

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra mikrobiologie, výživy a dietetiky



**In vitro stravitelnost škrobu pšenice ve vztahu k trávení
drůbeže**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Viktorie Špičková
Obor studia: Výživa zvířat a dietetika

Vedoucí práce: Ing. Vladimír Plachý, Ph.D

© 2019 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "In vitro stravitelnost škrobu pšenice ve vztahu k trávení drůbeže" 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 10. 4. 2019

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Vladimíru Plachému Ph.D za vedení práce, ochotu pomoci a za cenné rady.

In vitro stravitelnost škrobu pšenice ve vztahu k trávení drůbeže

Souhrn

Kur domácí je nejčastěji chovaný druh ze skupiny hrabavé drůbeže. Pro chovatele je domácí drůbež zajímavá především svým krátkým generačním intervalem a vysokou intenzitou růstu. Pro produkci kuřecího masa se využívají brojleři. Jsou to rychle rostoucí kuřata, cíleně křížená k masné produkci. Většinou se jedná o hybridy, vzniklé tříliniovým křížením. Vlastní výkrm probíhá většinou turnusově ve velkokapacitních zařízeních a trvá 5 týdnů.

Pokus byl prováděn na základě použití 19 odrůd pšenice seté, zkrmované kohoutkům hybridní kombinace ROSS 308 v 35 dnech věku o živé hmotnosti 2,4 kg. Každá z testovaných krmných směsí byla podávána 4 kuřecím brojlerům po dobu min 3 dnů ad-libitum. Poté byla zvířata odporážena a odebrán obsah ilea.

Průměrná stravitelnost škrobu všech odrůd pšenice byla 82,17 %. Z toho nejnižší stravitelnost škrobu měla pšenice odrůdy Yetti, konkrétně vzorek Yetti 2 – 44,86 % a nejvyšší hodnotu stravitelnosti měla pšenice odrůdy Bonanza, vzorek Bonanza E – 98,43 %. Nejvyšší průměr stravitelnosti měla skupina pšenic in vivo extrudovaných – 89,61 %, nejnižší průměr měla skupina pšenic in vitro extrudovaných – 70,50 %.

Z výsledků práce vyplývá, že je nutné klást důraz na výběr odrůdy pšenice, ze které je sestavována krmná směs pro drůbež.

Klíčová slova: stravitelnost, škrob, pšenice setá, kuřecí brojler, in vitro

Wheat starch in vitro digestibility in relation to digestion of poultry

Summary

The domestic hens are the most frequently breed species from all of the poultry. They are under the high interest of the breeders from the point of short generation interval and very high growth rate. So called broilers are used especially for the production of the chicken meat. These fast-growing types of chicken is targeted primarily to the meat production. Such special hybrid kind was created mostly via three-lines crossing process. The fattening process is usually carried out in large-capacity facilities in turn of 5 weeks.

The experiment was performed using 19 lines of sown wheat fed to the cub roosters of hybrid combination ROSS 308 at 35 days of age of the roosters with a live weight of 2.4 kg. Each of the feed mixtures was tested in sample of 4 chicken broilers for a minimum of 3 days ad-libitum. The animal-specimens were after-while slaughtered and the amount of the ilea was monitored.

The average starch digestibility of all wheat types was about 82.17 %. The lowest digestibility of starch was found with wheat of the Yetti variety, namely the Yetti sample (about 2 - 44.86 %). The highest digestibility value was monitored with the Bonanza type of wheat (the Bonanza E sample - 98.43 %).

The highest digestibility in average was the in vivo extruded wheat group (about 89.61 %) and the lowest in vitro extruded wheat group (70.50%).

With respect to the results of the work, it is necessary to focus on the correct selection of the wheat type from which the feed mixture for poultry is assembled

Keywords: digestibility, starch, common wheat, chicken broiler, in vitro

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Trávicí trakt drůbeže (Tuláček 2002).....	4
Obrázek 2: Obilka pšenice – řez (Zimolka et al. 2005).....	19
Obrázek 3: Celkový přehled stravitelnosti škrobu in vivo	28
Obrázek 4: Přehled stravitelnosti škrobu u neupravených vzorků in vivo	29
Obrázek 5: Přehled stravitelnosti škrobu u extrudovaných vzorků in vivo	31
Obrázek 6: Celkový přehled stravitelnosti škrobu in vitro	33
Obrázek 7: Přehled stravitelnosti škrobu u neupravených vzorků in vitro	34
Obrázek 8: Přehled stravitelnosti škrobu u extrudovaných vzorků in vitro	35
Obrázek 9: Analýza lineární regrese vztahu in vivo x in vitro všech odrůd pšenic	36
Obrázek 10: Analýza lineární regrese vztahu in vivo x in vitro neupravených pšenic.....	37
Obrázek 11: Analýza lineární regrese vztahu in vivo x in vitro extrudovaných pšenic.....	38

Seznam tabulek:

Tabulka 1: Celkový přehled stravitelnosti škrobu in vivo	27
Tabulka 2: Přehled stravitelnosti škrobu u neupravených vzorků in vivo	29
Tabulka 3: Přehled stravitelnosti škrobu u extrudovaných vzorků in vivo	30
Tabulka 4: Celkový přehled stravitelnosti škrobu in vitro	32
Tabulka 5: Přehled stravitelnosti škrobu u neupravených vzorků in vitro	33
Tabulka 6: Přehled stravitelnosti škrobu u extrudovaných vzorků in vitro	34
Tabulka 7: Základní popisné statistiky stravitelnosti škrobu	35

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíle práce	2
2.1	Vědecká hypotéza	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Hrabavá drůbež	3
3.1.1	Brojleři.....	3
3.2	Trávicí soustava drůbeže	3
3.3	Výživa a krmení hrabavé drůbeže	5
3.4	Trávení	6
3.4.1	Stravitelnost.....	6
3.4.1.1	Bilanční stravitelnost.....	6
3.4.1.2	Skutečná stravitelnost.....	6
3.4.1.3	Fekální stravitelnost	7
3.4.1.4	Ileální stravitelnost.....	7
3.4.2	Stravitelnost škrobu obecně	7
3.4.2.1	Rezistentní škrob	8
3.4.2.2	Trávení škrobu u drůbeže.....	9
3.4.2.3	Trávení škrobu u brojlerů	10
3.4.2.4	Fyziologické odlišnosti trávení škrobu	10
3.4.2.5	Faktory zlepšující stravitelnost škrobu	11
3.4.2.6	Účinek doplňkové α -amylasy	12
3.4.3	Metabolizovatelná energie	12
3.4.3.1	Hodnoty metabolizovatelné energie.....	13
3.5	Škrob	14
3.5.1	Škrobová zrna	15
3.5.2	Frakce škrobu.....	16
3.5.2.1	Amylosa.....	16
3.5.2.2	Amylopektin	16
3.5.3	Nejčastěji používané plodiny ve výživě zvířat.....	17
3.5.3.1	Brambory.....	17
3.5.3.2	Luskoviny.....	17
3.5.3.3	Obiloviny	17
3.6	Pšenice	18

3.6.1	Klasifikace	18
3.6.2	Využití.....	19
3.6.3	Struktura pšenice	20
3.6.3.1	Fyzikální struktura	21
3.6.3.2	Chemická struktura	21
3.6.3.3	Krmná hodnota pšenice	21
3.6.4	Pšeničný škrob	22
4	Metodika	23
4.1	Bilanční pokus na kuřecích brojlerech	23
4.2	Stanovení oxidu chromitého	23
4.3	Stanovení škrobu.....	24
4.3.1	Stanovení škrobu ze vzorků trávěn.....	24
4.3.2	Stanovení škrobu ze vzorků krmiva	25
4.4	In vitro	25
5	Výsledky	27
5.1	Pšenice – stravitelnost škrobu	27
5.2	Statistické vyjádření výsledků	35
6	Diskuze	39
7	Závěr	41
8	Literatura.....	42

1 Úvod

Kur domácí je nejčastěji chovaný druh ze skupiny hrabavé drůbeže. Pro chovatele je domácí drůbež zajímavá především svým krátkým generačním intervalem a vysokou intenzitou růstu. Hlavním cílem jejich chovu je produkce masa a vajec. Obě tyto komodity hrají významnou roli v lidské výživě. A to nejen pro svojí nespornou kvalitu a dietetickou hodnotu, ale i z důvodů přijatelné cenové dostupnosti.

Pro produkci kuřecího masa se využívají brojleři. Jsou to rychle rostoucí kuřata, cíleně křížená k masné produkci. Většinou se jedná o hybridy, vzniklé tříliniovým křížením. Vlastní výkrm probíhá většinou turnusově ve velkokapacitních zařízeních a trvá 5 týdnů. Za posledních 30 let se výkrm zkrátil o celé 2 týdny. Hlavním důvodem proč se snažit o zkrácení doby výkrmu je ekonomika. Čím kratší je doba výkrmu, tím se zvyšuje počet turnusů a na výkrm jednoho zvířete se podstatně snižují výrobní náklady, například materiál, mzdy, energie, odpisy nebo režijní náklady. V důsledku toho se jednak zvyšuje rentabilita vlastního chovu a zároveň snižuje cena pro cílového spotřebitele.

Z ekonomického hlediska jsou neméně důležité náklady na krmení. Pokud chceme dosáhnout efektivního a výdělečného chovu, k otázce krmení musíme přistupovat velmi zodpovědně a s ohledem na nejnovější vědecké poznatky. Cesta ke snižování nákladů na krmiva na jednotku produkce je v efektivitě jejich využití. Což znamená zajistit co největší míru stravitelnosti a využitelnosti živin. Z tohoto důvodu jsou prováděny výzkumy stravitelnosti jednotlivých složek krmné dávky drůbeže. V této práci konkrétně se zaměřím na stravitelnost škrobu pšenice, jakožto hlavního zdroje výživy drůbeže.

2 Cíle práce

Cílem práce bylo stanovení in vitro stravitelnosti u různých odrůd pšenice seté. Konkrétně se práce zaměřovala na míru stravitelnosti škrobu z pšenice seté a to u kuřecích brojlerů.

2.1 Vědecká hypotéza

In vitro stanovení stravitelnosti je v úzké korelaci s nativním trávením.

3 Literární rešerše

3.1 Hrabavá drůbež

Hrabavá drůbež jsou zdomácnění ptáci, mezi které řadíme slepice (kur domácí), krůty, perličky, japonské křepelky a pávy. Je to skupina, která je charakteristická svým krátkým generačním intervalem, který umožňuje velmi rychlý postup ve šlechtění a líhnutí jakéhokoli množství mláďat v kteroukoli roční dobu. Ve své práci se zaměřuji na skupinu kur domácí, konkrétněji na rychle vykrmovaná kuřata, nazývané brojleři.

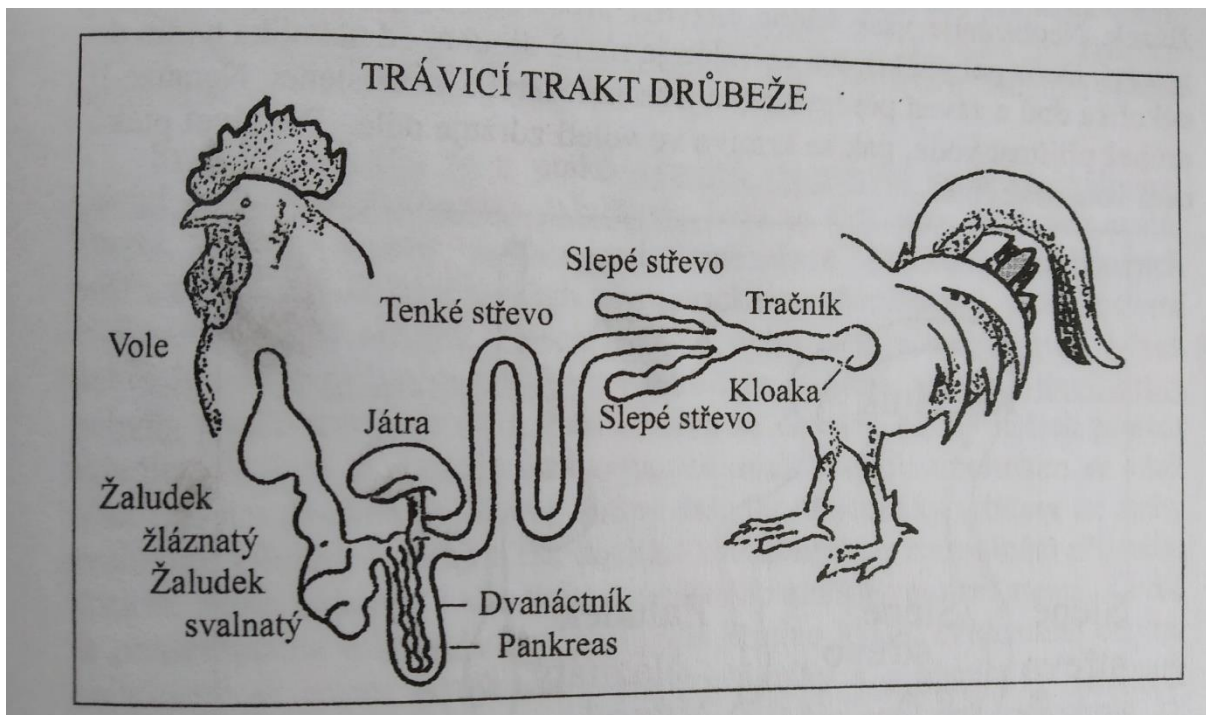
3.1.1 Brojleři

Brojleři jsou odvětví drůbeže, které v posledních 50 letech prodělalo v celkovém světovém měřítku velmi rychlý rozvoj, a to jak v kvantitě, tak i v kvalitě. Až do šedesátých let 20. století byly v České republice hlavním zdrojem drůbežního masa husy (Tuláček 2002). Jejich počet v současné době klesnul hlavně z důvodu preference méně tučného masa.

U vykrmovaných brojlerů hovoříme většinou o tříliniových hybridech. Používané chovné linie musejí u chovu zajistit kromě růstu i dobrou reprodukci, tedy oplození a líhivost, aby byl zajištěn dostatek kuřat pro výkrm. Finální hybrid – brojler – by měl vyhovovat těmto požadavkům: rychlý růst, dobré využití krmiva, vysoká vitalita (malé úhyny), žlutá pokožka, zobák a běháky, bílé opeření, dobrá zmasilost. V České republice se k výkrmu nejvíce používají hybridy anglické firmy Ross (Tuláček 2002).

3.2 Trávicí soustava drůbeže

Většina informací týkající se trávení a trávicí soustavy drůbeže jsou sepsané z publikací (Marvan et al. 1992; Zelenka 1998; Reece 2001; Jelínek et al. 2003; a Kováčik et al. 2015). Přes značné morfologické a funkční odlišnosti, které má trávicí soustava ptáků od savců, tak i u drůbeže podléhá přijatá potrava mechanickému, chemickému i mikrobiálnímu působení, stejně jako u savců. Z anatomického hlediska trávicí soustava ptáků začíná zobákem, pokračuje přes hltan, jícn, vole, žláznatý a svalnatý žaludek, tenké a tlusté střevo, párové slepé střevo a zakončena je kloakou. Z hlediska morfologického uspořádání je zde několik funkčních odlišností. Ptáci se vyznačují velkou rychlostí procesů trávení a vstřebávání. Z tohoto důvodu je žádoucí podávat krmivo s nízkým obsahem vlákniny. S rychlým trávením je spojena i vyšší intenzita látkového a energetického metabolismu.



Obrázek 1: Trávicí trakt drůbeže (Tuláček 2002)

Zobák neboli zobáková dutina slouží stejně jako ústní dutina u savců především k příjmu, drcení a polykání potravy (Reece 2011). Jazyk má funkci stejnou, avšak u ptáků není tak výrazně svalnatý. Zobák a hltan nejsou nijak výrazně odděleny, tudíž v podstatě tvoří jednotnou dutinu. Přejchod mezi hltanem a žláznatým žaludkem tvoří jícen, který můžeme přirovnat k silně roztažitelné trubici, která se před vstupem do hrudníků na pravé straně vychlípí a tvoří vakovité vole (Marvan et al. 1992).

Vole srůstá vnější stranou s kožním svalem, který umožňuje jeho rozšíření při plnění krmivem. Mucinózní žlázy volete neobsahují enzymy. Vyskytují se zde pouze enzymy rostlinného a bakteriálního původu, které se do těla dostávají s přijatou potravou a alfa-amylázou slin. Tyto enzymy mohou potravu trávit pouze částečně. Ve voleti se vyskytují bakterie, které tráví část škrobu na maltózu a glukózu. Z celkového přijatého škrobu se zde stráví 15-20 %. Při trávení škrobu se uvolňuje glukóza. Tu, spolu s jednoduchými cukry uvolněnými z krmiva, zkvašuje mikroflóra na těkavé mastné kyseliny (k. octová, k. propionová, k. máselná), kyselinu mléčnou a alkohol. Produkty kvašení se mohou dále resorbovat do krve a organismus je využívá jako zdroj energie.

Velkým rozdílem mezi ostatními zvířaty a ptáky je žaludek. Žaludek domácích ptáků tvoří dvě anatomicky i funkčně rozdílné části – žláznatý žaludek, v němž začíná enzymové trávení, a svalnatý žaludek, který je přizpůsoben k mechanickému zpracování potravy. První, žláznatý žaludek je málo roztažitelný, u dospělého kura cca 2 cm silný a 4–5 cm dlouhý orgán, ve kterém je potrava zpracovávána chemickou cestou. Jeho sliznice je poseta desítkami bradavek, na jejichž konci vyúsťují žaludeční žlázy, které tvoří většinu části žláznatého žaludku a zároveň buňky těchto žláz secernují pepsinogen, mucin a kyselinu chlorovodíkovou. Převážnou část levé poloviny tělní dutiny vyplňuje žaludek svalnatý, který zároveň přejímá žvýkací funkci zubů. Pro svalnatý žaludek je typicky charakteristická mohutná hladká svalovina a na povrchu sliznice tlustá a tvrdá kutikula, která napomáhá drcení a mechanickému zpracování potravy natrávené ve voleti a žláznatém žaludku. Ve svalnatém žaludku nedochází k trávení pouze bílkovin, které vychází z působení pepsinu produkovaného žláznatým žaludkem, ale dochází zde zčásti i k trávení sacharidů a lipidů. Ve svalnatém žaludku jsou přítomny enzymy trávicích šťáv, které zvyšují stravitelnost krmné dávky (Tuláček 2002).

Pro usnadnění drcení potravy a mlecí funkce žaludku, polykají ptáci drobné kaménky. Tyto kaménky nazýváme grit. Ptáci je zadržují ve svalnatém žaludku, kde po dobu nepřístupu k dalším kaménkům vydrží dlouhou dobu, po kterou vykonávají mlecí funkci a poté odcházejí ven z těla s výkaly.

Trávení v tenkém střevě se principiálně neliší od trávení ve střevě savců. Větší rozdíl nastává u pankreatu a jater. Ty jsou u ptáků mnohem více vyvinuté (Jelínek et al. 2003; Kováčik et al. 2015).

Dalším rozdílem mezi trávicím traktem savců a ptáků je to, že ptáci mají klky i v tlustém střevě. Ve srovnání se střevem tenkým zde probíhá asi poloviční vstřebávání živin. Tlusté střevo ptáků se skládá ze dvou střev slepých (*ceca*) a z krátkého přímého střeva (Zelenka 1998). Společným vyústěním trávicího, močového a pohlavního ústrojí je kloaka. Je to orgán členěný na nevýrazné oddíly, navenek se otevírající kloakálním otvorem se svěračem.

3.3 Výživa a krmení hrabavé drůbeže

Množství a kvalita přijímané potravy zásadně ovlivňují růst, vývin a produkci hrabavé drůbeže. Hlavní složkou krmné dávky je koncentrované jaderné krmivo, s malým obsahem vody, tj. převážně zrno nebo šroty obilovin. Objemná píče má malý obsah živin. Je-li hlavní

složkou krmné dávky, je zvíře nasyceno mechanicky, ale živin přijalo velmi málo, takže fyziologicky hladoví (Tuláček 2002).

Zajištění základních funkcí všech živých organismů je podmíněno dostatečným příjmem pohotových živin. Zdrojem těchto živin jsou krmiva a drůbež je využívá pro syntézu svých produktů – masa a vajec (Kodeš 2003). Aby přijaté živiny mohly být drůbeží využity, v trávicím traktu musejí být rozštěpeny na vstřebatelné součásti a tráveny.

Spotřeba krmiva na 1 kg vajec nebo 1 kg hmotnosti při výkrmu je ukazatelem hospodárnosti výroby. Při výkrmu celková spotřeba krmiva klesá se zkrácením doby výkrmu. O efektivnosti krmné dávky rozhoduje kvalita použitých krmiv. Kombinace krmiv v krmné dávce se má obsahem živin maximálně přibližovat požadavkům drůbeže, které stanovuje krmná norma (Tuláček 2002).

3.4 Trávení

3.4.1 Stravitelnost

Stravitelnost živin z jednotlivých krmiv je u drůbeže značně rozdílná. U základních komponentů koeficienty bilanční stravitelnosti kolísají nejčastěji v rozpětí 60 – 80 % u dusíkatých látek, 50 – 80 % u tuku, 10 – 25 % vláknina a 70 – 90 % u BNLV (Kodeš et al. 2003).

3.4.1.1 Bilanční stravitelnost

Bilanční stravitelnost zjistíme tehdy, když od obsahu aminokyselin krmiva odečteme celý obsah živin ve výkalech. Zanedbává se přitom vliv AMK endogenního původu, jako jsou trávicí enzymy, hlen, odloupaný epitel (Zelenka & Zeman 2006; Zeman et al. 2006).

3.4.1.2 Skutečná stravitelnost

Při zjišťování skutečné stravitelnosti se bilanční stravitelnost koriguje podle množství aminokyselin endogenního původu, stanoveného při zkrmování bezdusíkaté diety. Skutečná stravitelnost je vždy vyšší, než stravitelnost bilanční, je konstantní a nezávislá na příjmu aminokyselin (Zelenka & Zeman 2006).

3.4.1.3 Fekální stravitelnost

Aminokyseliny z krmiva jsou vstřebávány v tenkém střevě. Vlivem činnosti mikroorganismů, působících především ve slepých střevech, je obsah AMK ve výkalech jiný, než v trávenině na konci tenkého střeva. Proto u drůbeže rozlišujeme stravitelnost fekální a ileální (Zelenka & Zeman 2006).

Fekální stravitelnost AMK určuje rozdíl obsahu AMK v krmivu a obsah AMK vyloučených ve výkalech. Není dobrým ukazatelem jejich využitelnosti, proto se zjišťuje ileální stravitelnost.

3.4.1.4 Ileální stravitelnost

Ileální stravitelnost měří vstřebávání AMK jako rozdíl mezi přijatým množstvím a množstvím v trávenině na konci tenkého střeva. Při zjišťování ileální stravitelnosti se pokusným zvířatům se chirurgicky odstraní slepá střeva. Stravitelnost AMK lze u drůbeže také zjistit na základě analýzy tráveniny, propláchnuté destilovanou vodou, bezprostředně po porážce zvířete. Trávenina se odebírá z distální poloviny kyčelníku nebo je získána z píštěle na konci ilea (Zelenka & Zeman 2006).

3.4.2 Stravitelnost škrobu obecně

Stravitelností škrobu se zabýval ve své studii Svihus (2014). Z výsledků jeho práce vyplývá, že vysoce organizovaná struktura představuje jistou výzvu při trávení škrobu a proto je přirozený škrob mnoha druhů neúplně trávený. S rychlostí štěpení škrobu nepřímo souvisí stupeň jeho krystalinity. Pomalá stravitelnost nativního škrobu souvisí s uspořádáním struktury střídavých krystalických a amorfních vrstev v škrobových granulích. Trávení škrobových granulí začíná na povrchových pórech a vnitřních kanálech, což umožňuje, aby se α -amylasa dostala do nitra a postupně rozkládala granule zevnitř.

Když přirozený (nativní) škrob vystavíme vysokým teplotám s přítomností vody, granulovaná struktura se v procesu, nazývaném želatinace rozpadne a škrob se přemění na amorfní vodorozpustnou hmotu. Při nadměrném obsahu vody (např. nad 40 %) se teplota želatinace u většiny obilných škrobů pohybuje mezi 50 – 70 °C (Svihus 2014). Želatinizační proces činí molekuly škrobu dostupnější pro α -amylasu, což usnadňuje štěpení škrobu. K trvalému zlepšení stravitelnosti škrobu však nedochází u všech druhů (např. u brojlerů, krmných škrobem, který byl úplně želatinizován v procesu extruze). Několik výzkumů, o kterých se

Svihus (2014) zmiňuje ve své studii, používalo enzymatické nebo kalorimetrické metody a ukázalo se, že vzhledem k obsahu vlhkosti a mírným teplotám během konvenčního peletování dochází pouze k malé míře želatínace škrobu, pohybující se v rozmezí od 5 do 30 %. Z výsledků studie Svihus (2014) tedy vychází, že mezi krmivem běžným, nezpracovaným krmivem a krmivem zpracovaným v expandéru a následně peletovaným, nejsou u brojlerů pozorovány žádné významné rozdíly ve stravitelnosti. Ačkoli úplná želatínace způsobená extruzí zlepšila stravitelnost v pšeničné dietě, vykazující nízkou stravitelnost.

Jeden z hlavních faktorů ovlivňujících stravitelnost škrobu a jeho fyziologické vlastnosti je poměr amyloza:amylopektin. Jak již bylo uvedeno výše, škrob se v rostlinách vyskytuje v podobě granulí. V těchto granulích je škrob pevně zabalený a je relativně dehydratovaný. Tato kompaktní molekulární struktura omezuje dostupnost trávicím enzymům, některým amylázám a vysvětluje odolnost surových škrobových granulí. Granule škrobu jsou narušeny zahříváním v nadměrném množství vody v procesu želatínace, což činí molekuly plně přístupné trávicím enzymům. Typický škrob hydratuje při teplotě 40 – 120°C, v závislosti na zdroji škrobu a obsahu amylozy (Haralampu, 2000).

Aby byl škrob snadno stravitelný, musí být:

- A. Amorfní (zejména fyzicky poškozený/poškoditelný nebo želatínový) ne krystalický
- B. Volně přístupný trávicím enzymům (not entrapped in foodfeed particles)
- C. V malých částicích
- D. Nespojen s jinými molekulami za vzniku asociace nebo komplexů (př. amyloso-lipidový komplex)
- E. V chemicky neupravené formě, která brání tomu, aby působil jako substrát pro amylasy.

Pokud jsou všechna tato základní kritéria, převzaná z výsledků studie Haralampu (2000) splněna, má zdravý trávicí systém větší možnost převést škrob plně na glukosu.

3.4.2.1 Rezistentní škrob

Obecně se jako zdroje odolného (rezistentního) škrobu (RS) využívají škroby s vysokým obsahem amylozy, zatímco plně želatínované waxy škroby slouží jako zdroj rychle stravitelného škrobu (RDS), (Lehmann & Robin 2007).

Rezistentní škrob není rychle stravitelný jako běžný škrob. To však nemusí být jen nevýhodou, ale jeho fyziologické přínosy mohou mít i své potencionální využití (Lehmann & Robin 2007; Haralampu, 2000). Podle Haralampu (2000), je RS definován jako zlomek škrobu, který uniká trávení v tenkém střevě a může být tráven ve střevě tlustém. K odolnosti proti trávení škrobu přispívá řada faktorů, které daly vznik čtyřem kategoriím rezistentního škrobu, z nichž každá má podobné rezistentní vlastnosti.

RS1: physically inaccessible to digestion by entrapment in a non-digestible matrix

RS2: ungelatinized starch

RS3: retrograded starch

RS4: chemical modified starch

3.4.2.2 Trávení škrobu u drůbeže

Veškeré informace o trávení škrobu u drůbeže a konkrétně u brojlerů jsou převzaté od autora Svihus (2004), který se touto problematikou podrobně zabýval ve svém odborném článku.

Škrob je kvantitativně nejdůležitější živinou v drůbežích dietách a to především u mladých ptáků. U těch je omezená kapacita trávení tuku a škrob zastupuje hlavní zdroj energie. Ostatní potencionální energetické zdroje cukru a bílkovin nejsou z technického a ekonomického hlediska jako primární zdroj energie vhodné. V důsledku velmi omezené míry želatinizace během peletování bývá do značné míry přítomen jako neporušené (intaktní) škrobové granule. Přestože je přirozený škrob kvůli své polo-krystalické struktuře obtížně stravitelný, zdá se, že i rychle rostoucí kuřata brojlerů dokáží tento škrob více či méně úplně strávit již v jejunu. Svihus (2014), který se touto problematikou zabýval ve své studii, zjistil, že zejména v peletovaných dietách, obsahujících velké množství pšenice, byla stravitelnost škrobu výrazně snížena. Dále zjistil, že i další vlastnosti škrobových granulí, jako je jejich velikost nebo složky na povrchu granulí, mohou také ovlivnit stravitelnost, a to z důvodu zachycení škrobových granulí v buněčných stěnách. Ještě většími faktory, bránícími v trávení škrobu, mohou být proteinové matrice. V takovém případě to, a skutečnost, že sekrece amylázy je u drůbeže normálně velmi vysoká, může vysvětlit nedostatek přesvědčivých účinků exogenní α -amylasy přidané do stravy (Svihus 2014).

3.4.2.3 Trávení škrobu u brojlerů

Škrob je v drůbeží dietě do značné míry přítomen ve formě nativních škrobových granulí. U rychle rostoucích kuřat brojlerů, které konzumují velké množství škrobu, lze podle výše popsaného digestivního procesu očekávat jeho nízkou stravitelnost. Nicméně i u mladých brojlerů je běžně pozorována vysoká stravitelnost škrobu. Kuřata se rychle přizpůsobují štěpení škrobu, díky vysokým hladinám aktivity disacharidázy a α -amylasy již druhý den po vylihnutí. Koeficient celkového stravitelného škrobu u kuřat brojlerů překročil 0,96 ve věku 3 dnů. Bylo také zjištěno, že stravitelnost škrobu se lineárně snížila ($P < 0,01$) se stoupajícím věkem u rychle rostoucích kuřat brojlerů, ale nikoliv u pomalu rostoucích kuřat nosnic. Stravitelnost škrobu u kuřat brojlerů klesá ve věku 5 – 7 dní a na normální úroveň je opět obnovena 14. den.

Vysoká kapacita drůbeže pro trávení škrobu je opravdu působivá, a to i u kuřat brojlerů, kde peletovaná výživa a vysoká chuť k příjmu potravy vedou k tomu, že materiál prochází zažívacím traktem za méně než 5 hodin. To znamená, že za méně než 5 hodin musí být škrobové granule uvolněny z okolních bílkovin a buněčných stěn, úplně navlhčeny a následované úplnou degradací kaskádami amyláz. Nakonec vzniká glukosa, která musí být absorbována. Tento proces je obzvláště působivý, protože in vitro studie ukázaly, že neporušené normální škrobové granule po předběžné úpravě napodobují proces preintestinálního lidského trávení a jsou neúplně štěpeny i po 4 hodinách za podmínek, napodobujících tenké střevo. Kapacita kuřat brojlerů na trávení i nezpracovaných škrobových složek je ilustrována i na skutečnosti, že i když byly do diety použity celé neošetřené obiloviny ve velkém množství, stále byla stravitelnost škrobu velmi vysoká.

3.4.2.4 Fyziologické odlišnosti trávení škrobu

Stravitelnost škrobu byla založena na analýzách obsahu, shromážděných z ileálního segmentu. Znamená to, že celý proces štěpení škrobu a absorpce glukosy se uskutečňuje během krátkého retenčního času (cca 1 hodina) v dvanáctníku a v jejunu.

Kapacita trávení nativního škrobu je ve srovnání s jinými druhy, jako jsou prasata nebo lidé, velmi vysoká. Pravděpodobně je to způsobeno vysokou sekrecí amylolitických enzymů skrze pankreatickou šťávu. Několik studií se zabývalo porovnáváním hladiny pankreatické a střevní α -amylasy mezi volně žijícími ptáky a komerčními kuřecími brojlery a zjistily, že u brojlerů jsou hladiny α -amylasy výrazně vyšší. U duodenální a jejunální α -amylasy byly hladiny na 1

gram obsahu vyšší až trojnásobně. Pravděpodobná příčina vysokých hladin glukooamylasy a α -amylasy ve střevním traktu brojlerů je velmi vysoká aktivita jejuna a nízká aktivita ilea. Směrem k ileu se aktivita α -amylasy snižuje. Proto se jejunum předpokládá za hlavní místo stravitelnosti škrobu u brojlerů.

I ve stravitelnosti škrobu se však vyskytují odchylky, které jsou ovlivněny druhy obilovin, odrůdami, a to jak v rámci druhu, tak mezi jednotlivými ptáky. Z toho vychází, že všechny faktory, které jsou vlastní obilovinám a ptákům, ovlivňují stravitelnost škrobu.

3.4.2.5 Faktory zlepšující stravitelnost škrobu

Je zřejmé, že vlastnosti přijímaného škrobu v potravě ovlivňují stravitelnost. Řada experimentů udává, že reakce na glukosu a stravitelnost škrobu se liší podle zdroje škrobu (Svihus 2014). Jako potencionální příčiny nízké stravitelnosti škrobu se udává poměr mezi amylosou a amylopektinem, obsah a vlastnosti bílkovin, lipidů a fosfátů na povrchu granulí a hlavně velikost škrobových granulí. Například menší granule škrobu u ovsu a rýže jsou lépe stravitelné než větší u pšenice.

Nejnižší hodnotou stravitelnosti z obilovin, používaných v dietách drůbeže má pšenice. K získání lepší stravitelnosti přispívá přidání enzymů do krmiva. Pro zvýšení stravitelnosti pšeničného škrobu se do diet přidává enzym xylanasa.

Nízkou stravitelnost pšeničného škrobu lze přiřadit problémové přístupnosti škrobu z pšeničného endospermu. Jedním z možných příznivých účinků přidávání enzymů je to, že enzymy degradují buněčné stěny a tím zvyšují přístupnost ke škrobu a dalším živinám v buňce endospermu. Tuto hypotézu Svihus (2014) porovnával s předešlými studiemi, ve kterých přidání xylanasy zlepšilo obsah metabolizovatelné energie (ME) v tvrdé pšenici, ale ne v pšenici měkké. Došel k závěru, že nízká stravitelnost škrobu závisí na tvrdosti pšenice a dále zkoumal příčiny nízké stravitelnosti škrobu u odrůd tvrdé pšenice. Na základě analýzy velikosti částic a mikroskopie ileálního obsahu zjistil, že velká část nestráveného škrobu byla zachycena v materiálech buněčné stěny, zejména v oblasti endospermu, poblíž aleuronové vrstvy.

Je pravděpodobné, že krátká doba trávení u brojlerů může být za určitých okolností jednou z příčin narušeného trávení škrobu. Pro zlepšení stravitelnosti krmiva s nízkou stravitelností je dobré snížit přívod krmiva změnou stravovací formy a to z pelet na kaši. To naznačuje, že přívod krmiva může nepřímo korelovat se stravitelností škrobu. Několik studií již dříve

poukázalo na významnou negativní korelaci mezi příjmem krmiva pro jednotlivé ptáky na stejné stravě a stravitelnosti škrobu nebo hodnotě AME.

3.4.2.6 Účinek doplňkové α -amylasy

Na rozdíl od většiny savců, drůbež uvolňuje dostatečné množství α -amylasy a jejím přidáním do krmiva se stravitelnost škrobu nezvyšuje. α -amylasa je vhodná pro zvýšení nárůstu hmotnosti přírůstků nebo pro zlepšení využití živin (Svihus 2014).

3.4.3 Metabolizovatelná energie

Výživná hodnota krmiv je vyjádřena obsahem energie, živin a všech ostatních látek, dále fyzikálními, chemickými i dietetickými vlastnostmi a působením krmiva na organismus zvířete (Zeman et al. 2006). Každou živinu z přijatého krmiva, která není vyloučena výkaly, lze označit jako živinu stravitelnou. Veškeré strávené živiny jsou popisovány pomocí metabolizovatelné energie (ME).

Zdrojem energie pro zvířata jsou především sacharidy a tuky, v menší míře i bílkoviny. Energie potřebná pro drůbež i její obsah v krmivech se vyjadřuje v hodnotách bilančně metabolizovatelné energie opravené na dusíkovou rovnováhu, značenou ME_N nebo ME_n . Tato energie se uvádí v kilojoulech (kJ) nebo megajoulech (MJ) (Zelenka & Zeman 2006).

Metabolizovatelná energie se vypočítá odečtením spalného tepla trusu od brutto energie krmiva, která se stanoví spálením vzorku v kalorimetru (Zeman et al. 2006). ME krmné směsi lze také orientačně odhadnout a to podle chemickým rozbořem zjištěného obsahu tuku, dusíkatých látek (NL), škrobu a cukru. Odhad se počítá podle rovnice doporučené pracovní skupinou pro výživu při Evropské federaci Světové drůbežnické vědecké společnosti (WPSA); $ME_N (MJ/kg) = 34,31 * tuk (g/g) + 15,51 * NL (g/g) + 16,69 * škrob (g/g) + 13,01 * cukr (g/g)$ (Zelenka & Zeman 2006).

Rovnice pro odhad ME vychází z předpokladu, že stravitelnost jednotlivých živin je ve všech krmivech stejná.

V Evropských tabulkách energetických hodnot krmiv pro drůbež, vydaných WPSA lze nalézt také rovnice pro odhad metabolizovatelné energie jednotlivých komponent krmných směsí (Zelenka & Zeman 2006).

Termín ME, používaný ve výživě drůbeže, je spíše obecný než specifický. Existují 4 typy hodnot ME a často je těžké rozlišit, který typ je zrovna zmiňován (Haresign et al. 1979;

Zeman et al. 2006). Hodnoty konkrétního typu se mohou lišit podle postupů stanovení, používaných při jejich odvozování. Ve výživě drůbeže je žádoucí přijmout jedinou hodnotu ME a používat standardizovaný postup pro její měření.

V pokusech se zvířaty se pro stanovení ME používá klasická nebo indikátorová metoda. Obě metody lze použít k přímému i diferenčnímu stanovení stravitelnosti (Zeman et al. 2006). Dále je možné stanovovat stravitelnost metodou in vitro v laboratoři.

3.4.3.1 Hodnoty metabolizovatelné energie

3.4.3.1.1 Zdánlivě metabolizovatelná energie

Zdánlivě metabolizovatelná energie (AME), někdy označována jako klasická ME, je rozdíl mezi energií krmiva a energií stolice + moči (Haresign & Lewis 1979; Zelenka & Zeman 2006; Zeman et al. 2006), u drůbeže kombinované jako jediné exkrece. Energie ztracená ve formě plynů, uvolněných při trávení, je nevýznamná a proto může být ignorována (Haresign & Lewis 1979).

3.4.3.1.2 Zdánlivá dusíkatá energetická bilance

Zdánlivá dusíkatá energetická bilance (AME_n), je nejběžněji používaný odhad metabolizovatelné energie. Od AME se liší provedením korekce zadržování dusíku (NR), které může být pozitivní nebo negativní. Zastánci korekce tvrdí, že při katabolizaci se dusík z těla vylučuje jako produkt obsahující energii a je žádoucí přivést AME data na základ rovnováhy dusíku. Na tomto základě byl u kuřat zaveden korekční faktor 34,4 kJ/g zadrženého dusíku. Jedná se o hodnotu GE kyseliny močové, která je principiálním faktorem vylučování dusíku o koncentraci 36,5 kJ/g dusíku, který přesněji popisuje hodnotu GE dusíku v moči kuřat. Bohužel se používají oba faktory, což přispívá k některým změnám mezi údaji AME_n (Haresign & Lewis 1979).

3.4.3.1.3 Skutečná metabolizovatelná energie

Skutečná metabolizovatelná energie (TME) je termín, používaný k popisu odhadu ME, u které je provedena korekce pro metabolickou fekální (FE_m) a endogenní močovou (UE_e) energii. Haresign & Lewis (1979), kteří se touto problematikou podobně zabývali ve své studii popisují, že FE_m je energie z té části stolice, která je odlišná od zbytků krmiva. Tato část stolice představuje odřeny střešní sliznice, žluč a trávicí tekutiny. Dále uvádějí, že UE_e

udává hodnotu části močové energie, která nemá přímý původ z krmiva. Společně hodnoty $FE_m + UE_e$ představují „náklady na údržbu“, které by neměly být, oproti krmivu, započítávány. Korekce pro $FE_m + UE_e$ má několik důležitých účinků. Teoretická data ukazují, že hodnoty AME a AME_n se liší s příjmem krmiva, zatímco hodnoty TME by na této proměnné měly být nezávislé. Ve standardizovaných podmínkách je vylučování $FE_m + UE_e$ konstantní. Pokud je příjem krmiva dostatečný, je ztráta energie ve formě $FE_m + UE_e$ poměrně malá, ale pokud dojde k poklesu příjmu krmiva, stává se ztráta této energie významnější a zároveň snižuje hodnotu AME. Problémy se změnou příjmu krmiva jsou důležité při testování krmiv s nízkou chutností, protože jsou obvykle zahrnuty do testovacích dat ve vysokých mírách, aby se snížila experimentální variace (Haresign & Lewis 1979).

Z výsledků studie Haresign & Lewis (1979) vychází, že celkové množství potřebné energie na záchovu konkrétního jednatlivce se liší v závislosti na jeho metabolismu, jeho fyzickém stavu a prostředí, ve kterém je udržován. Je rozumné předpokládat, že tyto faktory ovlivňují také produkci $FE_m + UE_e$ a tedy i hodnoty AME a AME_n . Měření hodnoty TME kontroluje alespoň částečně účinky těchto proměnlivých a udává přesnější údaje.

3.5 Škrob

Sacharidy jsou nejrozšířenější organické látky v přírodě. V živočišných buňkách tvoří 2 – 3 % sušiny a v rostlinných až 80 – 90 % sušiny. Pro organismus jsou jedním z hlavních zdrojů energie, zásobními látkami, stavebním materiálem buněk a biologických membrán a zároveň zdroji uhlíku a uhlíkatých řetězců pro syntézu dalších organických sloučenin. Syntetizují se fotosyntézou v autotrofních organismech z CO_2 . Heterotrofní organismy získávají sacharidy z přijaté potravy a v těle je metabolizují podle vlastních potřeb.

Škrob je zásobní látka rostlin a zároveň jeden z nejdůležitějších energetických zdrojů vyšších rostlin (Marešová 2002). Škrob řadíme mezi polysacharidy, tedy sacharidy, skládající se z deseti a více monosacharidových jednotek. Z hlediska využitelnosti se škrob řadí mezi sacharidy využitelné, tedy sloužící jako zdroj energie (Vollmanova et al. 2018). Je to převládající polysacharid hlavně v zelenině, okopaninách a zároveň hlavní polysacharid všech obilnin. Jeho obsah v obilninách tvoří 50 – 80 % (McMaugh et al. 2014), přičemž s dozráváním se jeho obsah zvyšuje. V rostlinách se ukládá v semenech, hlízách, v kořenech, ale také v listech, plodech a bývá součástí pylu. Ve všech rostlinných částech je uložen ve

formě škrobových zrn, které lze izolovat (Marešová 2002). Škrob lze definovat jako bílý až žlutavý prášek, bez chuti a bez zápachu, sám o sobě nerozpustný ve studené vodě. Suchý škrob je vůči prostředí inaktivní a dá se lehce skladovat. Má schopnost bobtnat a za určitých teplot mazovatět. Jednotlivé druhy škrobu mají různou teplotu bobtnání a mazovatění (Zelenka et al. 1975).

3.5.1 Škrobová zrna

Jak již bylo zmíněno, škrobová zrna nalezneme v různých částech rostliny, uložené v endospermu. Každý druh rostliny má vlastní charakteristický tvar, velikost a strukturu škrobových zrn. Čistý škrob je složen z malých, mikroskopických škrobových zrn o různé velikosti a tvaru. Tvar, složení a velikost škrobových zrn jsou pro každou rostlinu natolik charakteristické, že se podle jejich vzhledu dá určit surovina, ze které škrob pochází. Vlastnosti zrn závisí nejen na genetice, ale v malé míře také na prostředí, kterým jsou obklopeny během růstu (Marešová 2002).

Jako první při vývoji endospermu vnikají největší A-zrna. Mají lentikulární (tj. čočkovitý) tvar a dosahují velikosti od 10 μm do 50 μm . Při pozdějším vývoji zrna se tvoří menší, více sférické B-zrna o velikosti do 10 μm . Jako poslední vznikají nejmenší C-zrna. Hlavním faktorem, určujícím distribuci škrobových zrn, je odrůda. Byla však nalezena závislost i na podmínkách vnějšího prostředí, kdy například při vyšších teplotách dochází ke zvýšení počtu A-zrn na úkor menších B-zrn (Papoušková 2012).

V mnoha dřívějších studiích byl zmíněn vliv distribuce velikosti škrobových částic v zrnu na fyzikální, chemické i užitkové vlastnosti pšeničného zrna. Pokud například převažuje počet velkých A-zrn, daná rostlina má větší výtěžnost škrobu a také je u tohoto typu škrobu uváděn vyšší obsah amylosy.

Úloha škrobů je založena na jejich funkčních vlastnostech, tj. hlavně na želatinizaci a reologických vlastnostech (Papoušková 2012). V každém druhu rostliny, jako například v obilovinách, hlízách či luštěninách, je jiný druh škrobu, ale všechny hrají důležitou roli ve vztahu k jejich vlastnostem a využití. Cereální škroby (kukuřičný, rýžový a pšeničný) obklopuje velké množství fospolipidů, zatímco v hlízách (bramborový škrob) byl hojně nalezený fosfor ve své esterifikované formě. Mezi nejběžnější a nejčastěji se vyskytující druhy škrobu patří škrob bramborový, kukuřičný a pšeničný (Marešová 2002).

3.5.2 Frakce škrobu

Z chemického hlediska je většina nativních škrobů směsí dvou homopolysacharidů, amylosy (15 – 25 %) a amylopektinu (75 – 85 %). Obě frakce jsou složeny z molekul α -D-glukopyranosy v C1 konformaci (Papoušková 2012). Ve skutečnosti však mezi těmito dvěma α -glukany není pozorováno žádné strukturální kontinuum (Svihus 2014).

3.5.2.1 Amylosa

Amylosa je složena z 20 – 1 000 molekul α -D-glukopyranosy, které jsou vzájemně vázané α -1,4-glykosidovou vazbou (Gutierrez del Alamo et al. 2008). Amylosa je lineární řetězec, vytvářející levotočivou šroubovici. K jejímu větvení dochází asi jen na deseti místech molekuly. Obsah amylosy ve škrobu se pohybuje od 0 do 8 % ve voskovitém (waxi), 20 – 30 % v normálním a více než 40 % v high-amylose škrobu. Obsažená amylosa lze rozpouštět v horké vodě, amylopektin v horké vodě bobtná a vytváří gel. Molekulová hmotnost amylosy se pohybuje okolo 100 kDa (Svihus 2014).

3.5.2.2 Amylopektin

V molekule amylopektinu se může nacházet až 3 000 D-glukosových jednotek. Amylopektin má rozvětvený řetězec. V lineárních částech řetězce se nachází D-glukosové jednotky, vázané α -1,4-glykosidovou vazbou a v místě větvení jsou molekuly vázané α -1,6-glykosidovou vazbou (Gutierrez del Alamo et al. 2008). Rozvětvené řetězce amylopektinu tvoří dvoušroubovice, přispívající ke krystalické struktuře, zatímco amylosa je amorfni a rozptýlená mezi amylopektinové molekuly. Molekulová hmotnost amylopektinu je oproti amylose vyšší, pohybující se v rozmezí 104 - 106 kDa (Svihus 2014).

Poměr frakcí amylosy a amylopektinu určuje vlastnosti škrobu a zároveň ovlivňuje koncové využití daných plodin. Obsah amylosy ve škrobu závisí především na genotypu a je značně variabilní (Svihus 2014). Požadavek průmyslu je ustálení obsahu a snaha o změnu podílu obou složek pomocí šlechtění. Již byly vyšlechtěny odrůdy jak s velmi nízkým (waxy odrůdy) tak naopak s vysokým obsahem amylosy nad 30% (Papoušková 2012).

3.5.3 Nejčastěji používané plodiny ve výživě zvířat

3.5.3.1 Brambory

Okopaniny, zejména brambory, jsou také jednou z neodmyslitelných součástí jak lidské, tak zvířecí výživy. Stejně jako u obilovin, tak i jejich hlavní podíl energetické hodnoty zaujímá škrob, uložený v podobě škrobových zrn. Avšak navzdory své vysoké energetické hodnotě, patří bramborový škrob mezi méně stravitelné škroby. Jeho obsah v bramborách se pohybuje v rozmezí 15 – 25 % (Bajaj et al. 2018).

Bramborový škrob má větší zrna oválného tvaru. Má viditelné vrstvení, které se většinou uspořádává okolo jednoho, excentricky uloženého jádra (Marešová 2002). Naproti tomu pšeničný škrob má zrna kulatého tvaru, ve dvou rozdílných velikostech; první, drobnozrnný škrob (2 – 7 μm) a druhý škrob velkozrnný (20 – 40 μm) (Marešová 2002).

Podle Bajaj et al. (2018), bramborový škrob vykazuje vyšší viskozitu, větší rozpustnost a čírost gelu než pšeničný, rýžový nebo kukuřičný škrob. Tyto odlišné vlastnosti jsou důsledkem vyššího podílu větších škrobových granulí, poměrně dlouhého řetězce amylosy a amylopectinu a přítomností esterifikovaného fosforu na řetězci amylopektinu, s ekvivalentním účinkem na viskozitu a schopností tvořit silné gely při zahřívání.

3.5.3.2 Luskoviny

Škroby z různých luskovin (polní hrách, fazole) jsou primárně studovány spíše pro svou kvalitu bílkovin, než pro škrob, i když škrob patří mezi hlavní složky (20 – 45 %) v jejich semenech. V luskovinových škrobech bylo zjištěno velké množství esterifikovaných fosfátových skupin, což vede k vyšší síle a viskozitě gelu. Škroby z luštěnin vykazují lepší stabilitu než škroby pšeničné, z důvodu vyšší viskozity a nižšímu rozpadu luštěnin. Dále vykazují vyšší obsah amylosy a produkují tím více odolný škrob (Bajaj et al. 2018).

3.5.3.3 Obiloviny

Sacharidy tvoří nejpodstatnější část sušiny zrna obilnin. V závislosti na druhu jejich množství kolísá nejčastěji mezi 65 – 85 % v sušině, jinými slovy až 750 g v 1 kg zrna (Kodeš et al., 2003). Využitelné sacharidy tvoří zejména jednoduché cukry, dextriny a hlavně škrob. Obsah škrobu

v zrně obilovin se nejčastěji pohybuje od 60 % do 70 % (McMaugh et al. 2014), v závislosti na druhu, odrůdě, pěstitelských, agrotechnických a klimatických podmínkách.

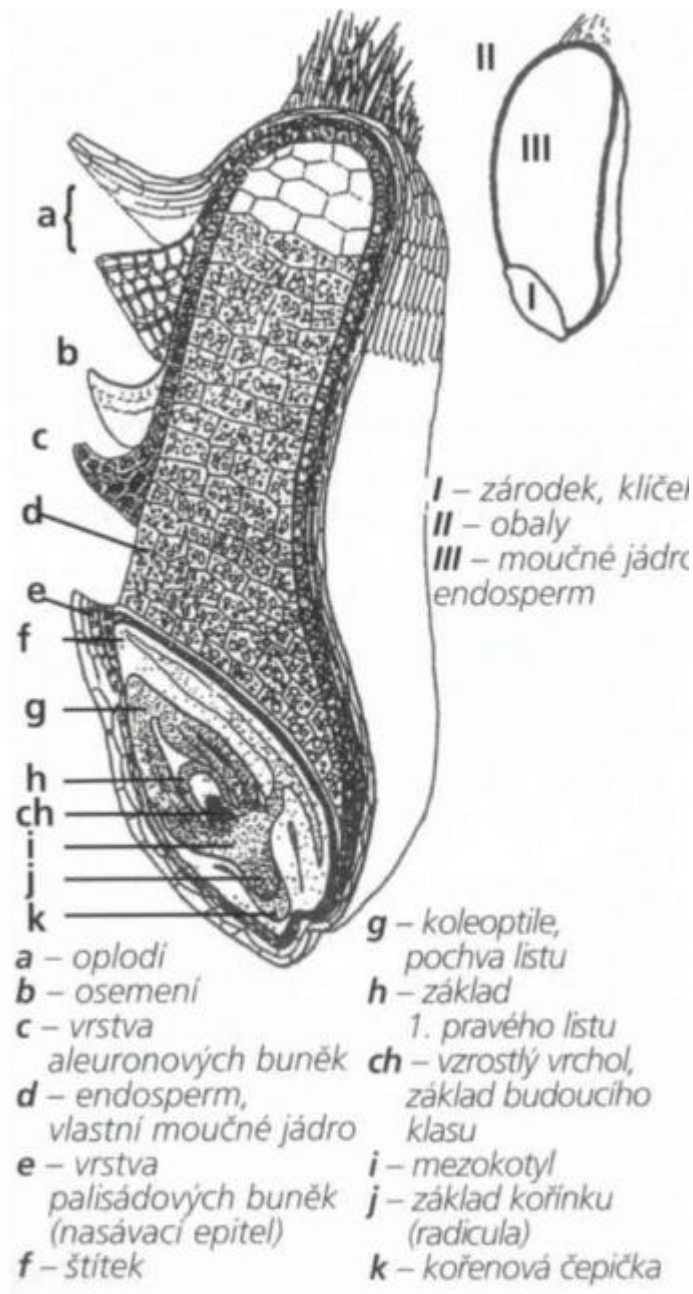
Mezi novější, ale často diskutované složky, zvyšující funkčnost (potravin), patří rezistentní škrob (RS) (Haralampu 2000). RS lze popsat jako množství škrobu a jeho degradačních produktů, které tělo nedokáže absorbovat v tenkém střevě. Takto nestrávené látky procházejí až do tlustého střeva, kde podléhají fermentaci a následně dávají vznik nasyceným monokarboxylovým kyselinám s krátkým řetězcem (k. octová, k. propionová, k. máselná) (Lehmann & Robin 2007). Obiloviny jsou nejčastějším zdrojem rezistentního škrobu.

3.6 Pšenice

3.6.1 Klasifikace

Dle botanického zařazení patří pšenice mezi obiloviny, které se řadí mezi traviny, konkrétně do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*). Rod pšenice *Triticum* L. je z genetického hlediska velmi rozmanitý rod, obsahující řadu druhů, ze kterých je celosvětově nejvíce rozšířená pšenice setá (*Triticum Aestivum* L.), (Papoušková 2012).

Papoušková (2012) ve své práci dále uvádí, že pšenice setá se vyskytuje ve čtyřech varietách – *lutescens*, *milturum*, *erythrosperrum* a *ferrugineum*, kdy v České republice převažují odrůdy variety *lutescens*. Jedná se o hexaploidní rostlinu se třemi homeologními genomy A, B, D a do této skupiny patří téměř 300 různých odrůd. Tyto odrůdy se dělí podle tvrdosti zrna na pšenice tvrdé a měkké s rozdílným zpracovatelským využitím.



Obrázek 2: Obilka pšenice – řez (Zimolka et al. 2005)

3.6.2 Využití

Podle informací z Vyskočil et al. (2008) je pšenice v České republice nejčastěji pěstovanou obilninou. V roce 2018 pšenice pokrývala 61,2 % z celkové plochy obilovin pěstovaných na zrna. V tomto čísle je zastoupena jak pšenice ozimá, které je naprostá většina (95 %), tak pšenice jarní (5 %). Patří tedy k základním zrninám, využívaným jako krmivo pro zvířata. Nejčastěji je pšenice využívána u prasat, kde se v krmné dávce kombinuje s ječmenem a u

drůbeže, kde je nejvíce zkrmována v kombinaci s kukuřicí. Pokud tvoříme kombinovanou krmnou dávku, nemusíme se bát vysokého podílu pšenice v krmivu. Zároveň je vhodná i jako jediná zrnina. Jediné riziko nadměrného obsahu ve směsi je nekrotická enteritida, kde je nadbytek pšenice jedním z predispozičních faktorů. Pokud chceme pšenici využít ke zlepšení pevnosti granulí, stačí nám k tomu její desetiprocentní zastoupení. Tabulkově doporučená dávka čerstvého zrna ve směsi pro drůbež je 20 – 25 %, s doplňkem enzymů i 50 %, pokud je to ekonomicky výhodné. Pozor se musí dát při zkrmování tvrdého zrna. Při velkém podílu tvrdé pšenice v krmivu se nám zvyšuje riziko tvorby nálepů v okolí kloaky. Naopak příliš jemně našrotovaná pšenice v negranulované směsi se může lepit na zobák a způsobovat jeho deformace (Zelenka & Zeman 2006).

Ze zpracované práce od Papoušková (2012) víme, že nejdůležitějšími složkami pšeničného zrna, které kromě svých základních metabolických funkcí zásadně ovlivňují konečné využití pšenice, jsou bílkoviny a škrob. Pro šlechtitelské účely je proto nezbytné sledovat vztah a variabilitu těchto složek a faktory, které na ně působí. Mezi nejvýznamnější faktory řadíme mimo genotypu také vliv prostředí a agrotechniky.

Ve srovnání s ostatními obilovinami, je hlavní předností pšenice vysoký obsah N-látek a energie. Obsah N- látek je 10 – 17 %, obvykle kolísá mezi 11 – 14 % (Zelenka & Zeman 2006). Naopak problémovou složkou mohou být arabinoxylany, betaglukany, fytáty, pektiny, pentozany a rezistentní škrob (Kodeš et al. 2003). Obsahuje také více fytázy než jiné obiloviny, což umožňuje lepší využití živin, vázaných ve fytátech. Fytázu lze zničit teplem při granulaci.

3.6.3 Struktura pšenice

Podle studie Amerah (2015), je zralé pšeničné jádro rozděleno do tří základních částí; 13 % vnější vrstva zrna (slupka), 2 % zárodek a 85 % endosperm. Vnější vrstva je tvořena vysokým obsahem perikarpu (pletivo plodu) a aleuronovou vrstvou, která je tvořena stejným množstvím oleje, minerálních látek a bílkovin. Endosperm je tvořen hlavně škrobovými granulemi, které jsou obklopeny proteinovou maticí. Jelikož endosperm zaujímá velkou část pšeničného zrna, jeho fyzikální kvalita je nejdůležitější. Jednou z důležitých vlastností je tvrdost endospermu, která určuje velikost částic a konečné využití zrna pšenice. Tvrdost je ovlivněna mnoha faktory, jako jsou podmínky prostředí, množství a kvalita pentosanů nebo obsah vlhkosti.

3.6.3.1 Fyzikální struktura

Pšenice je z hlediska fyzikálních a chemických vlastností velmi variabilní zrnina. Z fyzikálních vlastností je nejvíce kvalitní tvrdost, která má největší vliv na užitkovost brojlerů a na stravitelnost. Účinek tvrdosti pšenice na užitkovost je také pravděpodobně ovlivněn formou krmiva (např. kaše vs. peletované krmivo), (Amerah 2015).

3.6.3.2 Chemická struktura

Z hlediska chemické charakteristiky při stanovení kvality krmné pšenice jsou důležitými kritérii úroveň a struktura neškrobových polysacharidů (NSP). Co se týče reakce na enzymy, je důležitější soustředit se na chemickou strukturu, zejména na úroveň NSP, fyzikální kvalitě se věnuje pozornost malá (Amerah 2015).

Chemické složení daného typu a odrůdy pšenice se mění rok od roku v závislosti na ploše, místě pěstování, použití hnojiv, na vlhkostních podmínkách a dalších agronomických faktorech. Změnu mohou způsobit také vlastní faktory pšenice, avšak ty nejsou ještě zcela stanoveny.

Čerstvě sklizená pšenice je pro drůbež hůře stravitelná a zároveň nepříznivě ovlivňuje užitkovost. Za hlavní příčinu je považován vysoký obsah vodorozpustných neškrobových polysacharidů, který se během posklizňového dozrávání snižuje. Množství sacharidů se ustálí po dvou až čtyřech týdnech po sklizni (Gutierrez del Alamo et al. 2008).

3.6.3.3 Krmná hodnota pšenice

Z krmivářského hlediska je důležitá hlavně pro uhrazování energie a dusíkatých látek v krmné dávce. Obsah dusíkatých látek je velmi variabilní. Jejich zastoupení se pohybuje mezi 9-17 %, konkrétně nejčastěji mezi 11-14 % (Gutierrez del Alamo et al. 2008; Amerah et al. 2011). Pro přesnost je však nutné stanovit si tyto hodnoty vlastním rozbořem. Minimální obsah sušiny má být 86 %. V pšeničné bílkovině je obsaženo vysoké procento větvených aminokyselin, zejména valinu, leucinu a isoleucinu (Amerah et al. 2011). Tyto aminokyseliny podporují syntézu bílkovin a snižují odbourávání svalstva v důsledku poranění.

Pšenice je hlavním zdrojem energie v krmivech v mnoha částech světa, včetně Evropy, Kanady, Austrálie a Nového Zélandu. Nicméně její fyzikální a chemické složení je velmi variabilní, což z pšenice činí jednu z nejvíce variabilních obilnin. Pšenice může představovat až 70 % metabolizovatelné energie a 35 % bílkovinných požadavků u brojlerů (Amerah 2015).

Z tohoto důvodu je očekáváno, že změna kvality pšenice bude mít významný vliv na užitkovost kuřat. Změna užitkovost u brojlerů při podávání různých odrůd pšenice byla ve většině studií přiřazována vysoké variabilitě v chemickém složení, zejména úrovni NSP. Fyzikální charakteristiky pšenice jsou také důležitými kritérii, které mohou ovlivnit výkon brojlerů, ale přikládá se jim méně pozornosti. Avšak pokud jde o zpracování krmiva a krmnou hodnotu, je obzvláště důležité, zda je obilí tvrdé nebo měkké (Amerah 2015).

Podle Amerah (2015), je jednou možností, která je běžnou praxí při mírnění nežádoucích účinků NSP a minimalizováním změn ve zdánlivé metabolizovatelné energii (AME) a užitkovost drůbeže, krmené dietou na bázi pšenice, přídavek xylanasy. Nicméně přidání enzymů do krmiva na bázi pšenice může být i více variabilní (Gutierrez del Alamo et al. 2008). Fyzikální struktura pšenice může také částečně vysvětlit variabilní reakce na doplnění enzymů (Amerah et al. 2009). Mezi další faktory, které mohou způsobit změny reakce, patří zpracování krmiva, vlastnosti molekuly xylanasy a v neposlední řadě plemeno a věk ptáků (Amerah et al. 2011).

3.6.4 Pšeničný škrob

Škrob je nejhojnějším sacharidem v pšenici a zároveň hlavním zdrojem energie. Jeho obsah v pšeničném zrně se odvíjí jak od typu použité odrůdy, tak od vnějších podmínek. Většinou se jeho obsah v zrně pohybuje v rozmezí od 50 do 70 % (McMaugh et al. 2014). Stravitelnost škrobu se může měnit podle struktury škrobu, poměru amylózy k amylopektinu, interakcí s jinými složkami endospermu a s podmínkami zpracování.

Pšeničná zrna škrobu přijímají po zahřátí vodu, což jim umožňuje mnohonásobně zvětšit svůj objem. Po navýšení objemu zrna praskají, jejich obsah vytéká a tvoří se škrobový maz, jinými slovy roztok o vysoké viskozitě (Papoušková 2012).

4 Metodika

Pokus byl prováděn na základě použití 19 odrůd pšenice seté, zkrmované kohoutkům hybridní kombinace ROSS 308 v 35 dnech věku o živé hmotnosti 2,4 kg. Prvním krokem před začátkem jakéhokoliv stanovení, bylo namletí všech používaných vzorků na elektrickém mlýnku.

4.1 Bilanční pokus na kuřecích brojlerech

Každá ze zkoušených linií pšenice byla před testací našrotována na vertikálním kladívkovém šrotovníku VM3 (Taurus) se sítím o průměru ok 3 mm. Po našrotování byl do materiálu přidán oxid chromitý, jako externí indikátor stravitelnosti v množství 1 %. Po zamíchání byla směs granulována na granulátoru JGE 200 (GreenEnergy) s matricí 2 mm.

Každá z testovaných krmných směsí byla podávána 4 kuřecím brojlerům po dobu min 3 dnů ad-libitum. Poté byla zvířata odporažena a odebrán obsah ilea.

Obsah ilea byl zlyofilizován, rozemlet na laboratorním mlýnku Cyclotec Samplemill (Foss).

Z odebraných vzorků předkládaného krmiva byl zjištěn obsah oxidu chromitého škrobu.

4.2 Stanovení oxidu chromitého

Pro stanovení oxidu chromitého byl použit metodický postup z knihy zkoušení a posuzování krmiv (Kacerovský et al. 1990).

V první řadě bylo potřeba si ze všech 19 vzorků krmiv a 38 vzorků trávenin připravit do Erlenmayerovy baňky navážky. Jak u vzorků pšenice, tak u výkalů byl následně použit stejný postup stanovení. Každý vzorek byl pro lepší přesnost vážen a stanovován dvakrát.

Do navážky vzorku 0,5 g (u výkalů stačí 0,2 g), ve 100mililitrové Erlenmeyerově baňce, bylo přidáno 25 ml oxidačního činidla a vzorek se dal vařit na pískovou lázeň o teplotě přibližně 290 °C. Poté, co roztok změnil barvu z černé na zelenou a následně na žlutou či hnědou, se vzorek sundal z pískové lázně a nechal vychladit. Následně se přidaly 2 ml 70% kyseliny chloristé a vzorek se nechal přejít varem. Roztok se po vychlazení kvantitativně převedl do 250 ml titrační baňky, přidalo se 100 ml destilované vody, 1 – 2 menší varné kamínky a dal se znovu vařit na pískovou lázeň do té doby, než se odpařila alespoň ¼ objemu. Následně se roztok nechal vychladit.

Po vychladnutí se do titrační baňky přidal cca 1 g jodidu draselného, rozmíchal se a následně se vzorek titroval roztokem thiosíranu sodného. Po zmírnění intenzity barvy při titraci se do roztoku přidalo 5 – 10 ml škrobového mazu a po následném výrazném zmírnění modré barvy se pomalu titrovalo až do odbarvení. Při titraci je nutné dát si pozor – po přerušení dávkování má změna barvy ještě několik vteřin doběh, než je roztok úplně promíchán. Je tedy nezbytné titrovat po malých dávkách a řádně promíchávat.

Výpočet procentického množství oxidu chromitého:

$$x = \textit{spotřeba thiosíranu sodného} \cdot \textit{faktor} \cdot 0,2533 / \textit{navážka}$$

4.3 Stanovení škrobu

Enzymatické stanovení celkového škrobu probíhalo pomocí kitu K-TSTA-100A (Megazyme).

4.3.1 Stanovení škrobu ze vzorků trávenin

Předem namleté vzorky se navážily po hmotnosti 0,1 g do falkonek na 15 ml. Aby se dal vzorek promíchat, přidalo se 5 ml ethanolu (80%) a zamíchalo na stroji Vortex. Falkonky se vzorky se daly na 10 minut inkubovat při 80 – 85 °C. Poté se přidalo dalších 5 ml ethanolu.

Vzorky se daly na 10 minut centrifugovat při 3 000 otáčkách a poté odstranit supernatant. Vzniklý pelet se rozpustil v 10 ml ethanolu a zamíchal na Vortexu. Opět se nechal centrifugovat 10 minut při 3 000 otáčkách a vzniklý supernatant se opatrně vylil.

Ke vzorku se následně přidaly 3 ml roztoku termostabilní amylasy. Následovala 12-ti minutová inkubace ve vařící vodě, kdy se každé 3 minuty vzorek míchal na Vortexu.

Přidal se 0,1 ml amyloglukosidasy, zkumavky se vložily do vodní lázně zahřáté na 50 °C a nechaly inkubovat po dobu 30 minut. Každých 5 minut se vzorky míchaly na Vortexu.

Následně se objem zkumavky doplnil destilovanou vodou na 10 ml, zamíchal a nechal odstředit na 10 minut při 3 000 otáčkách v centrifuze. Ze vzniklého supernatantu se odebral 1 ml do nové zkumavky a opět naředil na 10 ml destilovanou vodou. Z toho se alikvot 0,1 ml převedl do nové zkumavky, přidaly se 3 ml GOPOD roztoku (roztok pro stanovení glukosy) a společně se slepým pokusem a standardem se vzorek inkuboval 20 minut při 50 °C ve vodní lázni.

Vzniklé vzorky se pipetou odebíraly po 0,1 ml a aplikovaly na mikrotitrační destičku. Každý vzorek byl aplikován do dvou políček na destičce, pro větší přesnost výsledků. Výsledky byly vyhodnoceny počítačově v programu Magellan.

4.3.2 Stanovení škrobu ze vzorků krmiva

Předem namleté vzorky se navážily po hmotnosti 0,1 g do zkumavek. Pro zvlhčení vzorku se do každé zkumavky se přidalo 0,2 ml ethanolu (80%) a následně promíchalo na Vortexu. Ihned potom se přidaly 3 ml roztoku termostabilní amylasy. Roztok s amylázou se po dobu 12 minut inkuboval ve vařící vodě, s tím, že každé 3 minuty se vzorky promíchaly na Vortexu. Dalším krokem bylo přidání 0,1 ml amyloglukosidasy a vzorek se následně na 30 minut vložil do vodní lázně, zahřáté na 50 °C. Po inkubaci se doplnil objem zkumavky do 10 ml destilovanou vodou, zamíchal na Vortexu a na 10 minut se při 3 000 otáčkách vložil odstředit do centrifugy. Ze vzniklého supernatantu se odebral 1 ml do nové zkumavky a opět naředit do 10 ml destilovanou vodou. Z toho se alikvot 0,1 ml převedl do nové zkumavky, přidaly se 3 ml GOPOD roztoku (roztok pro stanovení glukosy) a společně se slepým pokusem a standardem se vzorek inkuboval 20 minut při 50 °C ve vodní lázni.

Vzniklé vzorky se pipetou odebíraly po 0,1 ml a aplikovaly na mikrotitrační destičku. Každý vzorek byl aplikován do dvou políček na destičce, pro větší přesnost výsledků. Výsledky byly vyhodnoceny počítačově v programu Magellan.

4.4 In vitro

Metodika pokusu in vitro stravitelnosti vycházela ze studie Losada et al. (2009).

Na stanovení in vitro stravitelnosti byly použity enzymy pepsin a pankreatin a níže uvedené chemikálie:

- 0,075 M HCl na 1 litr destilované vody 6,7 ml 35% HCl
- Pepsin 228 g
- 0,1 M NaOH na 1 litr destilované vody 4,03 g NaOH
- 0,2 N = 0,67 M TRIS (trihydroxymethylaminometan na 1 l roztoku 81,16 g TRIS)
- Pankreatin do 0,1 M NaOH přidat 2,67 mg na ml roztoku

Vzorky se vážily po hmotnost 0,5 g. Do navážky bylo přidáno 0,075 N HCl 10 ml + 1140 U pepsin 2,28 g (= 0,228 g na 1 ml). Vzorek se nechal 4 hodiny inkubovat ve vodní lázni o teplotě 37 °C. Poté se pomocí 0,1 N NaOH upravilo pH na hodnotu 6,9. Jako pufr se použil přídavek 2 ml 0,2 N TRIS (trishydroxymethylaminometan) a vzorek se opět dal na 3 hodiny inkubovat při 37 °C. Nakonec se vzorek 20 minut centrifugoval při 3 000 otáčkách.

5 Výsledky

5.1 Pšenice – stravitelnost škrobu

Veškeré hodnoty stravitelnosti škrobu jsou uváděné v procentech (%).

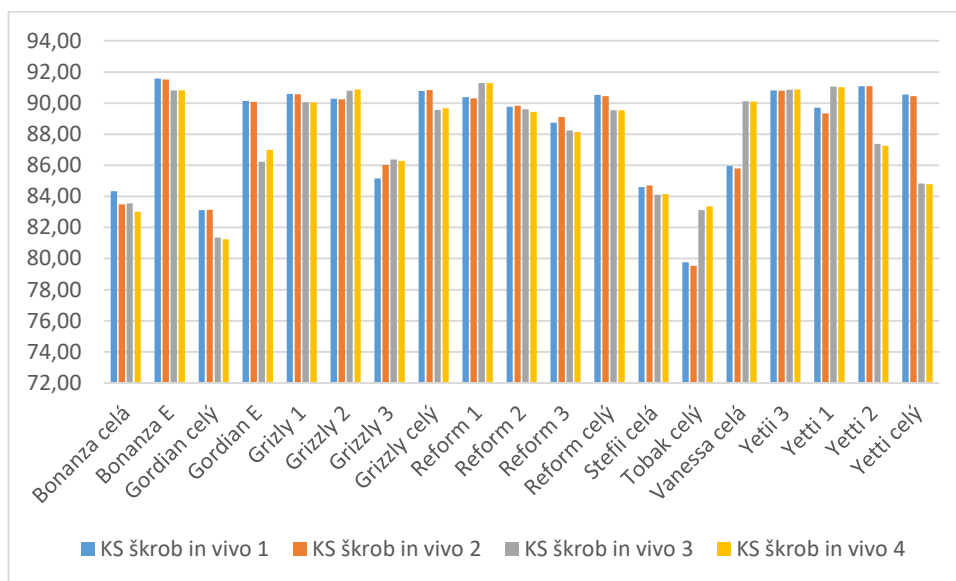
Tabulka 1: Celkový přehled stravitelnosti škrobu in vivo

Odrůda	Úprava	vzorek	KS škrob in vivo 1	KS škrob in vivo 2	KS škrob in vivo 3	KS škrob in vivo 4	\bar{x}
Bonanza	n	Bonanza celá	84,33	83,48	83,55	83,02	83,60
Bonanza	e	Bonanza E	91,59	91,52	90,82	90,82	91,19
Gordian	n	Gordian celý	83,13	83,14	81,35	81,25	82,22
Gordian	e	Gordian E	90,15	90,07	86,23	86,98	88,36
Grizly	e	Grizly 1	90,58	90,57	90,05	90,04	90,31
Grizzly	e	Grizzly 2	90,28	90,25	90,80	90,87	90,55
Grizzly	e	Grizzly 3	85,16	86,02	86,36	86,29	85,96
Grizzly	n	Grizzly celý	90,78	90,84	89,56	89,67	90,21
Reform	e	Reform 1	90,39	90,31	91,29	91,29	90,82
Reform	e	Reform 2	89,76	89,84	89,60	89,43	89,66
Reform	e	Reform 3	88,74	89,11	88,25	88,15	88,56
Reform	n	Reform celý	90,54	90,45	89,54	89,53	90,02
Stefii	n	Stefii celá	84,60	84,70	84,12	84,15	84,39
Tobak	n	Tobak celý	79,76	79,54	83,11	83,37	81,45
Vanessa	n	Vanessa celá	85,96	85,79	90,11	90,10	87,99
Yetii	e	Yetii 3	90,81	90,79	90,87	90,88	90,84
Yetti	e	Yetti 1	89,71	89,33	91,07	91,02	90,28
Yetti	e	Yetti 2	91,08	91,09	87,38	87,26	89,20
Yetti	n	Yetti celý	90,55	90,45	84,82	84,78	87,65

KS = koeficient stravitelnosti

n = neupravená forma pšenice

e = extrudovaná forma pšenice

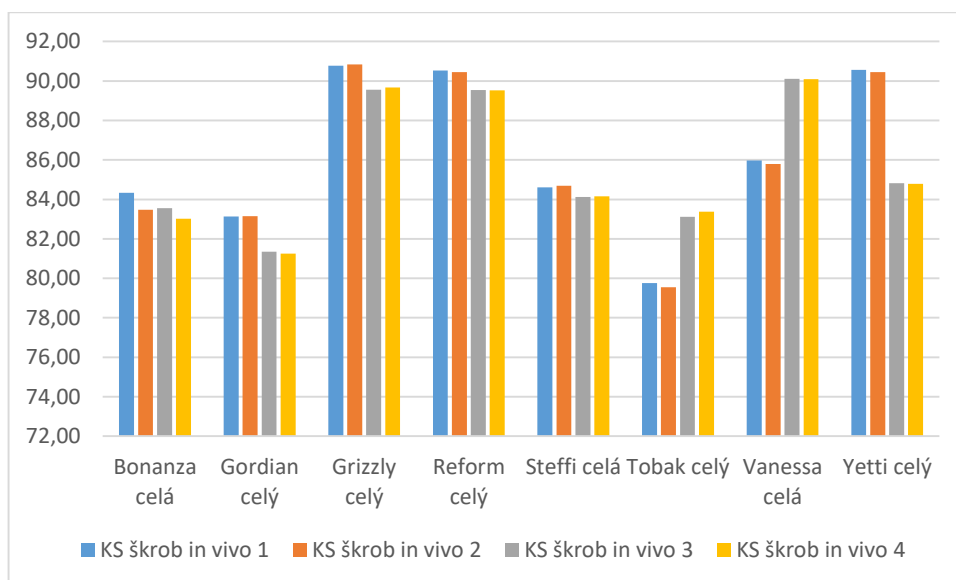


Obrázek 3: Celkový přehled stravitelnosti škrobu in vivo

Hodnoty celkové stravitelnosti škrobu, stanovené metodou in vivo, bez ohledu na úpravu pšenice, se pohybují v rozmezí od 79,54 % do 91,59 %. Nejnižší stravitelnost má pšenice odrůdy Tobak, konkrétně Tobak celý, neupravený. Nejvyšší stravitelnost má odrůda Bonanza, vzorek Bonanza E extrudovaná. Z průměrných hodnot má nejnižší stravitelnost Tobak celý - 81,45 % a nejvyšší Bonanza E - 91,12 %.

Tabulka 2: Přehled stravitelnosti škrobu u neupravených vzorků in vivo

Odrůda	úprava	vzorek	KS škrob in vivo 1	KS škrob in vivo 2	KS škrob in vivo 3	KS škrob in vivo 4	\bar{x}
Bonanza	n	Bonanza celá	84,33	83,48	83,55	83,02	83,60
Gordian	n	Gordian celý	83,13	83,14	81,35	81,25	82,22
Grizzly	n	Grizzly celý	90,78	90,84	89,56	89,67	90,21
Reform	n	Reform celý	90,54	90,45	89,54	89,53	90,02
Steffi	n	Steffi celá	84,60	84,70	84,12	84,15	84,39
Tobak	n	Tobak celý	79,76	79,54	83,11	83,37	81,45
Vanessa	n	Vanessa celá	85,96	85,79	90,11	90,10	87,99
Yetti	n	Yetti celý	90,55	90,45	84,82	84,78	87,65



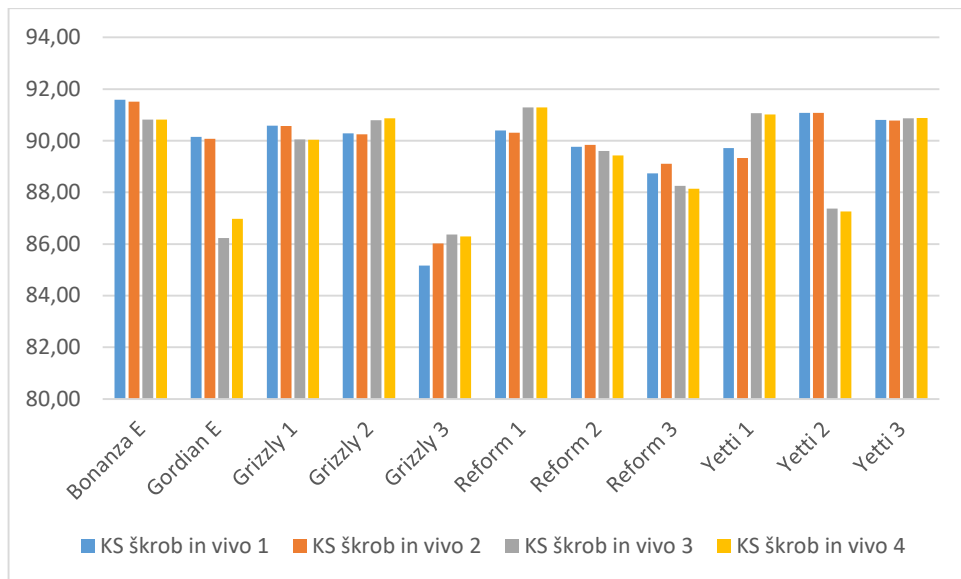
Obrázek 4: Přehled stravitelnosti škrobu u neupravených vzorků in vivo

U vzorků pšenice, stanovených metodou in vivo, které nebyly dále nijak upraveny, se stravitelnost pohybuje v rozmezí od 79,54 % do 90,84 %. Nejnižší koeficient stravitelnosti má

Tobak celý, nejvyšší pak Grizzly celý. Z průměrných hodnot má nejnižší stravitelnost také Tobak celý – 81,45 % a nejvyšší Grizzly celý – 90,21 %.

Tabulka 3: Přehled stravitelnosti škrobu u extrudovaných vzorků in vivo

odrůda	úprava	vzorek	KS škrob in vivo 1	KS škrob in vivo 2	KS škrob in vivo 3	KS škrob in vivo 4	\bar{x}
Bonanza	e	Bonanza E	91,59	91,52	90,82	90,82	91,19
Gordian	e	Gordian E	90,15	90,07	86,23	86,98	88,36
Grizzly	e	Grizzly 1	90,58	90,57	90,05	90,04	90,31
Grizzly	e	Grizzly 2	90,28	90,25	90,80	90,87	90,55
Grizzly	e	Grizzly 3	85,16	86,02	86,36	86,29	85,96
Reform	e	Reform 1	90,39	90,31	91,29	91,29	90,82
Reform	e	Reform 2	89,76	89,84	89,60	89,43	89,66
Reform	e	Reform 3	88,74	89,11	88,25	88,15	88,56
Yetti	e	Yetti 1	89,71	89,33	91,07	91,02	90,28
Yetti	e	Yetti 2	91,08	91,09	87,38	87,26	89,20
Yetti	e	Yetti 3	90,81	90,79	90,87	90,88	90,84

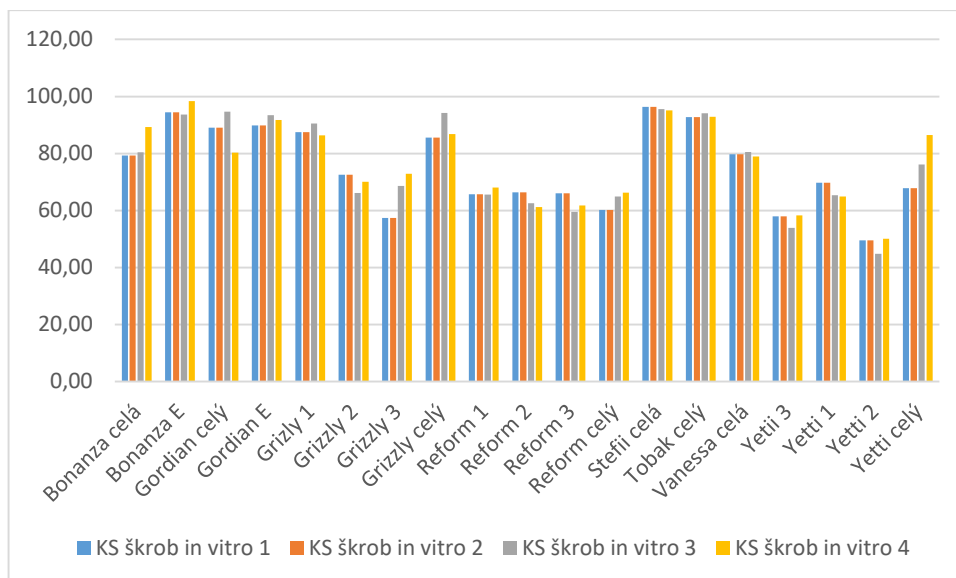


Obrázek 5: Přehled stravitelnosti škrobu u extrudovaných vzorků in vivo

U vzorků stanovených metodou in vivo a upravených pomocí extruze, nabývá stravitelnost škrobu hodnot od 85,16 % do 91,59 %. Kde nejnižší hodnotu má odrůda Grizzly a její extrudovaná forma Grizzly 3 a nejvyšší hodnotu má odrůda Bonanza a její vzorek Bonanza E. Z průměrných hodnot má nejnižší koeficient stravitelnosti Grizzly 3 a nejvyšší Bonanza E.

Tabulka 4: Celkový přehled stravitelnosti škrobu in vitro

odrůda	úprava	vzorek	KS škrob in vitro 1	KS škrob in vitro 2	KS škrob in vitro 3	KS škrob in vitro 4	\bar{x}
Bonanza	n	Bonanza celá	79,28	79,28	80,39	89,33	82,07
Bonanza	e	Bonanza E	94,47	94,47	93,71	98,43	95,27
Gordian	n	Gordian celý	89,08	89,08	94,67	80,25	88,27
Gordian	e	Gordian E	89,85	89,85	93,41	91,74	91,21
Grizly	e	Grizly 1	87,46	87,46	90,56	86,36	87,96
Grizzly	e	Grizzly 2	72,54	72,54	66,19	70,08	70,34
Grizzly	e	Grizzly 3	57,39	57,39	68,65	72,89	64,08
Grizzly	n	Grizzly celý	85,62	85,62	94,27	86,79	88,07
Reform	e	Reform 1	65,65	65,65	65,56	68,08	66,24
Reform	e	Reform 2	66,42	66,42	62,58	61,18	64,15
Reform	e	Reform 3	66,09	66,09	59,52	61,72	63,35
Reform	n	Reform celý	60,15	60,15	64,94	66,26	62,87
Stefii	n	Stefii celá	96,37	96,37	95,55	95,16	95,86
Tobak	n	Tobak celý	92,77	92,77	94,17	92,84	93,14
Vanessa	n	Vanessa celá	79,77	79,77	80,52	78,98	79,76
Yetii	e	Yetii 3	57,91	57,91	53,89	58,28	57,00
Yetti	e	Yetti 1	69,76	69,76	65,32	64,87	67,43
Yetti	e	Yetti 2	49,51	49,51	44,86	50,13	48,51
Yetti	n	Yetti celý	67,82	67,82	76,16	86,45	74,56

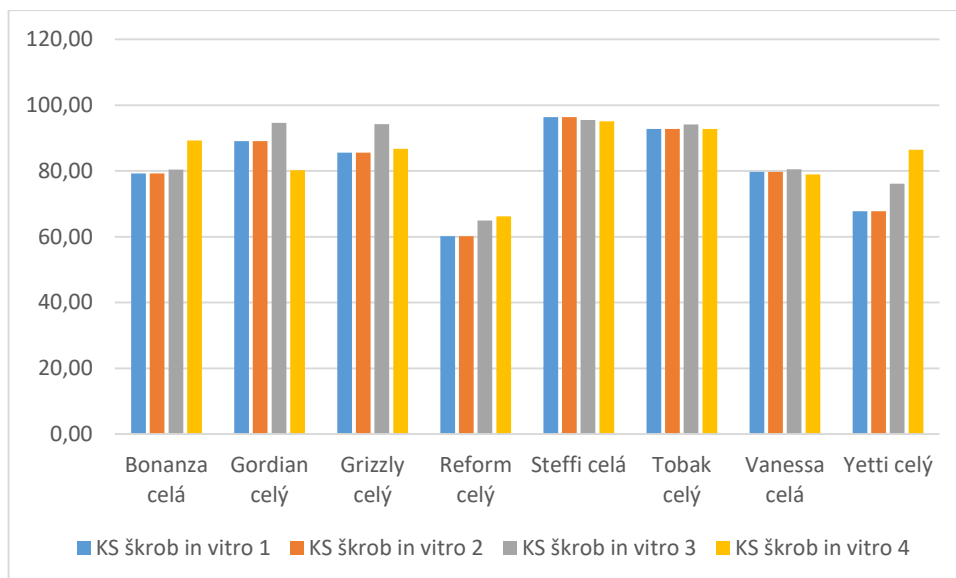


Obrázek 6: Celkový přehled stravitelnosti škrobu in vitro

U všech odrůd pšenice, stanovených metodou in vitro, se koeficient stravitelnosti pohybuje v rozmezí od 44,86 % do 98,43 %. Nejnížší hodnotu stravitelnosti má odrůda Yetti, vzorek Yetti 2 extrudovaný a nejvyšší stravitelnost má odrůda Bonanza, extrudovaný vzorek Bonanza E. Z průměrných hodnot dosahuje nejnížší stravitelnosti Yetti 2 – 48,51 % a nejvyšší Bonanza E.

Tabulka 5: Přehled stravitelnosti škrobu u neupravených vzorků in vitro

odrůda	úprava	vzorek	KS škrob in vitro 1	KS škrob in vitro 2	KS škrob in vitro 3	KS škrob in vitro 4	\bar{x}
Bonanza	n	Bonanza celá	79,28	79,28	80,39	89,33	82,07
Gordian	n	Gordian celý	89,08	89,08	94,67	80,25	88,27
Grizzly	n	Grizzly celý	85,62	85,62	94,27	86,79	88,07
Reform	n	Reform celý	60,15	60,15	64,94	66,26	62,87
Steffi	n	Steffi celá	96,37	96,37	95,55	95,16	95,86
Tobak	n	Tobak celý	92,77	92,77	94,17	92,84	93,14
Vanessa	n	Vanessa celá	79,77	79,77	80,52	78,98	79,76
Yetti	n	Yetti celý	67,82	67,82	76,16	86,45	74,56

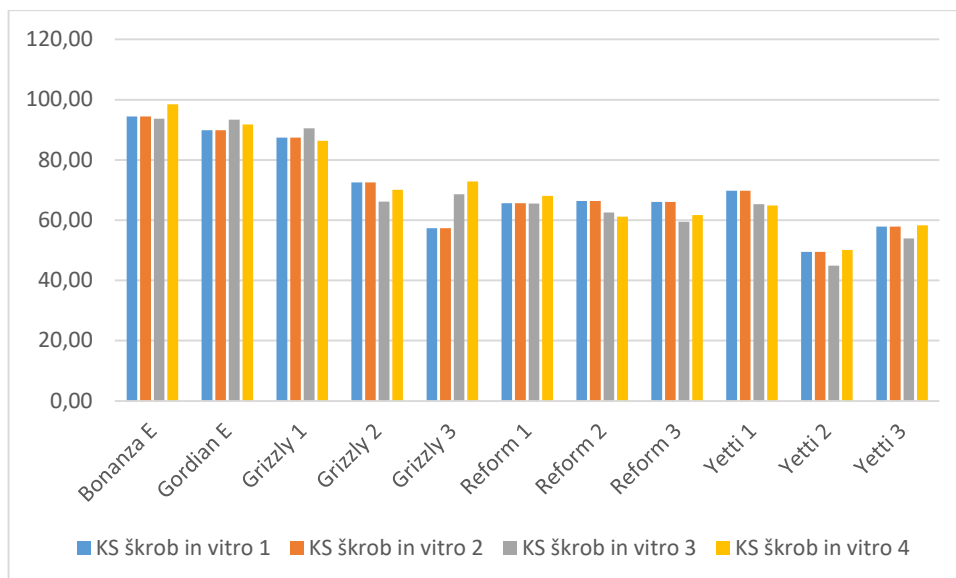


Obrázek 7: Přehled stravitelnosti škrobu u neupravených vzorků in vitro

U in vitro vzorků pšenice, které dále neprošly žádnou úpravou, nabývá koeficient stravitelnosti škrobu od 60,15 % do 96,37 %. Nejnížší hodnotu má vzorek Reform celý, nejvyšší pak vzorek Steffi celá. Z průměrných hodnot má nejnížší Reform celý – 62,87 % a nejvyšší Steffi celá – 95,86%.

Tabulka 6: Přehled stravitelnosti škrobu u extrudovaných vzorků in vitro

odrůda	úprava	vzorek	KS škrob in vitro 1	KS škrob in vitro 2	KS škrob in vitro 3	KS škrob in vitro 4	\bar{x}
Bonanza	e	Bonanza E	94,47	94,47	93,71	98,43	95,27
Gordian	e	Gordian E	89,85	89,85	93,41	91,74	91,21
Grizzly	e	Grizzly 1	87,46	87,46	90,56	86,36	87,96
Grizzly	e	Grizzly 2	72,54	72,54	66,19	70,08	70,34
Grizzly	e	Grizzly 3	57,39	57,39	68,65	72,89	64,08
Reform	e	Reform 1	65,65	65,65	65,56	68,08	66,24
Reform	e	Reform 2	66,42	66,42	62,58	61,18	64,15
Reform	e	Reform 3	66,09	66,09	59,52	61,72	63,35
Yetti	e	Yetti 1	69,76	69,76	65,32	64,87	67,43
Yetti	e	Yetti 2	49,51	49,51	44,86	50,13	48,51
Yetti	e	Yetti 3	57,91	57,91	53,89	58,28	57,00



Obrázek 8: Přehled stravitelnosti škrobu u extrudovaných vzorků in vitro

In vitro vrozky pšenice, které byly dále upraveny pomocí extruze, dosahují stravitelnosti škrobu od 44,86 % do 98,43 %. Nejnižší stravitelnost má vzorek Yetti 2, nejvyšší vzorek Bonanza E. Z průměrných hodnot je nejnižší koeficient u vzorku Yetti 2 s 48,51%, nejvyšší má Bonanza E – 95,27 %.

Shrnutí

Průměrná stravitelnost škrobu všech odrůd pšenice je 82,17 %. Z toho nejnižší stravitelnost škrobu má pšenice odrůdy Yetti, konkrétně vzorek Yetti 2 – 44,86 % a nejvyšší hodnotu stravitelnosti má pšenice odrůdy Bonanza, vzorek Bonanza E – 98,43 %.

5.2 Statistické vyjádření výsledků

Tabulka 7: Základní popisné statistiky stravitelnosti škrobu

Odrůdy	n	\bar{x}	min.	max.	s
in vivo celkem	19	88,07±1,605	79,54	91,59	3,21
in vivo neupravené	8	85,94±1,780	79,54	90,84	3,56
in vivo extruze	11	89,61±0,850	85,16	91,59	1,70
in vitro celkem	19	75,80±7,19	44,86	98,43	14,38
in vitro neupravené	8	83,08±5,408	60,15	96,37	10,81
in vitro extruze	11	70,50±7,190	44,86	98,43	14,34

V celkové skupině pšenice stanovených metodou in vivo je průměr stravitelnosti 88,07 %, minimum je 79,54 %, maximum 91,59 % a směrodatná odchylka 3,21 %.

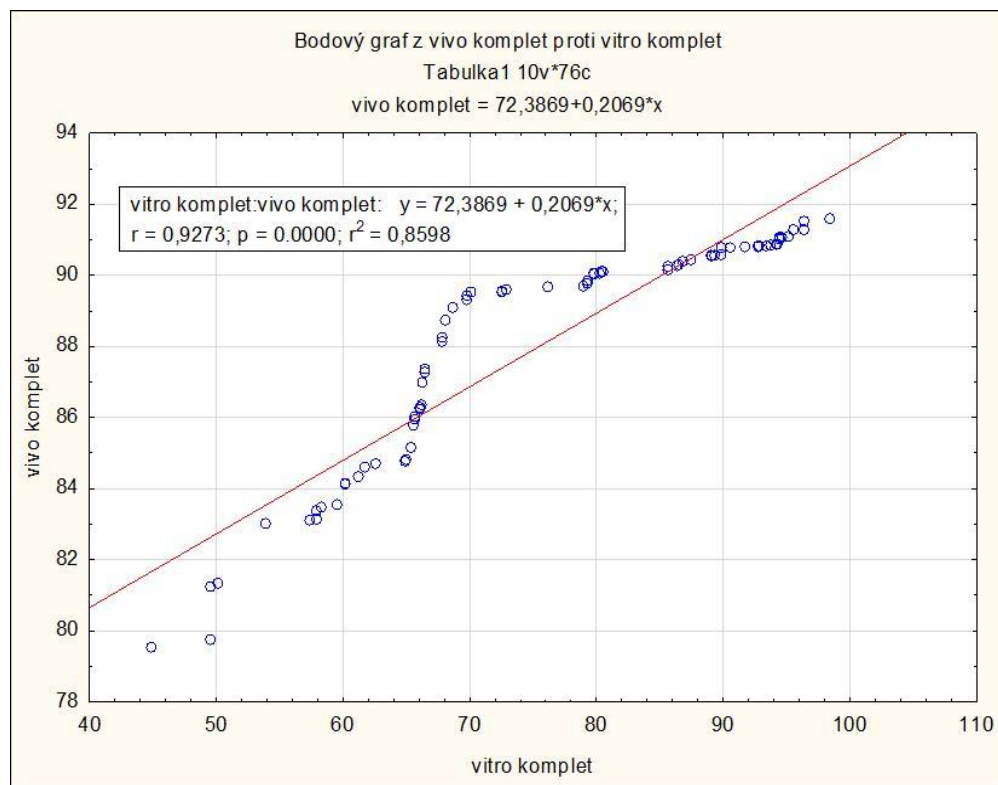
Ve skupině pšeníc in vivo neupravených je průměr stravitelnosti 85,94 %, minimum je 79,54 %, maximum 90,84 % a směrodatná odchylka 3,56 %.

U pšeníc in vivo extrudovaných je průměr stravitelnosti 89,61 %, minimum je 85,16 %, maximum 91,59 % a směrodatná odchylka 1,70 %.

Všechny pšenice stanovené in vitro mají průměr stravitelnosti 75,80 %, minimum mají 44,86 %, maximum 98,43 % a směrodatnou odchylku 14,38 %.

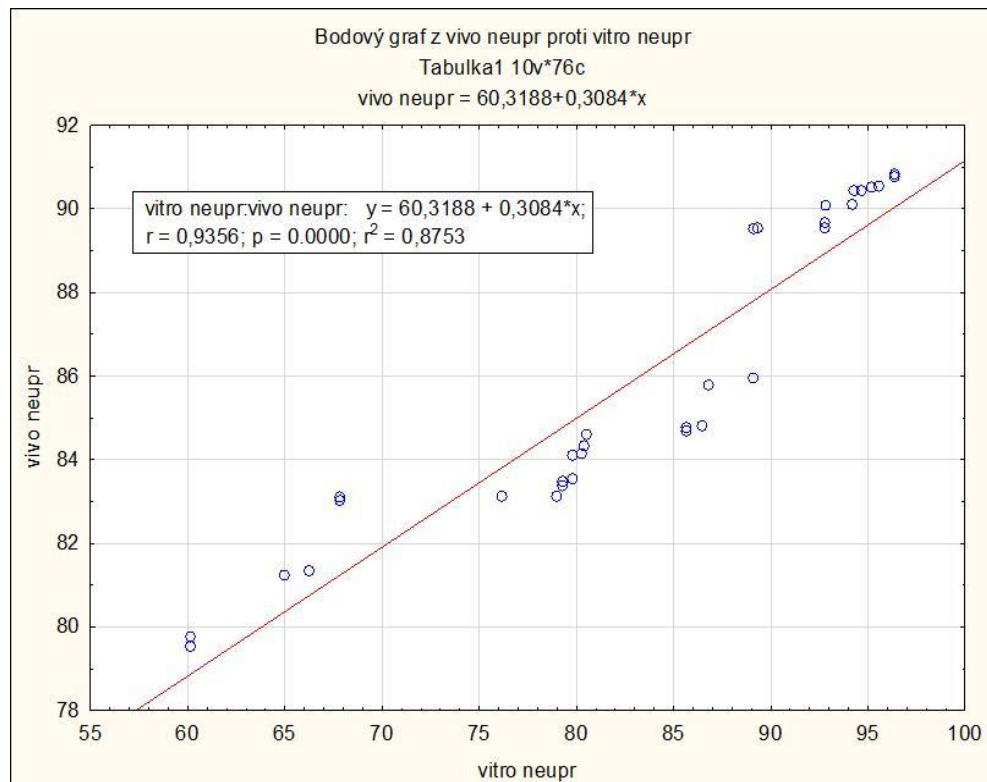
Skupina pšeníc in vitro neupravených má průměr stravitelnosti 83,08 %, minimum 60,15 %, maximum 98,43 % a směrodatná odchylka je 10,81 %.

U pšeníc in vitro extrudovaných je průměr stravitelnosti 70,50 %, minimum je 44,86 %, maximum 98,43 % a směrodatná odchylka 14,34 %.



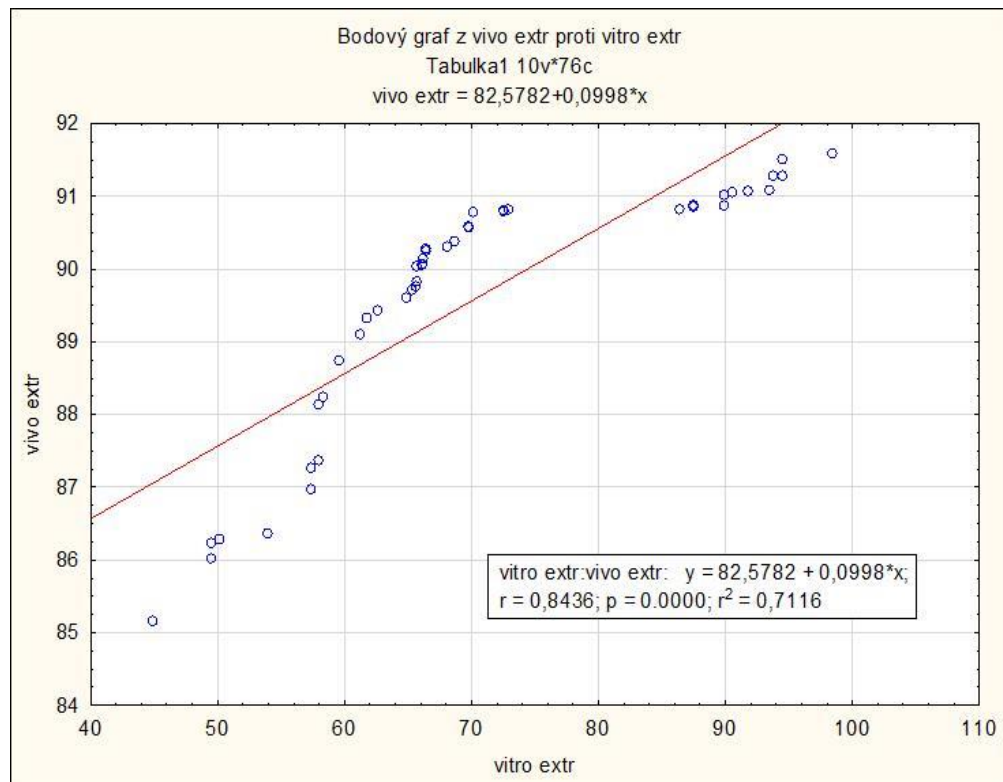
Obrázek 9: Analýza lineární regrese vztahu in vivo x in vitro všech odrůd pšeníc

Z analýzy lineární regrese nám vychází silná závislost ($r^2=0,8598$; 85,98 %) in vivo celkové pšenice na stanovení pšenice in vitro.



Obrázek 10: Analýza lineární regrese vztahu in vivo x in vitro neupravených pšeníc

Stejně jako u celkového stanovení všech odrůd pšenice in vivo x in vitro, tak i u pšeníc neupravených vychází silná závislost in vivo na in vitro ($r^2=0,8753$; 87,53 %).



Obrázek 11: Analýza lineární regrese vztahu in vivo x in vitro extrudovaných pšeníc

U regresní analýzy extrudovaných pšeníc vyšla také silná závislost stanovení in vivo na in vitro ($r^2 = 0,7166$; 71,66 %).

6 Diskuze

Ball et al. (2013) svou studii zaměřil na zkoumání vlivu odrůd a růstových podmínek pšenice na užítkovost brojlerů a stravitelnost živin. Dohromady otestovali 164 vzorků pšenice z různých lokalit, odrůd a let. U všech vzorků byly analyzovány chemické i fyzikální parametry. Výzkum byl zaměřen především na obsah energie, dusíkatých látek, NDF, lysinu, threoninu, amylose a na škrobu a jeho stravitelnosti. Ze závěru studie vyplývá, že odrůda a prostředí, ve kterém je pšenice pěstována, významně ovlivňují užítkovost brojlerů, u kterých je pšenice součástí diety. Dále zjistili, že kromě odrůdy a prostředí ovlivňuje užítkovost a stravitelnost živin také aplikace dusíkatých hnojiv a fungicidů. U sledovaných parametrů byl vypočítán průměr, minimální a maximální hodnota a směrodatná odchylka. Průměr stravitelnosti škrobu v pšenici byl 91,7 %, minimum bylo 83,2 % a maximum 97,2 %. Hodnota směrodatné odchylky byla 3,3 %. U stravitelnosti škrobu nebylo po aplikaci dusíkatých hnojiv a fungicidů zjištěno žádné významné zlepšení.

V porovnání s výsledky studie Ball et al. (2013) mají naše výsledky stravitelnosti škrobu nižší hodnoty. Průměrná hodnota stravitelnosti škrobu pšenice byla 82,17 %. Minimum bylo 44,86 % a maximum 98,43 %. Hodnota směrodatné odchylky ze všech 19 vzorků byla 8,00 %.

Studie Bedford & Classen (1992) byla zaměřena na *in vitro* test jako predikce střevní viskozity brojlerů, jejich růst a užítkovost. Byl vyvinut dvoufázový *in vitro* testovací postup pro predikci účinnosti žita jako zdroje potravy pro brojlerová kuřata. Tento postup používá jako podklad kompletní krmnou směs (dieta) k predikci *in vivo* intestinální viskozity a konečné hmotnosti brojlerů. Výsledná data ukazují, že test *in vitro* je spolehlivým testem pro stanovení *in vivo*. Test *in vitro* přesně předpověděl *in vivo* intestinální viskozitu a konečnou hmotnost ptáků. Z práce vychází, že *in vitro* test by měl být dobrým prediktorem údajů u každé stravy. Korelace mezi intestinální viskozitou a *in vitro* viskozitou, stanovenou na stejné dietě, byla velmi dobrá v celém svém rozsahu. Viskozita byla snížena jak *in vivo* (kvadraticky), tak *in vitro* (lineárně). Regresní analýzou byla prokázána lineární regrese. Z výsledků studie tedy vychází, že *in vivo* je závislé na *in vitro*.

V naší práci jsme porovnávali test *in vitro* s *in vivo*. Základem pro srovnání bylo 19 odrůd pšenic, tvořící základ diety u brojlerů. Výsledky porovnání byly zhotoveny pomocí regresní analýzy a to třikrát. Jednou pro *in vivo* x *in vitro* u všech 19 odrůd pšenic, bez ohledu na jejich úpravu. Podruhé pro *in vivo* x *in vitro* u 8 odrůd pšenic, které nebyly žádnou formou

upravované a potřetí pro in vivo x in vitro u 11 odrůd pšenic extrudovaných. U všech tří skupin pšenic in vivo x in vitro nám vyšla z grafu lineární regrese silná závislost. Jelikož byly výsledky všech závislostí velmi podobné (85,98 %, 87,53 %, 71,66 %), teoreticky by stačilo stanovení regresní analýzy jen celkových odrůd pšenice. Avšak rozdělení na neupravené a upravené nám dává přesnější výsledky a poukazuje na to, že je důležité zohledňovat úpravu pšenice a její jednotlivé parametry.

7 Závěr

Práce zaměřovala na míru stravitelnosti škrobu z pšenice seté, a to u kuřecích brojlerů. Cílem práce bylo stanovení in vitro stravitelnosti u různých odrůd pšenice seté.

U 19 odrůd pšenice byl vyhodnocen obsah škrobu a na základě jeho hodnot byla u každé odrůdy stanovena stravitelnost škrobu, a to jak in vivo, tak in vitro. Všechna stanovení in vivo a in vitro byla prováděna na vzorcích, které neprošly žádnou další úpravou, na extrudovaných vzorcích a na hronmadných vzorcích in vivo celkem a in vitro celkem.

Průměrná stravitelnost škrobu všech odrůd pšenice byla 82,17 %. Z toho nejnižší stravitelnost škrobu měla pšenice odrůdy Yetti, konkrétně vzorek Yetti 2 – 44,86 % a nejvyšší hodnotu stravitelnosti měla pšenice odrůdy Bonanza, vzorek Bonanza E – 98,43 %. Nejvyšší průměr stravitelnosti měla skupina pšenic in vivo extrudovaných – 89,61 %, nejnižší průměr měla skupina pšenic in vitro extrudovaných – 70,50 %.

Z výsledků práce vyplývá, že je nutné klást důraz na výběr odrůdy pšenice, ze které je sestavována krmná směs pro drůbež.

Hypotéza práce se potvrdila, in vitro stanovení stravitelnosti je v úzké korelaci s nativním trávením.

8 Literatura

- Amerah AM. 2015. Interactions between wheat characteristics and feed enzyme supplementation in broiler diets. *Animal Feed Science and Technology* **199**:1-9.
- Amerah AM, Gilbert C, Simmins PH, Ravindran V. 2011. Influence of feed processing on the efficacy of exogenous enzymes in broiler diets. *World's Poultry Science Journal* **67(1)**:29-46.
- Amerah AM, Ravindran V, Lentle RG. 2009. Influence of wheat hardness and xylanase supplementation on the performance, energy utilisation, digestive tract development and digesta parameters of broiler starters. *Animal Production Science* **49(1)**:71-78.
- Bajaj R, Singh N, Kaur A, Inouchi N. 2018. Structural, morphological, functional and digestibility properties of starches from cereals, tubers and legumes: a comparative study. *Journal of Food Science and Technology* **9**:3799-3808.
- Ball MEE, Owens B, McCracken KJ. 2013. The Effect of Variety and Growing Conditions on the Chemical Composition and Nutritive Value of Wheat for Broiler. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **29(3)**:387-385.
- Bedford MR, Classen HL. 1993. An *In Vitro* Assay for Prediction of Broiler Intestinal Viscosity and Growth When Fed Rye-Based Diets in the Presence of Exogenous Enzymes. *Poultry Science* **72**:137-143.
- Gutierrez del Alamo A, Verstegen MWA, Den Hartog LA, Pérez de Ayala P, Willamide MJ. 2008. Effect of Wheat Cultivar and Enzyme Addition to Broiler Chicken Diets on Nutrient Digestibility Performance, and Apparent Metabolizable Energy Content. *Poultry Science* **87(4)**:759-767.
- Haralampu SG. 2000. Resistant starch – a review of the physical properties and biological impact of RS₃. *Carbohydrate Polymers* **41(3)**:285-292.

- Haresign W, Lewis D. 1979. Recent Advances in Animal Nutrition. Butterworths, London.
- Jelínek P, et al. 2003. Fyziologie hospodářských zvířat. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno.
- KaceroVský O, et al. 1990. Zkoušení a posuzování krmiv. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Kodeš A, et al. 2003. Základy moderní výživy drůbeže. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Kováčik J, Bulla J, Capcarová M, Kalařová A, Kolesářová A, Kročková J, Lukáš N, Massányi P. 2015. Fyziológia živočíchov. Slovenská plnohospodárska univerzita, Nitra.
- Lehmann U, Robin F. 2007. Slowly digestible starch – its structure and health implications: a review. Trends in Food Science & Technology **18(7)**:346-355.
- Losada B, Garcia-Rebollar P, Cachaldora P, Álvarez C, Méndez J, de Blas JC. 2009. A Comparison of the prediction of apparent metabolisable energy content of starchy grains and cereal by-products for poultry from its chemical components, in vitro analysis or near-infrared reflectance spectroscopy. Spanish Journal of Agricultural Research **7(4)**:813-823.
- Marešová D. 2002. Jakostní kritéria odrůd pšenice vhodných pro produkci škrobu [Dsc. Thesis]. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Marvan F, Hampl A, Hložánková E, Kresan J, Massanyi L, Vernerová E. 1992. Morfologie hospodářských zvířat. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- McMaugh SJ, et al. 2014. Suppression of starch synthase I expression affects the granule morphology and granule size and fine structure of starch in wheat endosperm. Journal of experimental Botany **65(8)**:2189-2201.

Papoušková L. 2012. Studium variability vlastností škrobu a bílkovin zrna pšenice seté v současných kolekcích Genové banky [Dsc. Thesis]. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Reece WO. 2011. Fyziologie a funkční anatomie domácích zvířat. Grada Publishing a.s., Praha.

Svihus B. 2014. Starch digestion capacity of poultry. Poultry Science **93(9)**: 2394-2399.

Tuláček F. 2002. Chov hrabavé drůbeže. Nakladatelství Brázda, Praha.

Vollmannova WO. 2011. Fyziologie a funkční anatomie domácích zvířat. Grada Publishing a.s., Praha.

Vyskočil I, et al. 2008. Kapesní katalog krmiv. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno.

Zelenka J. 1998. Výživa a krmení drůbeže. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno.

Zelenka J, Zeman L. 2006. Výživa a krmení drůbeže. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno.

Zelenka S, Čurda K, Boháčenko I. 1975. Technologie krmiv a škrobu. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.

Zeman L, et al. 2006. Výživa a krmení hospodářských zvířat. Nakladatelství odborného tisku Profi Press s.r.o., Praha.

Zimolka J, et al. 2005. Pšenice, pěstování, hodnocení a užití zrna. Profipress Praha.