				7. den	72,00
9			25 °C Tma	7. den	74,67
10		11.6.	22 °C Světlo	4. den	0
11				7. den	0
12			25 °C Tma	7. den	0
13	Tonkawa	9.5.	22 °C Světlo	4. den	61
14				7. den	75
15			25 °C Tma	7. den	83,30
16		11.6.	22 °C Světlo	4. den	0
17				7. den	0
18			25 °C Tma	7. den	0



Graf 1: Průměrná klíčivost jednotlivých hybridů z prvního výsevu 4. a 7. den za podmínek světla při 22 °C, a 7. den za podmínek tmy v klimaboxu při 25°C.

Nebylo statisticky prokázáno, že klíčivost hybridů Arsenio, Express nebo Tonkawa je ovlivněna podmínkami světla při 22 °C a tmy při 25 °C.

Odrůda neměla vliv na klíčivost, jak při jejím stanovování ve světle 4. den při 22 °C a 7. den při 22 °C, tak ve tmě při 25 °C. Celková klíčivost měřená 7. den po založení testu, bez závislosti na odrůdě nebyla závislá na podmínkách v klimaboxu za tmy při 25 °C a na světle při 22 °C.

Při prvním vyhodnocování, 4.den po založení testu klíčivosti, v podmínkách světla při 22 °C, byla nejvyšší průměrná klíčivost 69,5 % zjištěna u hybridu Arsenio. Následovaly hybridy Express a Tonkawa s průměrnou klíčivostí 65 %, respektive 61 %.

Druhé vyhodnocování proběhlo 7. den. Nejvyšší průměrnou klíčivost 77,5 % měl hybrid Arsenio, následoval hybrid Tonkawa se 75 % klíčivostí, a nejmenší hodnota 72 % byla zaznamenána u hybridu Express.

V podmínkách tmy v klimaboxu při 25 °C byla nejvyšší průměrná klíčivost 83,33 % zaznamenána u hybridu Arsenio. Následovala odrůda Tonkawa s klíčivostí 83,3 %. U hybridu Express byla zjištěna nejnižší klíčivost za těchto podmínek 74,66 %.

5.2 Vyhodnocení vlivu hybridů na kynutí v rámci 1. experimentu

V Tabulce 6 jsou uvedeny průměrné hodnoty sledovaných parametrů pečiva z různých hybridů čiroku porovnávaných v 1. pekařském pokusu a Na Obrázcích 13–20 jsou vidět jednotlivé chleby po upečení, ze kterých je patrné, že nejlépe vykynuly chléb z hybridu Express, následovaný chlebem z hybridu Tonkawa a nejméně vykynul chléb z kontroly.

Tabulka 6: Průměrné hodnoty (\pm SD) objemu, hmotnosti, výšky a specifického objemu chlebů z jednotlivých variant.

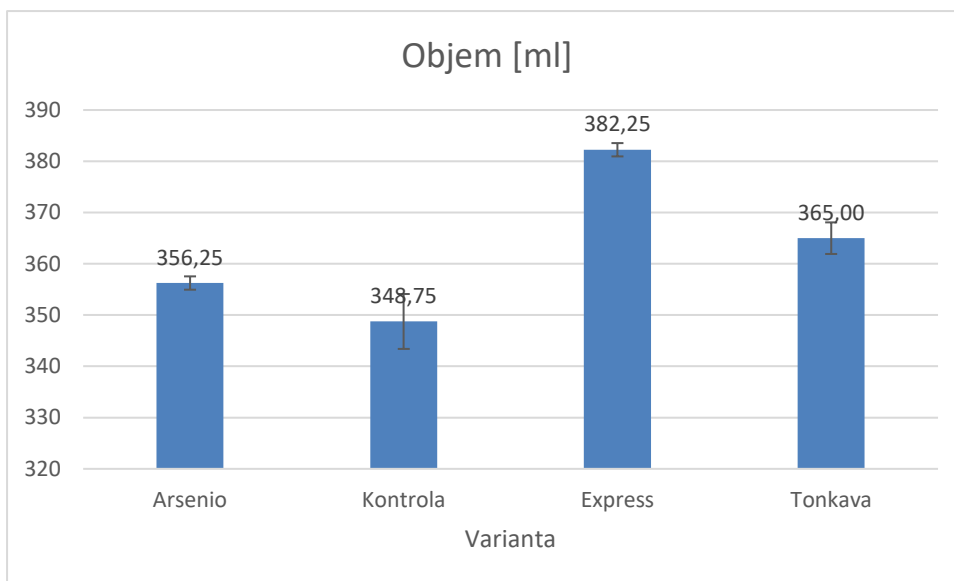
Varianta	Objem (ml)	Hmotnost (g)	Výška (mm)	Specifický objem (ml.g ⁻¹)
Arsenio	356,25 ^c \pm 1,30	179,38 ^c \pm 0,13	30,25 ^b \pm 0,43	1,99 ^b \pm 0,12
Kontrola*	348,75 ^c \pm 5,36	199,6,0 ^a \pm 0,32	31 ^b \pm 0,71	1,75 ^c \pm 0,02
Express	382,25 ^a \pm 1,30	183,58 ^b \pm 0,08	40,5 ^a \pm 0,50	2,08 ^a \pm 0,01
Tonkawa	365,00 ^b \pm 3,08	183,28 ^b \pm 0,37	40,25 ^a \pm 0,43	1,99 ^b \pm 0,01

*varianta z čirokové mouky Druid

Odlíšné indexy u průměrů dokumentují statisticky průkazné rozdíly mezi průměry v rámci sloupce (hladina významnosti $\alpha = 0,05$)

Objem pečiva

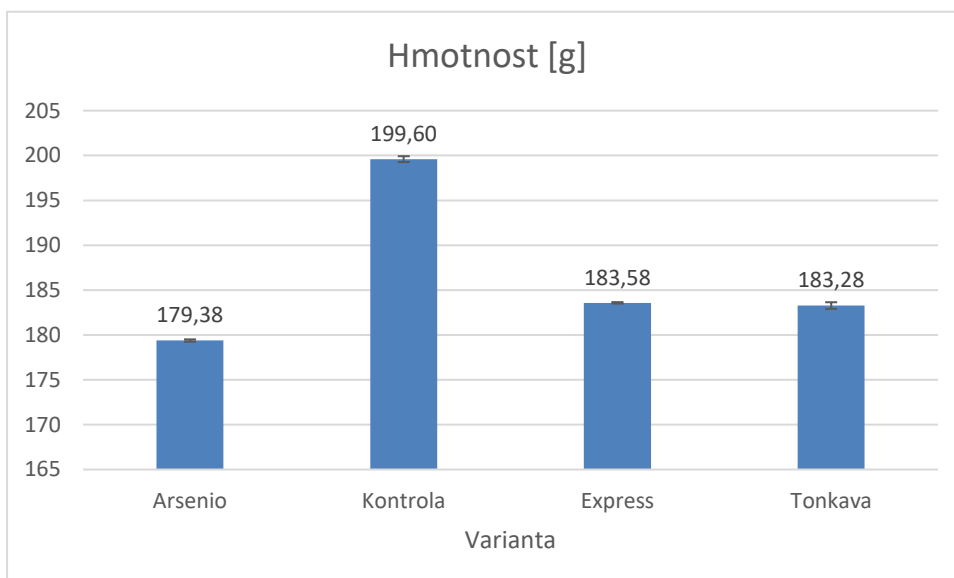
Na základě naměřených hodnot objemů nebyl pozorován statisticky významný rozdíl ($p < 0,05$) mezi chleby z hybridu Arsenio a kontroly. Objem chleba z odrůdy Express byl statisticky významně vyšší oproti chlebům z hybridů Tonkawa, Arsenio a kontroly. A chléb z hybridu Tonkawa měl statisticky významně vyšší objem oproti chlebům z hybridu Arsenio a kontroly (viz Graf 2). Nejvyšší objem byl naměřen v případě použití hybridu Express, průměrně 382,25 ml. Následoval chléb z hybridu Tonkawa, průměrně 365,00 ml. Nejnižší objemy byly naměřeny u chlebů z odrůdy Arsenio a kontroly, které činily 356,25 ml, respektive 348,75 ml.



Graf 2: Objem pečiva v závislosti na variantách

Hmotnost pečiva

Hmotnost kontroly byla statisticky významně vyšší ($p < 0,05$) než hmotnost chlebů z odrůd Arsenio, Express a Tonkawa. Chleby z hybridů Tonkawa a Express se od sebe hmotností vzájemně nelišily, ale byly významně vyšší než v případě chlebu z hybridu Arsenio (viz Graf 3). Nejvyšší průměrná hmotnost 199,60 g byla zjištěna u chleba z mouky Druid (kontrola). Průměrná hmotnost chleba z hybridů Express a Tonkawa činila 183,58 g, respektive 183,28 g. Nejnižší hodnota 179,38 g byla zjištěna v případě použití hybridu

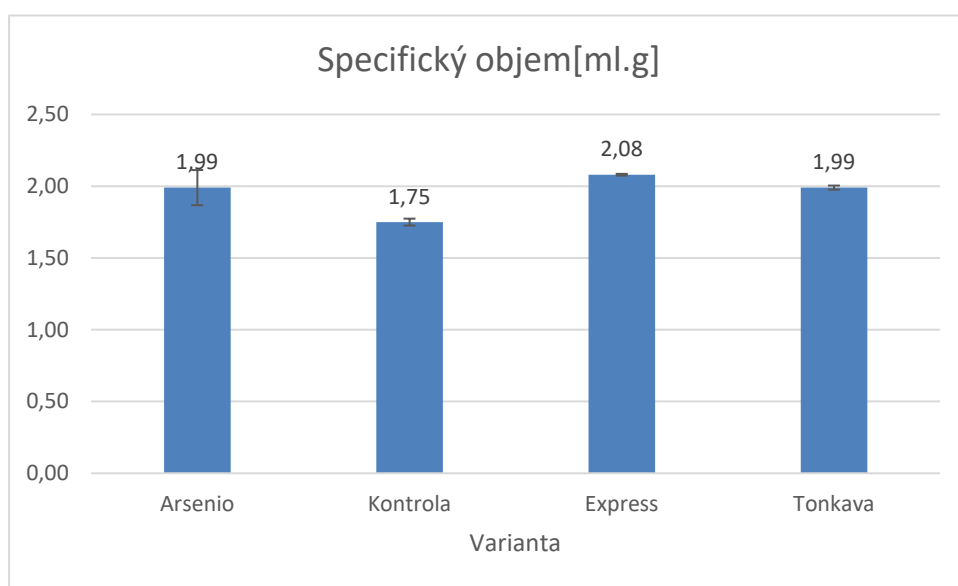


Arsenio.

Graf 3: Hmotnost pečiva v závislosti na variantách

Specifický objem pečiva

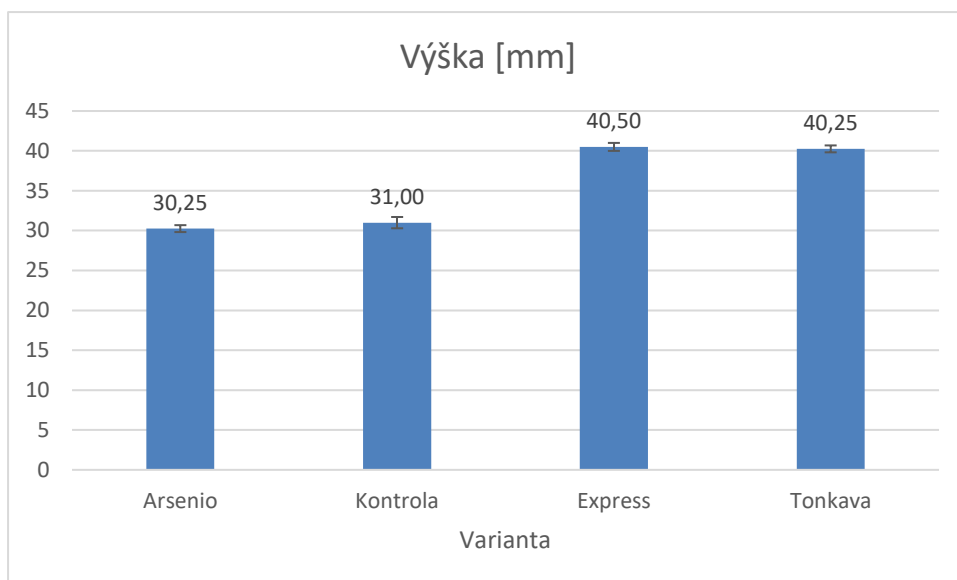
Specifický objem chleba byl stanoven na základě podílu objemu a hmotnosti každého kusu. Specifický objem chleba z hybridu Express byl statisticky významně vyšší ($p < 0,05$) než u variant z Arsenio, Tonkawa a kontrola. Specifické objemy se od sebe navzájem významně nelišily v případě variant Arsenio a Tonkawa, avšak jejich hmotnost byla statisticky významně vyšší než v případě kontroly (viz Graf 4). Nejvyšší průměrný specifický objem $2,08 \text{ ml.g}^{-1}$ byl naměřen v případě chleba z hybridu Express. Následovaly chleby z hybridů Arsenio a Tonkawa, jejichž hodnoty byly totožné a činily $1,99 \text{ ml.g}^{-1}$. Nejnižší průměrný specifický objem chleba činil $1,75 \text{ ml.g}^{-1}$ v případě použití mouky Druid (kontroly).



Graf 4: Specifický objem pečiva v závislosti na variantách

Výška pečiva

Jak je znázorněno v Grafu 5 u výšky chlebů nebyl pozorován statisticky významný rozdíl mezi chleby z kontroly a hybridu Arsenio, dále ani v případě průměru výšek chlebů z hybridů Express a Tonkawa. Na druhou stranu se statisticky průkazně lišily výšky chlebů z hybridů Express a Tonkawa od varianty z hybridu Arsenio a kontroly. Nejvyšší průměrnou výšku měl chléb z hybridu Express (40,50 mm), následoval chléb z hybridu Tonkawa (40,25 mm). Naopak nejnižší průměrné hodnoty byly naměřeny u chlebů z mouky Druid (kontroly) a hybridu Arsenio činily 31,00 mm, respektive 30,25 mm.



Graf 5: Výška pečiva v závislosti na variantách



Obrázek 13: Arsenio I. – 1. experiment



Obrázek 14: Arsenio I. profil – 1. experiment



Obrázek 15: Express – 1. experiment



Obrázek 16: Express profil- 1. experiment



Obrázek 17: Tonkawa – 1. experiment



Obrázek 18: Tonkawa profil – 1. experiment



Obrázek 19: Kontrola (čiroková mouka Druid)- 1. experiment



Obrázek 20: Kontrola (čiroková mouka Druid) profil – 1. experiment

5.3 Vyhodnocení vlivu hybridů na kynutí v rámci 2. experimentu

V Tabulce 7 jsou uvedeny průměrné hodnoty sledovaných parametrů pečiva z různých hybridů široce porovnávaných ve druhém pekařském pokusu a na Obrázcích 21–30 jsou fotografie chlebů z tohoto experimentu, kde je vidět, že nejlépe vykynuly chleby z hybridu Arsenio. Naopak nejhůře vykynul chléb z hybridu Express.

Tabulka 7: Průměrné hodnoty (\pm SD) objemu, hmotnosti, výšky a specifického objemu chlebů z jednotlivých variant.

Varianta	Objem (ml)	Hmotnost (g)	Výška (mm)	Specifický objem (ml.g ⁻¹)
Arsenio I.*	367,25 ^a ±6,41	190,75 ^a ±1,36	30,5 ^c ±0,50	1,93 ^{ab} ±0,02
Arsenio II.**	368,25 ^a ±3,83	181,58 ^{bc} ±0,36	36,25 ^a ±0,43	2,03 ^a ±0,02
Kontrola	333,00 ^b ±0,71	177,53 ^{cd} ±1,62	34 ^b ±0,71	1,88 ^b ±0,02
Express	279,00 ^d ±2,92	167,90 ^d ±2,53	20,5 ^d ±0,87	1,66 ^c ±0,06
Tonkawa	322,25 ^c ±1,79	167,68 ^d ±8,57	30 ^c ±0,00	1,92 ^{ab} ±0,09

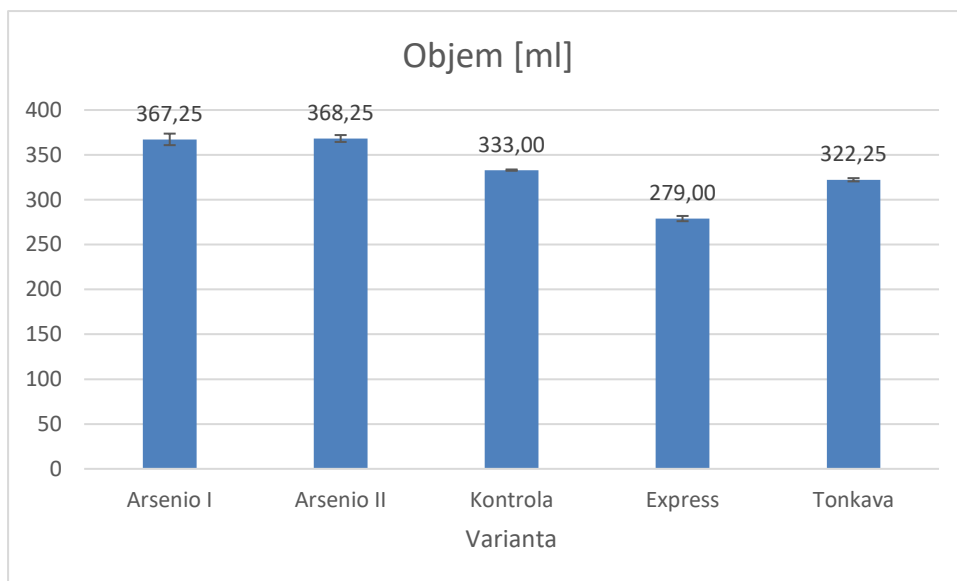
* Arsenio z prvního výsevu

**Arsenio z druhého výsevu

Odlíšné indexy u průměrů dokumentují statisticky průkazné rozdíly mezi průměry v rámci sloupce (hladina významnosti $\alpha = 0,05$)

Objem pečiva

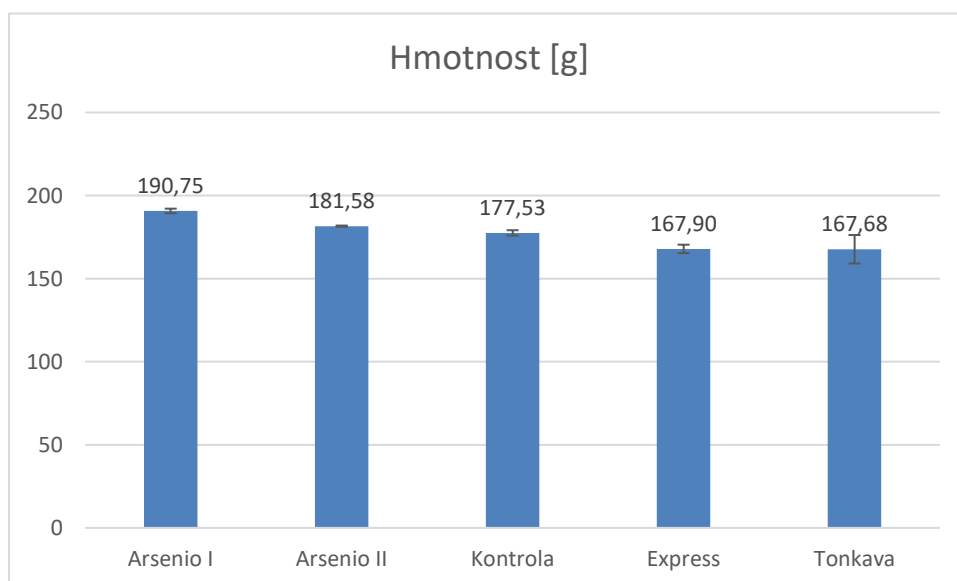
V rámci druhého experimentu bylo zjištěno, že pouze objemy chlebů z hybridů Arsenio I. a Arsenio II. se statisticky významně nelišily. Objemy chlebů z hybridu Arsenio I. a Arsenio II. byly významně vyšší než chleby z variant Express, Tonkaws a kontrola. Objem kontroly byl významně vyšší než objem chlebů z hybridů Express a Tonkawa, a Tonkawa měla významně větší objem než varianta Express (viz Graf 6). V tomto případě dosáhl nejvyššího průměrného objemu chléb z hybridu Arsenio z druhého výsevu a činil 368,25 ml. Následoval chléb z hybridu Arsenio z prvního výsevu s objemem 367,25 ml, kontrola s objemem 333,00 ml, v neposlední řadě chléb z hybridu Tonkawa s 279,00 ml a nejmenší hodnota objemu 279,00 ml, byla naměřena u chlebu z hybridu Express.



Graf 6: Objem pečiva v závislosti na variantách

Hmotnost pečiva

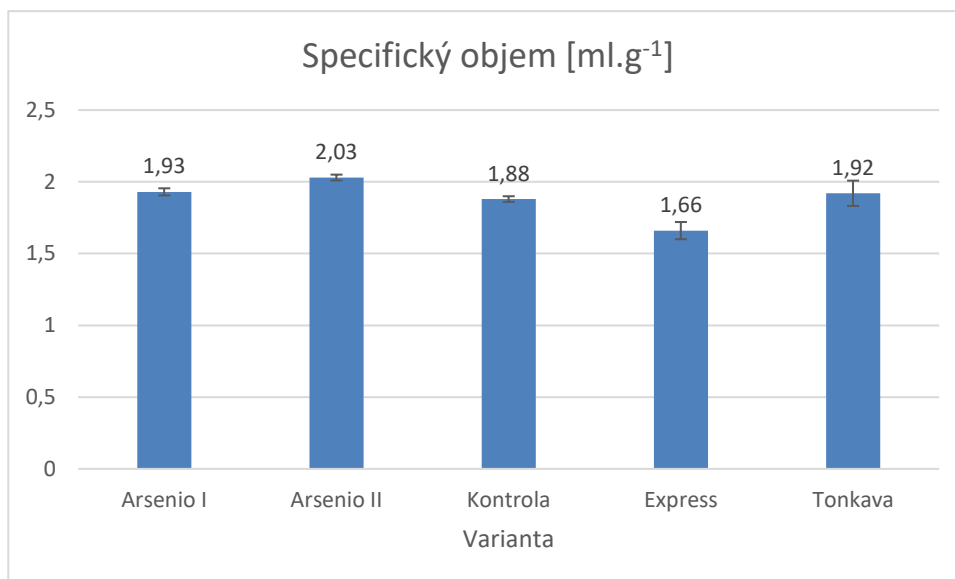
Varianta z hybridu Arsenio I. měla významně vyšší hmotnost než varianty Arsenio II., Express, Tonkawa a kontrola. Varianta Arsenio II. měla významně vyšší hmotnost než varianty Express a Tonkawa, ale statisticky se nelišila od kontroly. Nebyl pozorován statisticky významný rozdíl mezi kontrolou a variantami Express a Tonkawa (viz Graf 7). Nejvyšší průměrná hmotnost 190,75 g byla zjištěna u chleba z Arsenio I., následoval chléb z Arsenio II. s průměrnou hmotností 181,58 g a chléb z kontroly se 177,53 g. Chleby z hybridů Express a Tonkawa dosáhly nejnižší průměrné hmotnosti, které činily 167,90 g, respektive 167,68 g.



Graf 7: Hmotnost pečiva v závislosti na variantách

Specifický objem pečiva

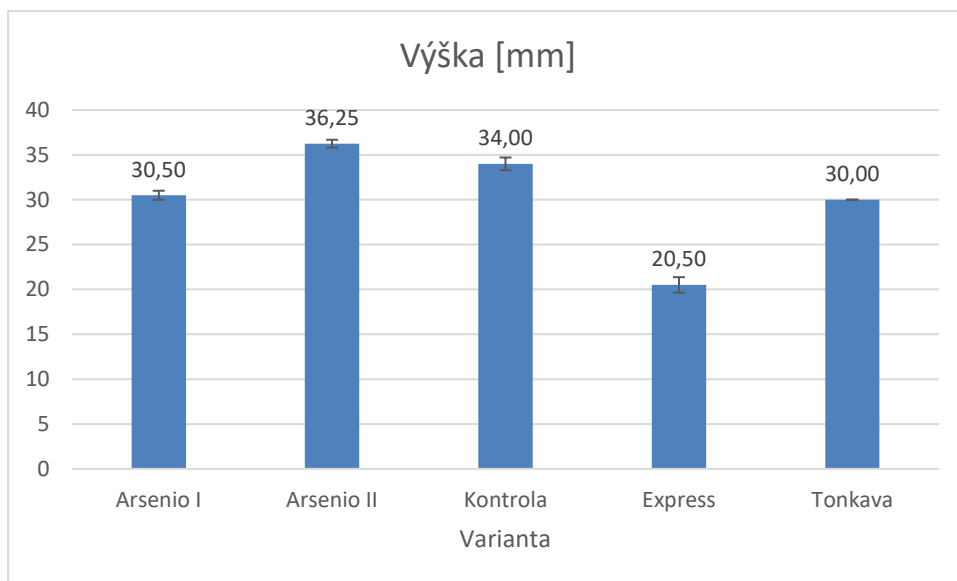
Z Grafu 8 vyplívá, že specifický objem chleba z varianty Arsenio I. se významně neliší od varianty Arsenio II., Tonkawa a kontroly, ale byl vyšší než u varianty Express. Varianta Arsenio II. měla vyšší specifický objem než chléb z odrůdy Express a kontroly, naopak od variant Arsenio I. a Tonkawa se nelišila. Specifický objem chleba z hybridu Express byl statisticky významně nižší než v případě variant z hybridů Arsenio I., Arsenio II., Tonkawa a kontroly. Kontrolní varianta se lišila od Arsenio II. a Express a nelišila se od variant Arsenio I. a Tonkawa. Nejvyšší průměrný specifický objem $2,03 \text{ ml.g}^{-1}$ byl zjištěn u chleba z hybridu Arsenio II. Následoval chléb z hybridu Arsenio I. s hodnotou $1,93 \text{ ml.g}^{-1}$, chléb z hybridu Tonkawa s $1,92 \text{ ml.g}^{-1}$, chléb z mouky Druid (kontrola) s $1,88 \text{ ml.g}^{-1}$. Nejnižší průměrná hodnota, která činila $1,66 \text{ ml.g}^{-1}$ byla zjištěna u chleba z hybridu Express.



Graf 8: Specifický objem pečiva v závislosti na variantách

Výška pečiva

V Grafu 9 je znázorněna průměrná výška chlebů z jednotlivých variant. Nebyl pozorován statisticky významný rozdíl v případě variant Arsenio I. a Tonkawa. Arsenio I. se lišil od Arsenio II., Expressu a kontroly. Chléb z varianty Arsenio II. byl významně vyšší než z varianty Arsenio I., kontrola, Express a Tonkawa. Chléb z kontroly byl významně vyšší než z variant Express a Arsenio I. a Tonkawa. Nejvyšší průměrná hodnota 36,25 mm byla naměřena u chleba z varianty Arsenio II. Následovaly varianty Arsenio I. s 30,50 mm a Tonkawa s 30,00 mm, kontrola s výškou 34,00 mm. Nejnižší průměrná výška chleba, která činila 20,50 mm byla zjištěna u varianty Express.



Graf 9: Výška pečiva v závislosti na variantách



Obrázek 21: Arsenio I. - 2. experiment



Obrázek 22: Arsenio I. profil – 2. experiment



Obrázek 23: Arsenio II. – 2. experiment



Obrázek 23: Arsnio II. profil – 2. experiment



Obrázek 25: Express – 2. experiment



Obrázek 26: Express profil – 2. experiment



Obrázek 27: Tonkawa – 2. experiment



Obrázek 28: Tonkawa profil – 2. experiment



Obrázek 29: Kontrola – 2. experiment



Obrázek 30: Kontrola profil – 2. experiment

5.4 Porovnání 1. a 2. experimentu

Vzhledem k rozdílným výsledkům objemu, hmotnosti, výšky a specifického objemu chlebů z prvního a druhého pečení, nebylo možné hodnoty z jednotlivých pekařských experimentů zprůměrovat a zhodnotit v rámci jedné statistické analýzy. Výsledky obou analýz byly porovnány mezi sebou.

V případě použití mouky z hybridu Arsenio byly hodnoty objemu a hmotnosti z 2. experimentu statisticky průkazně vyšší oproti hodnotám z 1. experimentu. Specifický objem byl průkazně vyšší v případě chleba pečeného v 1. experimentu. Výška upečeného chleba se v případě použití mouky z tohoto hybridu v jednotlivých experimentech nelišila.

V případě mouky z hybridu Express byly prokázány statistické rozdíly ($p < 0,05$) v objemu, hmotnosti, výšce i specifickém objemu chlebů, které byly vyšší u chlebů z 2. experimentu.

Chleby z hybridu Tonkawa se statisticky lišily v objemu hmotnosti a výšce, přičemž ve všech případech byly zjištěny vyšší hodnoty u 1. experimentu. U hodnoty specifického objemu chleba z 1. a 2. experimentu nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly.

U kontrolní varianty byly průkazně vyšší hodnoty objemu a hmotnosti zjištěny v 1. experimentu oproti 2. experimentu. Naopak výška a specifický objem byly vyšší u 2. experimentu.

V následujících Tabulkách 8–11 jsou uvedeny průměrné hodnoty objemu, hmotnosti, výšky a specifického objemu pro jednotlivé odrůdy v jednotlivých pekařských experimentech.

Tabulka 8: Průměrné hodnoty objemu, hmotnosti, výšky a specifického objemu pečiva z hybridu Arsenio.

Varianta	Objem		Výška	Specifický
	(ml)	Hmotnost (g)	(mm)	objem (ml.g ⁻¹)
Arsenio (1.experiment)	356,25 ^b	179,38 ^b	30,40 ^a	1,99 ^a
Arsenio (2.experiment)	367,25 ^a	190,75 ^a	30,50 ^a	1,92 ^b

Odlišné indexy u průměrů dokumentují statisticky průkazné rozdíly mezi průměry v rámci sloupce (hladina významnosti $\alpha = 0,05$)

Tabulka 9: Průměrné hodnoty objemu, hmotnosti, výšky a specifického objemu pečiva z širokové mouky Druid (Kontrola).

Varianta	Objem (ml)	Hmotnost (g)	Výška	Specifický
			(mm)	objem (ml.g ⁻¹)
Kontrola (1.experiment)	348,75 ^a	199,60 ^a	31,00 ^b	1,75 ^b
Kontrola (2.experiment)	333,00 ^b	177,53 ^b	34,00 ^a	1,88 ^a

Odlišné indexy u průměrů dokumentují statisticky průkazné rozdíly mezi průměry v rámci sloupce (hladina významnosti $\alpha = 0,05$)

Tabulka 10: Průměrné hodnoty objemu, hmotnosti, výšky a specifického objemu pečiva z hybridu Express.

Varianta	Objem (ml)	Hmotnost (g)	Výška	Specifický
			(mm)	objem (ml.g ⁻¹)
Express (1.experiment)	382,25 ^a	183,58 ^a	40,50 ^a	2,08 ^a
Express (2.experiment)	279,00 ^b	167,90 ^b	20,50 ^b	1,66 ^b

Odlišné indexy u průměrů dokumentují statisticky průkazné rozdíly mezi průměry v rámci sloupce (hladina významnosti $\alpha = 0,05$)

Tabulka 11: Průměrné hodnoty objemu, hmotnosti, výšky a specifického objemu pečiva z hybridu Tonkawa.

Varianta	Objem (ml)	Hmotnost (g)	Výška (mm)	Specifický objem (ml.g ⁻¹)
Tonkawa (1.experiment)	365,00 ^a	183,28 ^a	40,25 ^a	1,99 ^b
Tonkawa (2.experiment)	322,25 ^b	167,68 ^b	30,00 ^b	1,93 ^b

Odlišné indexy u průměrů dokumentují statisticky průkazné rozdíly mezi průměry v rámci sloupce (hladina významnosti $\alpha = 0,05$)

Na základě měření objemu těsta po upečení, jak v případě prvního, tak případě druhého experimentu nemůžeme vyvrátit hypotézu, že odrůda čiroku bude mít vliv na kynutí mouky.

5.5 Obsah taninů

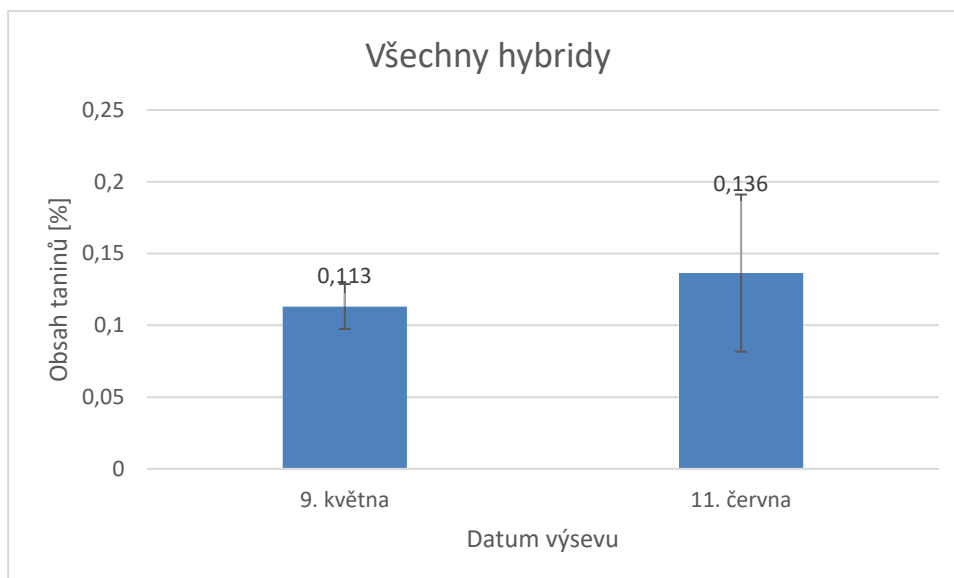
V Tabulce 12 je znázorněn průměrný obsah taninů v zrnech čiroku z prvního a druhého výsevu hybridů Arsenio a Tonkawa, z prvního výsevu hybridu Express průměry obou výsevů bez ohledu na hybrid. Z důvodu nedostatku zrna nebylo do tohoto vyhodnocení zařazeno zrno hybridu Express z druhého výsevu, proto nebylo možné zjistit u tohoto hybridu rozdíly.

Tabulka 12: Průměrný obsah taninů [% ± SD] v zrnech čiroku z prvního a druhého výsevu

Datum výsevu	Obsah taninů [%]			
	Všechny hybridy	Arsenio	Express	Tonkawa
9. května	0,113 ^b ± 0,02	0,112 ^a ± 0,01	0,095 ± 0,00	0,132 ^b ± 0,00
11. června	0,136 ^a ± 0,05	0,082 ^b ± 0,00	-	0,191 ^a ± 0,01

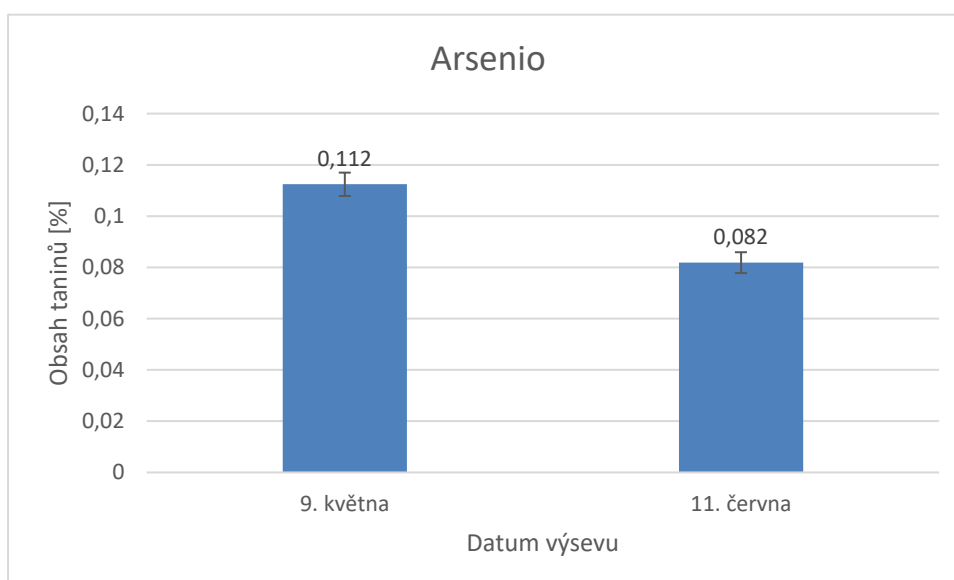
Odlišné indexy u průměrů dokumentují statisticky průkazné rozdíly mezi průměry v rámci sloupce (hladina významnosti $\alpha = 0,05$)

Jak je patrné z Grafu 10, byly zjištěny statisticky významné rozdíly v obsahu taninu zrn z prvního a druhého termínu výsevu. Průměrný obsah taninů ze zrn všech hybridů z prvního výsevu činil 0,113 % a byl významně nižší než u zrn z druhého termínu výsevu, u kterých bylo zjištěno 0,136 % taninů. Nemůžeme vyvrátit hypotézu, že zrno z prvního termínu výsevu bude mít nižší obsah taninů než zrno z druhého termínu výsevu.



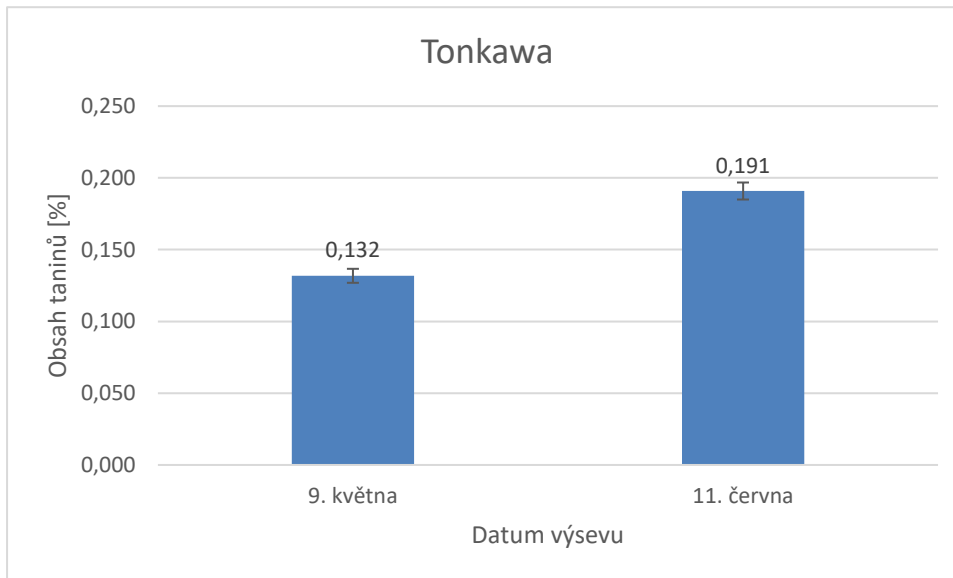
Graf 10: Obsah taninů [%] v zrnech z prvního a druhého termínu výsevu bez ohledu na hybrid

V případě hybridu Arsenio byl zjištěn statisticky průkazně vyšší obsah taninů v zrnech z prvního výsevu s 0,112 %, oproti zrnům z druhého výsevu s obsahem taninu 0,082 % (viz Graf 11). V případě tohoto hybridu musíme vyvrátit hypotézu, že zrna z prvního termínu výsevu bude mít nižší obsah taninů než zrna z druhého termínu výsevu.



Graf 11: Obsah taninů [%] v zrnech hybridu Arsenio z prvního a druhého termínu výsevu

V případě hybridu Tonkawa byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi obsahem taninu a termínem výsevu (viz Graf 12). Obsah taninů z prvního výsevu činil 0,132 % a byl statisticky průkazně nižší než obsah 0,191 % zjištěný u zrn z druhého termínu výsevu. V případě odrůdy Tonkawa můžeme potvrdit hypotézu, že zrno z prvního termínu výsevu bude mít nižší obsah taninů než zrno z druhého termínu výsevu.



Graf 12: Obsah taninů [%] v zrnech hybridu Tonkawa z prvního a druhého termínu výsevu

6 Diskuze

6.1 Vliv termínu setí na klíčivost semen

Na základě testů klíčivosti bylo zjištěno, že termín setí má významný vliv na dozrávání čiroku zrnového na území České republiky. Nulová klíčivost zrn čiroků vysetého v pozdějším termínu (11. června) poukazuje na neschopnosti úplného dozrání v těchto podmínkách při pozdějších výsevkách. Z tohoto důvodu byla klíčivost vyhodnocována jen u zrn z prvního výsevu. Nejvyšší klíčivosti bylo dosaženo podmínkách tmy při teplotě 25 °C, kde jsme zaznamenali nejvyšší průměrnou klíčivost 83,33 % u hybridu Arsenio a u Tonkawy 83,30 %.

V podmínkách světla při 22 °C jsme vyhodnocovali 4. den po založení testu klíčivosti, kdy byla nejvyšší průměrná klíčivost 69,50 % zjištěna u hybridu Arsenio. Následovaly hybridy Express a Tonkawa s průměrnou klíčivostí 65,00 %, respektive 61,00 %.

I v případě vyhodnocování 7. den po založení testu klíčivosti byla nejvyšší průměrná klíčivost 77,50 % zaznamenána u hybridu Arsenio, následoval hybrid Tonkawa s 75% klíčivostí, a nejmenší hodnota 72,00 % byla zaznamenána u hybridu Express. Dále bylo zjištěno, že celková klíčivost nebyla ovlivněna podmínkami světla při 22 °C a tmy při 25 °C.

Ačkoli mezi klíčivostí jednotlivých odrůd nebyl zaznamenán jak v podmínkách tmy (25 °C), tak v podmínkách světla (22 °C) statisticky významný rozdíl, ve všech případech můžeme pozorovat, že nejvyšších hodnot klíčivosti dosahuje hybrid Arsenio.

Na druhou stranu Krenchinski et al. 2015 zjistili, že v případě druhu *Sorghum arundinaceum* se hodnoty klíčení v přítomnosti světla významně lišily od klíčení za podmínek za tmy při teplotách 20, 30, 40 a 45 °C. Podobně i *Sorghum halepense*, které mělo obecně nízkou hodnotu klíčivosti, ale v přítomnosti světla byly získány vyšší hodnoty klíčivosti při teplotách 30, 40 a 45 °C ve srovnání s podmínkami při absenci světla.

Brar & Stewart (1994) testovali v průběhu deseti dní klíčivost semen 13 hybridů čiroku za podmínek ve tmě při konstantních teplotách 10, 15,5, 21, 26,5, 32 nebo 37,5 °C a ukázalo se, že kultivar a teplotní podmínky měly významný vliv na průměrnou laboratorní klíčivost. Procento klíčivosti významně ($p < 0,05$) vzrostlo, když se teplota zvýšila z 15,5 °C na 26,5 °C nebo 32 °C, zatímco klíčivost při 10 °C byla nulová, a když se teplota zvýšila z 15,5 °C na 37,5 °C, průměrná doba klíčení se významně snížila. Dále zjistili, že pro vyklíčení 80 % nebo více semen vyžadovalo 7 dní při teplotě 15,5 °C, 3 dny při 21 °C, 2 dny při 26,5 °C a 1 den při teplotě 32 °C a 37,5 °C. Optimální teplota zkoumaných kultivarů se pohybovala mezi 26,5 a 32 °C. Co se týče klíčivosti zkoumaných hybridů, při teplotě 21 °C, hybrid

Richardson9112 dosáhl 80% klíčivosti za 3 dny, zatímco FunksG499GBR vyžadoval 5 dní a DK-46 vyžadovalo 7 dní k dosažení 80 %. Podobně při 26,5 °C, kdy překročil Richardson-9112 klíčivost 80 % do 2. dne, zatímco Funks-G499GBR potřeboval 5 dnů a DK-46 potřeboval 6 dnů.

Fuksa et al. (2013) zkoumali klíčivost pěti hybridů pícních čiroků a zjistili, že celková klíčivost se, v průměru za všechny hybridy, při teplotách 15–35 °C pohybovala v rozpětí 88,7–91,5 %, přičemž mezi teplotními režimy v tomto rozsahu nezjistili statisticky průkazné rozdíly. Mírný pokles klíčivosti zaznamenali při teplotě 35 °C (88,7 %), ale významně nižší hodnoty byly zjištěny při teplotách 10, 40 a 45 °C.

6.2 Vliv odrůdy/ hybridu čiroku na kynutí mouky

Další část této práce se zkoumala, zda bude mít odrůda/hybrid čiroku vliv na kvalitu pekařských výrobků. Schopnost kynutí se posuzovala na základě měření objemu chleba po upečení. Bylo zjištěno, že různé hybridy čiroku použité k pečení chleba mají vliv na jeho objem, hmotnost, specifický objem i výšku bochníku.

V prvním experimentu byl zjištěn největší průměrný objem 382,25 ml a největší specifický objem 2,08 ml.g⁻¹ v případě chleba z hybridu Express. Naopak nejnižší hodnoty byly naměřeny u chleba ze zakoupené čirokové mouky Druid, jehož průměrný objem činil 348,75 ml a specifický objem 1,75 ml.g⁻¹.

Ve druhém experimentu dosáhl nejvyššího průměrného objemu a specifického objemu chléb z hybridu Arsenio z druhého výsevu a činil 368,25 ml, respektive 2,03 ml.g⁻¹. Naopak nejnižší hodnota objemu 279 ml, stejně tak jako hodnota specifického objemu 1,66 ml.g⁻¹ byla naměřena u chlebu z hybridu Express.

Průměrné hodnoty objemu chlebů z prvního a druhého experimentu se pohybovaly mezi 348,75–382,25 ml, respektive 279–368,25 ml, hmotnost mezi 179,38–183,58 g, respektive 167,68–190,75 g a výška 30,25–40,05 mm, respektive 20,5–36,25 mm. Hodnoty specifického objemu se v rámci prvního experimentu pohybovaly mezi 1,75–2,08 ml.g⁻¹ a v rámci druhého experimentu mezi 1,66–2,03 ml.g⁻¹. Podobné hodnoty zaznamenali Schober et al. (2005), který uvádí, že specifický objem chleba z čiroku se pohyboval v rozmezí 1,77–1,84 ml.g⁻¹, přičemž průměr činil 1,8 ml.g⁻¹. Dále uvádí, že ačkoli zaznamenali statisticky významné rozdíly ve struktuře střídky (velikost pórů, počet pórů a drobitost), u objemu a výšky nebyly zaznamenány statisticky významné rozdíly mezi hodnocenými vzorky.

Podobný rozsah byl popsán i jinými výzkumníky. Hodnoty specifického objemu bezlepkového chlebu z celozrnné rýže se pohybovaly v rozmezí 1,8–1,9 ml.g⁻¹ (Kadan et al. 2001), bezlepkový chléb vyrobený z kukuřičného a maniokového škrobu a rýžové mouky měl specifický objem 1,9–2,5 ml.g⁻¹ (López et al. 2004) a objem 2,5 ml.g⁻¹ u čirokového chleba naměřili Casier et al. (1977), ačkoli tyto studie zahrnovaly i použití dalších přísad jako například hydroxypropyl methylcelulóza, vejce s xantanovou gumou nebo žitné pentosany. Olatunji et al. (1992) dosáhl specifického objemu 2,2 ml.g⁻¹ s čirokovým chlebem (70 % čirok, 30 % maniokový škrob) bez těchto přísad.

Moore et al. (2004) porovnávali reologické a pekařské vlastnosti různých druhů chlebů – pšeničného (W), bezlepkového upečeného ze zakoupené směsi bezlepkových mouk (C), bezlepkového chleba, kde tvořil většinový podíl kukuřičný škrob následovaný moukou z hnědé rýže (ND) a v neposlední řadě bezlepkového chleba s obsahem sušeného odstředěného mléka (D). Specifický objem pšeničného chleba, který činil 3,18 ml.g⁻¹ byl výrazně vyšší oproti bezlepkovým variantám, u kterých byly naměřeny hodnoty 2,83 ml.g⁻¹, 1,87 ml.g⁻¹, 2,08 ml.g⁻¹.

Statisticky významné rozdíly mezi měřenými parametry byly zjištěny u chlebů z totožných odrůd pečenými v prvním a druhém experimentu. Ačkoli byla použita tatáž metodika a pekařské pokusy byly provedeny za stejných podmínek ve výsledku se ve většině hodnot lišily. Výjimku tvořily pouze chleby z hybridu Arsenio, kde se v rámci těchto dvou experimentů nelišila výška chleba, a chleby z Tonkawy, mezi kterými nebyl statisticky prokazatelný rozdíl mezi specifickými objemy. Toto mohlo být způsobeno použitím jiné značky bramborového škrobu, přičemž v prvním experimentu byl použit bramborový škrob Naturamyl (Dr. Oetker) a ve druhém případě bramborový škrob značky Castello. Horstmann et al. 2016 zkoumaly vliv škrobů na bezlepkové chleby a zjistili, že škroby měly významný vliv na bezlepkové chleby. Mimo jiné bylo pozorováno, že bezlepkový pšeničný škrob a bramborový škrob vykazují lepší výsledky ve srovnání s ostatními škroby, pokud jde o objem chleba a strukturu střídky.

6.3 Vliv termínu setí na obsah taninů

V poslední části této práce byl zjišťován vliv termínu výsevu na obsah taninů v zrně (vztaženo k sušině). Byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi obsahem taninů v zrnech z prvního a druhého výsevu. Bez ohledu na hybrid, byl obsah taninů statisticky významně vyšší v případě zrn z druhého výsevu, který činil 0,136 %, oproti zrnům z prvního termínu výsevu, u kterých byl zjištěn obsah taninů 0,113 %. Stejně tak i v případě samotného hybridu

Tonkawa, kdy zrna z prvního termínu výsevu obsahovaly 0,132 % taninů a v případě druhého výsevu 0,191 % taninů. Výjimkou byla odrůda Arsenio, kde byl zjištěn statisticky průkazně vyšší obsah v zrnech z prvního výsevu (0,112 % taninů) oproti výsevu druhému (0,082 % taninů).

Co se týče obsahu taninů ve zkoumaných hybridech, naše hodnoty se shodují s hodnotami, které získali Boren & Waniska (1992), kteří uvádí, že obsah taninů v odrůdách čiroku typu I. (tedy beztaninových) se v závislosti na kultivaru pohyboval v rozmezí 0,05–0,22 % v sušině.

Rogler & Ser (1984) zkoumali vliv stupně zralosti na obsah taninu a nutriční kvalitu nízkotaninového a vysokotaninového čiroku. Zjistili, že zrno nezralého vysoko-taninového čiroku obsahovalo více taninu a bylo nutričně horší než zrno zralého vysoko-taninového čiroku. Narozdíl od toho, u zrna nízkotaninového čiroku nebyly taniny detekovatelné v žádném stupni zralosti, a zralost a nutriční kvalita tudíž nebyla ovlivněna dobou sklizně.

K podobnému výsledku došli i Price et al. (1979), kteří zkoumali změnu obsahu taninů v průběhu zrání pomocí modifikované HCl-Vanilliové metody. Došli k výsledku, že obsah taninů prudce vzrostl přibližně 10 dnů po 50% anthesi a dosáhl maxima za 20-30 dnů po anthesi. Následně se značně snížil extrahovaný tanin v některých odrůdách a v jedné z nich nebyl detekovatelný už 45. den. Čtyři ze zkoumaných odrůd neobsahovaly více než 0,1 % taninů v žádném stádiu zralosti a z těchto čtyř odrůd patřily tři odrůdy do skupiny čiroků I. typu (tj. beztaninového).

Hoshino & Duncan (1982) zkoumali obsah taninu ve čtyřech hybridech čiroku vyšetých ve dvou termínech (25. května a 12. června) a to 10., 15., 25., 30., 35., 45., a 60 den po anthesi. Zjistili, že v obou variantách obsah taninu dosáhl nejvyšších hodnot za 10 dnů, 25 dní a 30 dní po anthesi. A to vzhledem k nejvyšší hmotnosti zrna právě v těchto dnech. Pouze v období 10 dní po oplození, byl zjištěn významně vyšší obsah taninu v zrnech z pozdějšího výsevu oproti zrnům z prvního výsevu, v ostatních dnech nezaznamenali statisticky významné rozdíly.

Nicméně Goldstein & Swein (1963) zdůrazňují, že zjevný pokles taninů nemusí být s největší pravděpodobností způsoben jejich skutečnou ztrátou, ale změnou jeho rozpustnosti nebo chemické reaktivity tak, že již není detekován testovacím postupem. Snížená rozpustnost může být výsledkem tvorby nerozpustného komplexu mezi taninem a jinou buněčnou složkou, jako se předpokládalo, že se tomu děje v ovoci.

7 Závěr

Cílem práce bylo porovnat vliv termínu setí čiroku zrnového na kvalitu zrna a schopnost dozrávání v podmínkách České republiky. Bylo zjištěno, že termín setí má významný vliv na klíčivost semen. Zatímco u zrn čiroků z prvního výsevu (9. května 2018) se klíčivost pohybovala napříč odrůdami v podmínkách světla 22 °C (hodnoceno 4. den) od 61 % (Tonkawa) do 69,5 % (Arsenio), hodnoceno 7. den od 72 % (Express) do 77,5 % (Arsenio), a podmínkách ve tmě 25 °C od 74,67 % (Express) do 83,33 % (Arsenio). Zrna z druhého výsevu (11. června 2018) měla ve všech případech klíčivost 0 %, což indikuje neschopnost dozrání zrn čiroku, vysetého v pozdějším termínu. Ačkoli mezi klíčivostmi zkoumaných hybridů nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl, ve všech případech měl nejvyšší klíčivost hybrid Arsenio. Tedy se jeví jako nejvhodnější z testovaných hybridů pro pěstování v našich klimatických podmínkách z hlediska dozrávání.

Dalším cílem práce bylo posoudit pekařskou kvalitu hybridů čiroku. Do tohoto pokusu byla jako kontrola zařazena čiroková mouka Druid. Na základě provedených pekařských experimentů a následném změření objemů, hmotnosti, výšky a výpočtu specifického objemu, jsme nemohli vyvrátit hypotézu, že odrůda bude mít vliv na kynutí pečiva. V prvním pekařském experimentu byl zjištěn největší objem 382,25 ml a největší specifický objem 2,08 ml.g⁻¹ v případě chleba z hybridu Express. Naopak nejnižší hodnoty byly naměřeny u chleba ze zakoupené čirokové mouky Druid, jehož objem činil 348,75 ml a specifický objem 1,75 ml.g⁻¹. Ve druhém experimentu dosáhl nejvyššího objemu 368,25 ml a specifického objemu 2,03 ml.g⁻¹ chléb z hybridu Arsenio z druhého výsevu. Naopak nejnižší hodnota objemu 279 ml, stejně tak jako hodnota specifického objemu 1,66 ml.g⁻¹ byla naměřena u chleba z hybridu Express. Takto různorodé výsledky v obou experimentech si odůvodňujeme použitím jiné značky bramborových škrobů, jejichž kvalita se mohla lišit a ovlivnit tak výsledný pekařský výrobek. Pro zjištění příčiny těchto rozdílů by bylo nutné provést další pekařské experimenty. Nicméně bylo zjištěno, že zkoumaných hybridů čiroku lze vyrobit chléb, jehož parametry jsou srovnatelné s jinými čirokovými bezlepkovými chleby, které byly vyrobeny v rámci jiných studií a experimentů, a čiroková mouka z těchto hybridů se jeví jako vhodná alternativa pro výrobu bezlepkového chleba.

Poslední část této práce byla věnována vlivu termínu výsevu na nutriční hodnotu zkoumaných hybridů čiroku z hlediska obsahu antinutričních látek taninů. Bez ohledu na konkrétní hybridy, bylo zjištěno vyšší obsah taninů u zrn ze druhého výsevu oproti zrnům z prvního výsevu a byla potvrzena hypotéza, že zrno z prvního termínu výsevu bude mít nižší

obsah taninů než zrno z druhého termínu výsevu. Stejně tak tomu bylo i v případě hybridu Tonkawa. Výjimku tvořil hybrid Arsenio, kde byl vyšší obsah taninů zjištěn v zrnech z prvního výsevu. V případě tohoto hybridu byla hypotéza vyvrácena.

8 Seznam literatury

Abdelseed BH, Abdalla AH, Yagoub A El-Gasim, Mohamed Ahmed IA, Babiker EE. 2011. Some Nutritional Attributes of Selected Newly Developed Lines of Sorghum (*Sorghum bicolor*) after Fermentation. *Journal of Agriculture Science and Technology* **13**:399-409.

Adamčík J, Tomášek J. 2016. Stimulace osiva čiroku pro praktické využití. *Biom.cz*. Available from <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/stimulace-osiva-ciroku-pro-practicke-vyuziti> (Accessed March 2019).

Afify Ael-M., El-Beltagi HS., El-Salam, SM. Omran, AA. 2012a. Protein solubility, digestibility and fractionation after germination of sorghum varieties. *PLoS ONE* 7 (e31154) DOI: 10.1371/journal.pone.0031154

Afify Ael-M, El-Beltagi HS, El-Salam SM, Omran AA. 2012b. Biochemical changes in phenols, flavonoids, tannins, vitamin E, β -carotene and antioxidant activity during soaking of three white sorghum varieties. *Asian Pac J Trop Biomed* **2**:203-9.

Ali NMM., El-Tinay A.H., Elkhalifa AE., Salih OA., Yousif NE. 2009. Effect of alkaline pretreatment and cooking on protein fractions of a high-tannin sorghum cultivar. *Food Chemistry* **114**:649-651.

Al-Mamary M., Molham, AH., Abdulwali AA., Al-Obeidi A. 2001. In vivo effects of dietary sorghum tannins on rabbit digestive enzymes and mineral absorption. *Nutrition Research* **21**:1393–1401.

Anonym. ND. Sorghum Production Guide Available from: <http://www.arc.agric.za/arc-gci/Fact%20Sheets%20Library/Sorghum%20Production.pdf> (accessed August 2018).

Arbeit ML, Nicklas TA, Berenson GS. 1992. Considerations of dietary sodium/potassium/energy ratios of selected foods. *J Am Coll Nutr.* **11**:210-222.

Awika JM, Rooney LW. 2004. Sorghum phytochemicals and their potential aspects on human health. *Phytochemistry* **65**:1199-1221.

- Bailey RL, Parker EA, Rhodes DG, Goldman JD, Clemens JC, Moshfegh AJ, Thuppal SV, Weaver CM. 2016. Estimating Sodium and Potassium Intakes and Their Ratio in the American Diet: Data from the 2011-2012 NHANES. *The Journal of Nutrition* **146**:745-750.
- Badigannavar A, Girish G, Ramachandran V, Ganapathi TR. 2016. Genotypic variation for seed protein and mineral content among post-rainy season-grown sorghum genotypes. *The Crop Journal* **4**:61-67.
- Berenji J & Dahlberg J. 2004. Perspectives of Sorghum in Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science* **190**:332-338.
- Belmares-Cerda RE. 2004. Composición y biodegradación fúngica de algunos compuestos polifenólicos presentes en plantas del semidesierto mexicano. Tesis de Maestría. Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México. 101 p.
- Belton PS, Delgadillo I, Halford NG, Shewry PR. 2006. Kafirin structure and functionality. *Journal of Cereal Science* **44**:272-286.
- Bhatia IS, Singh R, Dua S. 1972. Changes in carbohydrates during growth and development of Bajra (*Pennisetum typhoides*), Jowar (*Sorghum vulgare*) and Kangni (*Setaria italica*). *Journal of Science of Food and Agriculture* **23**:429-440.
- Boren B, Vaniska RD. 1992. Sorghum Seed Color as an Indicator of Tannin Content. *The Journal of Applied Poultry Research* **1**:117-121.
- Brar GS, Stewart BA. 1994. Germination under Controlled Temperature and Field Emergence of 13 Sorghum Cultivars. *Crop Science* **34**: 1336-1340.
- Carter EGA, Carpenter KJ. 1981. Bound niacin in sorghum and its availability. *Nutrition Research* **1**:571-579.

Carr TP, Weller CL, Schlegel VL, Cuppett SL, Guderian DM, Johnson KR. 2005. Grain Sorghum Lipid Extract Reduces Cholesterol Absorption and Plasma Non-HDL Cholesterol Concentration in Hamsters. *The Journal of Nutrition* **135**:2236-2240.

Casier JPJ, de Paepe G, Willems H, Goffings G, Noppen H. 1977. Bread from starchy tropical crops. II. Bread production from pure millet and sorghum flours, using cereal endosperm–cell wall pentosan as a universal baking factor. Pages 127-131 in: Proc. Symp. on Sorghum and Millets for Human Food. D. A. V. Dendy, ed. Tropical Products Institute: London

Catassi C, Bai JC, Bonaz B, Bouma G, Calabrò A, Carroccio A, Castillejo G, Ciacci C, Cristofori F, Dolinsek J, Francavilla R, Elli L, Green P, Holtmeier W, Koehler P, Koletzko S, Meinhold C, Sanders D, Schumann M, Schuppan D, Ullrich R, Vécsei A, Volta U, Zevallos V, Sapone A, Fasano A. 2013. Non-Celiac Gluten sensitivity: the new frontier of gluten related disorders. *Nutrients* **5**:3839-3853.

Cauvain S. 1998. Other cereals in breadmaking. *Technology of Breadmaking*. 330-346.

Ciacci C, Maiuri L, Caporaso N, Bucci C, Del Giudice L, Rita Massardo D, Pontieri P, Di Fonzo N, Bean SR, Ioerger B, Londei M. 2007. Celiac disease: In vitro and in vivo safety and palatability of wheat-free sorghum food products. *Clinical Nutrition* **26**:799-805.

CZ Biom: Čirok. Biom.cz. www: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/cirok> (accessed January 2019)

ČSN ISO 9648. 2003. Čirok – stanovení obsahu taninu. Český normalizační institut, Praha

Davis AB, Hoseney RC. 1979. Grain sorghum condensed tannins. I. Isolation, estimation, and selective adsorption by starch. *Cereal Chemistry* **56**:310-314.

Deatherage WG, McMasters MM, Rist CE. 1955. A partial survey of amylose content in starch from domestic and foreign varieties of corn, wheat and sorghum and from some other starch-bearing plants. *Trans. Am. Assoc. Cereal. Chem.* **13**:31-42.

- De Morais Cardoso L, Pinheiro SS, Martino HS, Pinheiro-Santana HM. 2015. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.): Nutrients, bioactive compounds, and potential impact on human health. *Food, Science and Nutrition* **57**:372-390.
- De Wet MJM. 1978. Systematics and Evolution of Sorghum, Sect. Sorghum (Gramineae). *American Journal of Botany* **65**:477-484.
- Dicko MH, Gruppen H, Traore AS, Voragen AGJ, van Berkel WJH. 2006. Sorghum grain as human food in Africa: Relevance of content of starch and amylase activities. *African Journal of Biotechnology* **5**:384-395.
- Dirar HA. 1991. The Indigenous Fermented Foods and Beverages of Sudan. In: *Applications of Biotechnology to Food Processing in Africa. Selected Paper*. UNIDO, Vienna. 23-40.
- Dreher ML, Dreher CJ, Berry JW, Fleming SE. 1984. Starch digestibility of foods: A nutritional perspective. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **20**:47-71.
- Duodu K, Taylor JR, Belton P, Hamaker B. 2003. Factors affecting sorghum protein digestibility. *Journal of Cereal Science* **38**:117-131.
- Dykes L, Rooney LW. 2006. Sorghum and millet phenols and antioxidants. *Journal of Cereal Science* **44**:236-251.
- Dykes L, Rooney LW. 2007. Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits. *Cereal Food World* **52**:105-111.
- Elkhalil EA, El Tinay A, Mohamed B, Elsheikh EA. (2001). Effect of malt pretreatment on phytic acid and in vitro protein digestibility of sorghum flour. *Food Chemistry* **72**:29-32.
- Etuk EB, Okeudo NJ, Esonu BO, Udedibie ABI. 2012. Antinutritional Factors in Sorghum: chemistry, Mode of action and Effects on livestock and poultry. *Online Journal of Animal and Feed Research* **2**:113-119.

Fasano A, Sapone A, Zevallos V, Schuppan D. 2015. Nonceliac Gluten Sensitivity. *Gastroenterology* **148**:1195-1204.

Food and Agriculture Organisation of the United Nations. Sorghum. N.d. Available from: www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/sorghum/en/ (Accessed December 2018)

Food and Agriculture Organisation of the United Nations. 2012. Sorghum and millets in human nutrition. Available from: <http://www.fao.org/docrep/T0818E/T0818E00.htm#Contents> (Accessed November 2018)

Ford RP. 2009. The gluten syndrome: a neurological disease. *Med Hypotheses* **73**:438-440.

Friedman M. 1996. Nutritional Value of Proteins from Different Food Sources. A Review. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* **44**:6-29.

Frič P, Keil J. 2011. Celiakie pro praxi. *Medicína pro praxi* **8**:354-359.

Fuksa P, Hrevušová Z, Šantrůček J, Brant V. 2013. Vliv teploty na klíčivost semen pšeničných čiroků. *Osivo a satba*. 42-47.

Gallagher E, Gormley TR, Arendt EK. 2003. Crust and crumb characteristics of gluten-free breads. *Journal of Food Engineering* **56**:153-161.

García-Esteva RM, Guerra-Hernández E, García-Villanova B. 1999. Phytic acid content in milled cereal products and breads. *Food Research International* **32**:217-221.

Goldstein JL, Swain T. 1963. Changes in tannins in ripening fruits. *Phytochemistry* **2**:371-383.

Goldstein JL, Swain T. 1965. The inhibition of enzymes by tannins. *Phytochemistry* **4**:185-192.

Hagerman AE. 2002. Vanillin assay. 1-4. Available from: <https://www.users.miamioh.edu/hagermae/Vanillin%20Assay.pdf> (Accessed March 2019)

Hargrove JL, Greenspan P, Hartle DK. 2004. Nutritional Significance and Metabolism of Very Long Chain Fatty Alcohols and Acids from Dietary Waxes. *Experimental Biology and Medicine* **229**:215-226.

Harbers LH. 1975. Starch granule structural changes and amylolytic patterns in processed sorghum grain. *Journal of Animal Science* **41**:1496-1501.

Hassan IAG, El Tinay AH. 1995. Effect of fermentation on tannin content and in-vitro protein and starch digestibilities of two sorghum cultivars. *Food Chemistry* **53**:149-151.

Hermuth J. 2010. Čirok, znovu vzkříšená plodina v ČR. *Agromanuál* **5**:62-65.

Hermuth J, Janovská D, Stražil Z, Ust'ak S, Hýsek J. 2012. Čirok obecný *Sorghum Bicolor* (L.) Moench, možnosti využití v podmínkách České republiky. *Metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně.*

Hermuth J, Janovská D. 2013. Využití genetických zdrojů čiroků, jejich potenciálu pro možný šlechtitelský program v České republice. *Centrum výskumu rastlinnej výroby, Piešťany. – to samý*

Hermuth J, Janovská D, Hlásná Čepková P, Ust'ak S, Stražil Z, Dvořáková Z. 2016. Sorghum and Foxtail Millet—Promising Crops for the Changing Climate in Central Europe. *Alternative Crops and Cropping Systems*. P. 25. DOI: 10.5772/62642

Hermuth J, Kosová K. 2018. Pěstební technologie čiroku zrnového odrůdy Ruzrok. *Metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně.*

Hoffmanová I, Sánchez D. 2015. Neceliakální glutenová senzitivita. *Vnitřní Lékařství* **61**: 000-000.

- Horstmann S, Belz M, Heitmann M, Zannini E, Arendt E. 2016. Fundamental Study on the Impact of Gluten-Free Starches on the Quality of Gluten-Free Model Breads. *Foods* **5**:30.
- Hoshino T, Duncan RR. 1982. Sorghum tannin content during maturity under different environmental conditions. *Japanese Journal of Crop Science* **51**:178–184.
- Hugo LF, Rooney LW, Taylor JRN. 2003. Fermented Sorghum as a Functional Ingredient in Composite Breads. *Cereal Chemistry* **80**:459-499.
- Hýsek J, Hermuth J, Stehno Z. 2010. Choroby a škůdci čiroku pěstovaného v podmínkách České republiky. Centrum výskumu rastlinnej výroby piešťany, Piešťany.
- Hwang KT, Cuppett SL, Weller CL, Hanna MA. 2002. HPLC of grain sorghum wax classes highlighting separation of aldehydes from wax esters and sterol esters. *Journal of Separation Science* **25**:619-623.
- Hwang KT, Weller CL, Cuppett SL, Hanna MA. 2004. Policosanol contents and composition of grain sorghum kernels and dried distillers grains. *Cereal Chemistry* **81**:345-349.
- Chan SS, Ferguson EL, Bailey K, Fahmida U, Harpe TB, Gibson RS. 2007. The concentration of iron, calcium, zinc and phytate in cereals and legumes habitually consumed by infants living in East Lombok, Indones. *Journal of Food Composition and Analysis*.
- Chandrashekar A, Satyanarayana KV. 2006. Disease and pest resistance in grains of sorghum and millets. *Journal of Cereal Science* **44**:287-304.
- Chávez-González ML, Rodríguez-Durán LV, Contreras-Esquivel JC, Rodríguez-Herrera R, Aguilar CN. 2012. Sorghum Tannins: A Source of Potent Bioactive Compounds. 75-89 in *Sorghum Food and Energy Source*, edited Vazquez M., Ramirez de Leon JA.
- Chávez D, Ascheri J, Martins A, Carvalho C, Bernardo C, Teles A. 2018. Sorghum, an alternative cereal for gluten-free product. *Rev Chil Nutr* **45**:169-177.

Chung KT, Wong TY, Wei CH, Huang Y, Lin Y. 1998 Tannins and Human Health: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **38**:421-464.

Istianah N, Ernawati L, Anal AK, Gunawan S. 2018. Application of modified sorghum flour for improving bread properties and nutritional values. *International Food Research Journal* **25**:166-173.

Janovská D, Hermuth J. 2015. *Genetické zdroje rostlin a změna klimatu*. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha.

Jones AL. 2017. The Gluten-Free Diet: Fad or Necessity? *Diabetes Spectrum* **30**:118-123.

Jumbunathan R, Singh U, Subramanian V. 1984. Grain quality of sorghum, pearl millet, pigeon pea and chickpea. *Interfaces between Agriculture, Nutrition, and Food Science*. 406.

Kadan RS, Robinson MG, Thibodeaux DP, Pepperman Jr. AB. 2001. Texture and other physicochemical properties of whole rice bread. *Journal of Food Science* **66**:940-944.

Kára J, Stražil Z, Hutla P, Ust'ak S. 2005. *Energetické rostliny: Technologie pro pěstování a využití*. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha.

Khalil JK, Sawaya WN, Safi WJ. 1984. Chemical composition and nutritional quality of sorghum flour and. *Plant Foods for Human Nutrition* **34**:141-150.

Khanbabaee K, Van Ree T. 2001. Tannins: Classification and definition. *Natural Products Reports* **18**:641-649.

Koubová D. 2009. Čirok místo kukuřice. *Agronavigátor*. Available from: <http://www.agronavigator.cz/default.asp?ch=1&typ=1&val=87086&ids=125> (Accessed January 2018)

Kopáčová O. 2007. *Trendy ve zpracování cereálií s přihlédnutím zejména k celozrnným výrobkům*. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha.

Kosová K, Hermuth J. 2018. Pěstování a využití čiroku v Severní Americe. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha-Ruzyně.

Klopfenstein CF, Hosenev RC. 1995. Nutritional Properties of Sorghum and the Millets. In: Sorghum and Millets: Chemistry and Technology. 125-168. ISBN:0-913250-84-8.

Krechinski FH, Albrecht AJP, Albrecht LP, Villetti HL, Orso G, Barroso AAM, Victoria Filho R. 2015. Germination and Dormancy in Seeds of Sorghum halepense and Sorghum arundinaceum. *Planta Daninha* **33**:223-230.

Kucharek, T. 1992. Foliar and head diseases of sorghum in Florida. Circular 1073, Florida Coop. Ext. Serv., Gainesville.

Kulamarva AG, Venkatesh RS, Vijaya Raghavan GS. 2012. Nutritional and Rheological Properties of Sorghum. *International Journal of Food Properties* **12**:55-59.

Kumar R, Singh M. 1986. Tannins: Their Adverse Role in Ruminant Nutrition. *P. Journal of Agriculture and Food Chemistry* **32**:447-453.

Kuthan A. 2012. Choroby čiroku. Agromanuál. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/choroby/choroby-ciroku> (Accessed January 2018)

Latta J. 2012. Celiakie – od screeningu k diagnóze. *Interní Med* **14**:221-223.

Léder E. 2004. Sorghum and millets. *Cultivated Plants, Primarily As Food Sources* **1**:1-7.

Lekha P, Lonsane B. 1997. Comparative titres, location and properties of tannin acyl hydrolase produced by *Aspergillus niger* PKL 104 in solid-state, liquid surface and submerged fermentations. *Process Biochemistry* **29**:497-503.

Leeson S, Summers JD. 2005. *Commercial Poultry Nutrition*. Nottingham University Press, Nottingham, England.

López ACB, Pereira AJG, Junqueira R. G. 2004. Flour mixture of rice flour, corn and cassava starch in the production of gluten-free white bread. *Brazilian Archives of Biology and Technology* **47**:63-70.

Marfo EK, Simpson BK, Idowu JS, Oke OL. 1990. Effect of local food processing on phytate levels in cassava, cocoyam, sorghum, rice, cowpea and soybean. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **38**:1580-1585.

Marshall JJ. 1975. Alpha amylase inhibitors from plants. in *Physiological Effects of Food Carbohydrates* **15**:244-266.

Martino HSD, Tomaz PA, Moraes EA, Conceição LL, Oliveira DS, Queiroz VAV, Rodrigues JAS, Pirozi MR, Pinheiro-Sant'Ana HM, Ribeiro MR. 2012. Chemical characterization and size distribution of sorghum genotypes for human consumption. *Rev. Inst. Adolfo Lutz* **71**:337-344.

Maxson ED, Rooney LW. 1972. Evaluation of Method for Tannin Analysis in Sorghum Grain. *Cereal Chemistry* **49**:719-729.

Ministerstvo zemědělství České republiky. 2019. Katalog BPEJ. Available from <https://bpej.vumop.cz/40900> (Accessed March 2019)

Mustalahti K, Catassi C, Reunanen A, Fabiani E, Heier M, McMillan S, Murray L, Metzger MH, Gasparin M, Bravi E, Mäki M. 2010. The prevalence of celiac disease in Europe: results of a centralized, international mass screening project. *Annals of Medicine* **42**:587-595.

Miller E. 1996. Minerals. In: *Food Chemistry: Chapter 4*. Marcel Dekker Inc. New York. Basel. Hong Kong. 617-649.

Available from: https://eclass.teiwm.gr/modules/document/file.php/MSFP101/Documents%20Food%20Chemistry/Marcel%20Dekker%2C_Food%20Chemistry%2C%203rd%20Edition_%5B1997_ISBN_0824793463%5D.pdf (Accessed November 2018)

- Mohammed NA, Ahmed IAM, Babiker EE. 2011. Nutritional Evaluation of Sorghum Flour (Sorghum bicolor L. Moench) During Processing of Injera. *Engineering and Technology* **51**:58-62.
- Moore MM, Schober TJ, Dockery P, Arendt EK. 2004. Textural Comparisons of Gluten-Free and Wheat-Based Doughs, Batters, and Breads. *Cereal Chemistry Journal* **81**:567–575.
- Naczki M, Shadidi F. 2004. Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A* **1054**:95-111.
- O’Kennedy MM, Grootboom A, Shewryb PR. 2006. Harnessing sorghum and millet biotechnology for food and health. *Journal of Cereal Science* **44**:224-235.
- Olatunji O, Koleoso OA, Oniwinde AB. 1992. Recent experience on the milling of sorghum, millet, and maize for making nonwheat bread, cake, and sausage in Nigeria. Pages 83-88 in: *Utilization of Sorghum and Millets*. M. I. Gomez, L. R. House, L. W. Rooney, and D. A. V. Dendy, eds. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics: Patancheru, India.
- Osman MA. 2004. Changes in sorghum enzyme inhibitors, phytic acid, tannins and in vitro protein digestibility occurring during Khamir (local bread) fermentation. *Food Chemistry* **88**:129-134.
- Omondi EGO, Makobe MN, Imbuga MO, Onyango CA, Kahangi EN, Matasyoh LG. 2017. Nutritional evaluation of mutants and somaclonal variants of sorghum (sorghum bicolor (L) moench) in Kenya. *Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology* **1**:577-587.
- Onyango C, Mutungi C, Unbehend G, Lindhauer MG. 2011. Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. *LWT - Food Science and Technology* **44**:681-686.
- Pagano AE. 2006. Whole Grains and the Gluten-Free Diet. *Practical gastroenterology* **30**:66-78.

Parzanese I, Qehajaj D, Patrinoicola F, Aralica M, Chiriva-Internati, M, Stifter S, Elli L, Grizzi F. 2017. Celiac disease: From pathophysiology to treatment. *World J Gastrointest Pathophysiol* **8**:27-38.

Petříková V. 2004. Pěstování rostlin pro energetické účely. Česká energetická agentura, Praha.

Pranoto Y, Anggrahini S, Efendi Z. 2013. Effect of natural and *Lactobacillus plantarum* fermentation on in-vitro protein and starch digestibilities of sorghum flour. *Food Bioscience* **2**:46-52.

Price LM, Van Scoyoc S, Butler LG. 1978. A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain. *J. Agric. Food Chem.* **26**:1214-1218.

Price ML, Stromberg AM, Butler LG. 1979. Tannin content as a function of grain maturity and drying conditions in several varieties of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **27**:1270–1274.

Prugar J et al. 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský ve spolupráci s Komisí jakosti rostlinných produktů, Praha.

Ratnavathi CV, Patil JV. 2013. Sorghum Utilization as Food. *Journal of Nutrition and Food Science* **4**: 247.

Reddy BSV, Ramesh S, Longvah T. 2005. Prospects of Breeding for Micronutrients and β -Carotene-Dense Sorghums. *ISMN* **46**:10-14.

Rogler JC, Ser DL. 1984. Effects of stage of maturity on the tannin content and nutritional quality of low and high tannin sorghum. *Nutrition Reports International* **29**:1281-1287.

Rooney LW, Clark LE. 1968. The chemistry and processing of sorghum grain. *Cereal. Science Today* **13**:254-260.

Rose C, Armbruster FP, Ruppert J, Igl BW, Zillikens D, Shimanovich I. 2008. Autoantibodies against epidermal transglutaminase are a sensitive diagnostic marker in patients with dermatitis herpetiformis on a normal or gluten-free diet. *J Am Acad Dermatol* **61**:39-43.

Rysová J, Šmídová Z, Pinkrová J, Skřivan P, Landfeld A. 2016. Část 1: potraviny pro bezlepkovou dietu. Současné trendy výzkumu a vývoje potravin pro skupiny obyvatel se zvláštními požadavky na výživu. Studie pro Ministerstvo zemědělství ČR. 116.

Salunkhale DK, Kadam SS, Chavan JK. 1977. Nutritional Quality of Proteins in Grain Sorghum. *Qualitas Plantarum* **27**:187-205.

Sanchez HD, Osella CA, de la Torre MA. 2002. Optimization of gluten-free bread prepared from cornstarch, rice flour, and cassava starch. *Journal of Food Science* **67**:416-419.

Saturni L, Ferretti G, Bacchetti T. 2010. The Gluten-Free Diet: Safety and Nutritional Quality. *Nutrients* **2**:16-34.

Selle PH, Cadogan DJ, Li X, Bryden WL. (2010). Implications of sorghum in broiler chicken nutrition. *Animal Feed Science and Technology* **156**:57-74.

Serna-Saldivar, S.O. and Rooney, L.W. 1995. Structure and chemistry of sorghum and millets, in *Sorghum and Millets: Chemistry and Technology* (ed. D.A.V. Dendy), American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. 69–124.

Schuppan D. 2000. Current Concepts of Celiac Disease Pathogenesis. *Gastroenterology* **119**:234-242.

Schuppan D, Junker Y, Barisani D. 2009. Celiac Disease: From Pathogenesis to Novel Therapies. *Gastroenterology* **137**:1912-1933.

Schober TJ, Messerschmidt M, Bean SR, Park SH, Arendt EK. 2005. Gluten-Free Bread from Sorghum: Quality Differences Among Hybrids. *Cereal Chemistry Journal* **82**:394-404.

Silva O, Duarte A, Pimentel M, Viegas S, Barroso H, Machado J, Pires I, Cabrita J, Gomes E. 1997. Antimicrobial activity of *Treminalia macroptera* root. *Journal of Ethnopharmacology* **57**:203-207.

Sollid LM. 2000. Molecular Basis Of Celiac Disease. *Annu. Rev. Immunol* **18**:53-81.

Strumeyer DH, Malin M. 1969. Identification of the amylase inhibitor from seeds of *Leoti sorghum*. *Biochim. Biophys. Acta* **184**: 634.

Subramanian B, Jambunathan R, Suuryaprakash S. 1980. Note on the soluble sugars of sorghum. *Cereal Chemistry* **57**:440-441.

Svensson, L., Sekwati-Monang, B., Lutz, D. L., Schieber, A., & Gänzle, M. G. 2010. Phenolic Acids and Flavonoids in Nonfermented and Fermented Red Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **58**:9214-9220.

Štěpánek P. 2018. Nabídka čiroku pro rok 2018. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/osivo-a-sadba-1/nabidka-ciroku-pro-rok-2018> (Accessed March 2019)

Taylor JR, Dewar J. 2001. Developments in sorghum food technologies. *Advances in Food and Nutrition Research* **43**:217-264.

Taylor JRN, Taylor J. 2008. Five Simple Methods for the Determination of Sorghum Grain End-Use Quality (with Adaptations for Those without Laboratory Facilities). University of Pretoria, South Africa. 1-18. Available from: <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1016&context=intsormilpubs> (Accessed January 2019)

Toler R. 1985. Maize dwarf mosaic, the most important virus disease of sorghum. *Plant Disease* **69**:1011-1015.

Tuinstra MR. 2008. Food-grade sorghum varieties and production considerations: a review. *Journal of Plant Interactions* **3**:69-72.

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 2012. Metodika zkoušek užitné hodnoty: čirok (na siláž a zrna). 22 s. Available from: <http://eagri.cz/public/web/file/112403/Cirok2016.pdf>

Vila-Real C, Pimenta-Martins A, Maina HN, Gomes AM, Pinto E. 2017. Nutritional Value of African Indigenous Whole Grain Cereals Millet and Sorghum. *Nutrition & Food Science International Journal* **4**:1-6.

Virupaksha TK, Sastry LVS. 1968. Studies on the protein content and amino acid composition of some varieties of grain sorghum. *Z Agric. Food Chem* **16**:199-203.

Velázquez N, Sánchez H, Osella C, Santiago LG. 2011. Using white sorghum flour for gluten-free breadmaking. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* **63**:491-7.

Vlčková E. 2015. Glutenová neuropatie. *Neurologie pro praxi* **16**:352-357.

Wang RS, Kies C. 1991. Niacin status of humans as affected by eating decorticated and whole-ground sorghum (*Sorghum Gramineae*) grain, ready-to-eat breakfast cereals. *Plant Foods for Human Nutrition* **41**:355-369.

Winger M, Khouryieh H, Aramouni F, Herald T. 2014. Sorghum Flour Characterization and Evaluation in Gluten-Free Flour Tortilla. *Journal of Food Quality* **37**:1-12.

Wu Y, Li X, Xiang W, Zhu Ch, Lin Z, Wu Y, Li J, Pandravada S, Ridder DD, Bai G, Wang ML, Trick HN, Bean SR, Tuinstra MR, Tessa TT, Yu J. 2012. Presence of tannins in sorghum grains is conditioned by different natural alleles of Tannin1. *PNAS* **109**:10281-10286.

Youssef AMM, Boilling H, Moustafa EK, Moharram YG. 1988. Extraction, determination and fractionation of sorghum polyphenols. *Food Chemistry* **30**:103-111.

9 Seznam obrázků, grafů a tabulek

Graf 1: Průměrná klíčivost jednotlivých hybridů z prvního výsevu 4. a 7. den za podmínek světla při 22 °C, a 7. den za podmínek tmy v klimaboxu při 25°C.

Graf 2: Objem pečiva v závislosti na variantách

Graf 3: Hmotnost pečiva v závislosti na variantách

Graf 4: Specifický objem pečiva v závislosti na variantách

Graf 5: Výška pečiva v závislosti na variantách

Graf 6: Objem pečiva v závislosti na variantách

Graf 7: Hmotnost pečiva v závislosti na variantách

Graf 8: Specifický objem pečiva v závislosti na variantách

Graf 9: Výška pečiva v závislosti na variantách

Graf 10: Obsah taninů [%] v zrnech z prvního a druhého termínu výsevu bez ohledu na hybrid

Graf 11: Obsah taninů [%] v zrnech hybridu Arsenio z prvního a druhého termínu

Graf 12: Obsah taninů [%] v zrnech hybridu Tonkawa z prvního a druhého termínu výsevu

Tabulka 1: Hnojení čiroku a dávky ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) (Hermuth & Kosová 2018)

Tabulka 2: Chemické složení zrna čiroku (%) ze sbírky genetických zdrojů v genové bance, Praha Ruzyně (Hermuth et al. 2016).

Tabulka 3: Skladba frakcí bílkovin v různých varietách a hybridech (Prugar et al. 2008)

Tabulka 4: Schéma pokusu klíčení

Tabulka 5: Průměrná klíčivost jednotlivých variant

Tabulka 6: Průměrné hodnoty ($\pm\text{SD}$) objemu, hmotnosti, výšky a specifického objemu chlebů z jednotlivých variant.

Tabulka 7: Průměrné hodnoty ($\pm\text{SD}$) objemu, hmotnosti, výšky a specifického objemu chlebů z jednotlivých variant.

Tabulka 8: Průměrné hodnoty objemu, hmotnosti, výšky a specifického objemu pečiva z hybridu Arsenio.

Tabulka 9: Průměrné hodnoty objemu, hmotnosti, výšky a specifického objemu pečiva z čirokové mouky Druid (Kontrola).

Tabulka 10: Průměrné hodnoty objemu, hmotnosti, výšky a specifického objemu pečiva z hybridu Express.

Tabulka 11: Průměrné hodnoty objemu, hmotnosti, výšky a specifického objemu pečiva z hybridu Tonkawa.

Tabulka 12: Průměrný obsah taninů [% ± SD] v zrnech čiroku z prvního a druhého výsevu

Obrázek 4: Setí čiroku (Výzkumná stanice FAPPZ Červený Újezd)

Obrázek 2: Čiroková mouka Druid od výrobce KONKORDIA s.r.o.

Obrázek 3: Bramborový škrob Naturamyl (Dr. Oetker)

Obrázek 4: Arsenio 1. výsev

Obrázek 5: Arsenio 2. výsev

Obrázek 6: Express 1. výsev

Obrázek 7: Express 2. výsev

Obrázek 8: Tonkawa 1. výsev

Obrázek 9: Tonkawa 2. výsev

Obrázek 10: Mletí zrna na mouku

Obrázek 11: Zrno tří zkoumaných hybridů čiroku namleté na mouku

Obrázek 12: Kynutí těsta v ALU vaničkách

Obrázek 13: Arsenio – 1. experiment

Obrázek 14: Arsenio profil – 1. experiment

Obrázek 15: Express – 1. experiment

Obrázek 16: Express profil – 1. experiment

Obrázek 17: Tonkawa – 1. experiment

Obrázek 18: Tonkawa profil – 1. experiment

Obrázek 19: Kontrola (čiroková mouka Druid) – 1. experiment

Obrázek 20: Kontrola (čiroková mouka Druid) profil – 1. experiment

Obrázek 21: Arsenio I. – 2. experiment

Obrázek 22: Arsenio profil I. – 2. experiment

Obrázek 23: Arsenio II. – 2. experiment

Obrázek 24: Arsenio II. profil – 2. experiment

Obrázek 25: Express – 2. experiment

Obrázek 26: Express profil – 2. experiment

Obrázek 27: Tonkawa – 2. experiment

Obrázek 28: Tonkawa profil – 2. experiment

Obrázek 29: Kontrola (čiroková mouka Druid) – 2. experiment

Obrázek 30: Kontrola (čiroková mouka Druid) profil – 2. experiment