

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra chovu hospodářských zvířat



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Vliv techniky krmení
na charakteristiky svalových vláken kuřat**

Diplomová práce

**Autor práce: Bc. Veronika Snozová
Obor studia: Výživa zvířat a dietetika**

Vedoucí práce: Ing. Darina Chodová, Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv techniky krmení na charakteristiky svalových vláken kuřat" 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 neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí své práce, Ing. Darině Chodové, Ph.D., za odborné vedení a velice příjemnou spolupráci, vstřícnost a ochotu při konzultování práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině, zejména mamince, přátelům a svému příteli, kteří mi byli neustavující podporou nejen během psaní této práce, ale též během celého studia a pomohli mi dojít až sem.

Vliv techniky krmení na charakteristiky svalových vláken kuřat

Souhrn

Jedním z nejčastěji konzumovaných druhů masa je kuřecí maso, a tak bývá jeho produkce spíše intenzivní se zaměřením na co nejlepší užitkovost při co nejnižších nákladech. Z těchto nákladů tvoří největší část krmiva. Je tedy snahou aplikovat ve výkrmu brojlerových kuřat neúčinnější techniky krmení.

Jelikož svalová vlákna jsou základní jednotkou svalu, změny na svalových vláknech se promítají v konečné užitkovosti kuřat i kvalitě masa. Tato práce tak měla za cíl porovnat rozdíly v základních charakteristikách svalových vláken brojlerových kuřat na základě rozdílné techniky krmení. Předpokladem bylo, že rozdílná technika krmení souvisí se změnami v charakteristikách svalových vláken. V této práci šlo konkrétně o vliv kvantitativní restrikce.

Do pokusu bylo zařazeno 120 kuřat genotypu Ross 308, která byla rozdělena do 2 skupin (*ad libitum* krmení; restrikce krmiva). U skupiny s restrikcí krmiva byla provedena restrikce 30 % ve srovnání s *ad libitum* příjmem. Bylo tedy podáváno 70 % *ad libitum* krmné dávky, a to od 14. do 21. dne věku kuřat. Kuřata byla během pokusu ustájena v bezokenní klimatizované hale na hluboké podestýlce (14,7 ks/m²). Všechna kuřata byla během experimentu vážena v týdenních intervalech a k porážce se přistupovalo při dosažení živé hmotnosti 2 kg. Této hmotnosti dosáhla kuřata ve 32 dnech věku. Ihned po porážce byly odebrány vzorky *musculus (m.) biceps femoris* a vzorky z pravé části *m. pectoralis major* pro histochemickou analýzu. Výsledkem práce bylo potvrzení předpokladu, že technika krmení souvisí se změnami v charakteristikách svalových vláken. Změny byly zaznamenány u obou zkoumaných svalů, a to v následujících charakteristikách: plocha, průměr, obvod a kruhovitost ($P < 0,001$). U počtu vláken, v případě *m. biceps femoris* také u podílu jednotlivých typů vláken, nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly. Kruhovitost vláken typu IIB u *m. biceps femoris* byla jedinou vlastností s vyšší hodnotou u restringovaných kuřat oproti kontrolní skupině. Ukazuje se tak, že použití dané restrikce mělo na charakteristiky svalových vláken spíše negativní vliv, jelikož hodnoty stanovené u ostatních charakteristik byly u restringovaných kuřat oproti *ad libitum* krmným nižší. Z toho je možné usuzovat na horší výslednou užitkovost, což se ukázalo také na živé hmotnosti, která byla u restringované skupiny nižší po zavedení restrikce ($P < 0,040$) až do konce pokusu ($P < 0,031$).

Výsledky této práce pomohly stanovit hranici, kdy je již vliv restrikce na výkrm brojlerových kuřat negativní. Vliv restrikce, zavedené až ve třetím týdnu výkrmu v míře 30 %, by navíc mohl být zajímavým námětem pro další studie, jelikož většina dosavadních výzkumů se zaměřovala na menší míru omezení v dřívějším období výkrmu.

Klíčová slova: kuře, technika krmení, histologie, svalové vlákno

The effect of feeding regime on muscle fibre characteristics in chickens

Summary

Chicken meat is one of the most consumed types of meat, thus its production is rather intensive with a focus on the best performance at the lowest cost. The biggest part of these costs is feed. In broiler chicken fattening is therefore an effort to apply the most effective feeding regimes.

Since muscle fibers are the basic unit of muscle, changes in muscle fibers are reflected in the final chicken performance and quality of meat. The aim of this thesis was to compare differences in muscle fibre characteristics in broiler chickens with different feeding regime. It was assumed that different feeding regime is related to changes in the muscle fibre characteristics. In this case we examined the effect of quantitative restriction.

A total of 120 chickens of the Ross 308 genotype were included in the experiment and divided into 2 groups (*ad libitum* feeding; feed restriction). Group under the feed restriction was administered a 30% feed restriction. Thus, restricted group received 70 % of *ad libitum* feed intake. The feed restriction was applied in days 14–21 of age. The chickens were housed in a windowless air-conditioned hall in deep litter (14.7 pcs/m²). Live weight was determined at weekly intervals and chickens were slaughtered at a live weight of 2 kg. The chickens reached this weight at 32 days of age. Immediately after slaughter samples of *musculus (m.) biceps femoris* and the right part of *m. pectoralis major* were taken for histochemical analysis. This study confirmed the assumption that feeding regime is related to changes in the characteristics of muscle fibers. Changes were observed in both examined muscles in the following characteristics: cross sectional area, diameter, perimeter and circularity ($P < 0.001$). No statistically significant differences were found in the number of fibers in both muscles and in the proportion of fiber types in the *biceps femoris* muscle. The circularity of the type IIB fibers in *m. biceps femoris* was the only one with a higher value in restricted chickens compared to the control group. It turns out that application of the restriction used here had rather negative effect on the characteristics of muscle fibers, as the values determined for the rest of characteristics were lower in restricted chickens compared to *ad libitum*-fed ones. It is possible to conclude a worse final performance, which was also shown by the live weight. Weight was lower in the restricted group after the restriction was applied ($P < 0.040$) until the end of the experiment ($P < 0.031$).

The results of this thesis helped to determine the limit at which the effect of the restriction was negative. In addition, the effect of the restriction applied in the third week of fattening at a 30 % rate, could be an interesting topic for further studies, as most previous research has focused on lower restriction rate at an earlier fattening period.

Keywords: chicken, feeding regime, histology, muscle fibre

Obsah

1 Úvod	7
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	8
2.1 Hypotéza	8
2.2 Cíl práce.....	8
3 Literární rešerše	9
3.1 Produkce kuřecího masa	9
3.1.1 Využívané genotypy kuřat	9
3.2 Kosterní svalovina.....	10
3.2.1 Svalová vlákna.....	10
3.2.1.1 Typy svalových vláken.....	11
3.2.1.2 Charakteristiky svalových vláken	11
3.3 Krmení kuřat.....	12
3.3.1 Krmné směsi	13
3.3.2 Složení krmných směsí.....	14
3.3.3 Techniky krmení.....	15
3.3.3.1 Vliv techniky krmení	15
4 Metodika	24
4.1 Histochemická analýza	25
4.2 Statistická analýza.....	25
5 Výsledky	26
6 Diskuze	30
6.1 Živá hmotnost kuřat.....	30
6.2 Charakteristiky svalových vláken <i>m. biceps femoris</i>	31
6.3 Charakteristiky svalových vláken <i>m. pectoralis major</i>	32
7 Závěr	34
8 Literatura	35
9 Seznam tabulek	39
10 Seznam obrázků	40

1 Úvod

Kuřecí maso patří mezi jeden z nejvíce konzumovaných druhů masa na světě. Důvodem vysoké poptávky po kuřecím mase je snadnost chovu kuřat, relativně nízká cena kuřecího masa, jeho senzorycké vlastnosti a také absence náboženských omezení v jeho konzumaci. Oblíbenou částí jsou pro spotřebitele zejména kuřecí prsa, jelikož kromě již zmíněných vlastností se navíc snadno a rychle vaří a mají vysoký obsah bílkovin.

Nejhojnějšími tkáněmi v mase jsou svalové a pojivové tkáně. Základní složkou svalů jsou pak svalová vlákna. U drůbežního masa se ukázalo, že charakteristiky svalových vláken hrají klíčovou roli v kvalitě masa. Hlavními parametry svalových vláken, které určují kvalitu masa, jsou celkový počet vláken spolu s plochou průřezu svalových vláken. Proto je důležité vědět, čím a jak jsou charakteristiky svalových vláken ovlivňovány.

Klíčem k normálnímu růstu kosterního svalstva je adekvátní výživa brojlerových kuřat. Pokud jde o výkrm brojlerů, krmivo představuje největší náklady. Z celkových nákladů na výrobu tvoří krmivo až 70 %. Také proto se výzkumy snaží stanovit podmínky, které by byly výhodné pro co nejlepší užitkovost a zároveň zaručily nízké náklady.

V souvislosti se snahou snížit náklady na výkrm brojlerových kuřat se během prvních 2 týdnů po vylíhnutí běžně používají restriktce krmení. U brojlerových kuřat lze restriktce krmení použít ke kontrole růstových křivek a výskytu některých metabolických poruch a nemocí spojených s vysokou rychlostí růstu kuřat. Restriktce krmiva krátkodobě zpomaluje růst postnatálního svalstva u brojlerových kuřat, ale dlouhodobě může vyvolat zrychlenou hypertrofii svalových vláken. Plány omezení krmiv by nicméně měly zaručovat stejnou produktivitu a kvalitu jatečně upraveného těla jako krmení *ad libitum*.

Ve výkrmu kuřat se používají dvě hlavní metody restriktce krmení. Jedná se o kvalitativní a kvantitativní restriktci. Kvalitativní restriktce krmiva je definována jako omezení specifického příjmu živin, zatímco u kvantitativní restriktce krmiva jde o snížení množství podávaného krmiva.

Vlivy jednotlivých technik krmení na všechny výše uvedené aspekty jsou zkoumány v mnoha studiích s cílem zjistit vhodnost použití různorodých restriktcí krmiva.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

2.1 Hypotéza

Technika krmení má vliv na růst a užitkovost brojlerových kuřat. Spolu z užitkovostí může být technikou krmení ovlivněna také kvalita masa, která závisí na vlastnostech svalových vláken. Předpokládáme, že rozdílná technika krmení bude souviset se změnami v charakteristikách svalových vláken.

2.2 Cíl práce

Cílem práce bylo porovnat rozdíly v základních charakteristikách svalových vláken brojlerových kuřat na základě rozdílné techniky krmení.

3 Literární rešerše

3.1 Produkce kuřecího masa

Kuřecí maso patří mezi jeden z nejvíce konzumovaných druhů masa na světě (Dalle Zotte et al. 2020). Z hlediska lidského zdraví je bílé maso, mezi které patří i to kuřecí, považováno za lepší než červené, a to díky jeho nízkému obsahu tuku a cholesterolu (Koomkrong et al. 2015). Obsah tuku v kuřecích prsou je méně než 3 g tuku na 100 g a tmavá svalovina kuřecího masa bez kůže obsahuje 5 až 7 g tuku na 100 g. Kuřecí maso dále obsahuje žádoucí mononenasyčené tuky, které tvoří přibližně polovinu tuku z kuřecího masa. Pouze jedna třetina kuřecího masa obsahuje méně zdravé nasycené tuky, zatímco ve většině částí červeného masa je mnohem vyšší podíl nasycených tuků. Kuřecí maso oproti hovězímu a jehněčímu navíc neobsahuje trans-tuky, které jsou běžně spojovány s ischemickou chorobou srdeční (Farrell 2013).

Dalším důvodem vysoké poptávky po kuřecím mase je snadnost chovu kuřat, relativně nízká cena kuřecího masa, jeho senzorycké vlastnosti a také absence náboženských omezení v jeho konzumaci (Koomkrong et al. 2015; Dalle Zotte et al. 2020).

Oblíbenou částí jsou pro spotřebitele zejména kuřecí prsa, jelikož kromě již výše zmíněných vlastností se navíc snadno a rychle vaří a mají vysoký obsah bílkovin (Dalle Zotte et al. 2020). Během posledních desetiletí tak dochází k intenzivní genetické selekci pro rychlý růst a vysokou výtěžnost prsní svaloviny (Radaelli et al. 2017).

3.1.1 Využívané genotypy kuřat

Pro produkci kuřecího masa se využívá několik genotypů kuřat. Autoři různých studií rozdělují genotypy podle doby potřebné k dosažení porážkové hmotnosti na pomalu rostoucí, středně rostoucí a rychle rostoucí (Fanatico et al. 2005a; Fanatico et al. 2005b; Branciarri et al. 2009; Dal Bosco et al. 2012).

Porážková hmotnost se obvykle pohybuje okolo 2 kg (Dal Bosco et al. 2012; Koomkrong et al. 2015; Petracci et al. 2015). Fanatico et al. (2005a; 2005b; 2008) pak uvádějí rozmezí 2–2,5 kg. Této hmotnosti podle nich dosahují pomalu rostoucí genotypy ve věku minimálně 81 dní. Koomkrong et al. (2015) uvádějí u pomalu rostoucích kuřat délku výkrmu dokonce 4 až 5 měsíců. Středně rostoucí genotypy se poráží zhruba ve věku 63 dní (Fanatico et al. 2005b). V pozdější studii Fanatico et al. (2008) zmiňují i věk 56 dní. Dále také uvádějí, že rychle rostoucí genotypy mají potřebnou hmotnost přibližně ve 42 dnech. V jiných studiích se píše, že rychle rostoucí genotypy mohou tržní hmotnosti dosáhnout za 40 i méně dní (Fanatico et al. 2007b; Petracci et al. 2015). Koomkrong et al. (2015) uvádějí, že rychle rostoucí genotypy kuřat mají 1,2–2 kg živé hmotnosti za 38 až 45 dní. Doba potřebná pro výkrm do požadované hmotnosti záleží u všech genotypů na jejich výživě a podmínkách chovu (Fanatico et al. 2005b; Fanatico et al. 2008).

Dalším možným kritériem pro rozdělení na pomalu, středně a rychle rostoucí genotypy může být velikost jejich denního přírůstku. Podle Dal Bosco et al. (2012) mají pomalu rostoucí genotypy denní přírůstek menší než 20 g za den, středně rostoucí od 20 do 35 g za den a přírůstek u rychle rostoucích genotypů je více než 35 g za den.

Bylo zjištěno, že rychle rostoucí genotypy jsou vyvinuty spíše pro produkci ve vnitřních klimaticky kontrolovaných podmínkách nežli v alternativních systémech chovu (Fanatico et al. 2007b). Tento výrok potvrzuje i studie Dal Bosco et al. (2012), kteří uvádějí, že rychle rostoucí kuřata nejsou přizpůsobena podmínkám extenzivního chovu, protože vykazují svalové a kosterní problémy, velmi nízkou motorickou aktivitu a nízkou aktivitu při hledání potravy. Také Farghly et al. (2019) zmiňují, že rychlý růst kuřat souvisí s řadou problémů, jako je vysoký výskyt metabolických poruch, vysoká úmrtnost a výskyt nemocí skeletu. Naopak pomalu rostoucí kuřata měla ve studii Fanatico et al. (2008) nižší úmrtnost a lepší zdraví kostí, což je důležité právě pro alternativní systémy chovu.

Nicméně pomalu rostoucí genotypy kuřat jsou méně osvalené než rychle rostoucí genotypy. Ty mají také lepší konverzi krmiva a vyšší celkovou hmotnost jatečně upraveného těla a vysokou výtěžnost prsní svaloviny (Fanatico et al. 2008).

3.2 Kosterní svalovina

Drůbeží maso se skládá převážně ze svalstva a pojivových tkání. Obsahuje také některé epiteliální a nervové tkáně, stejně jako tuk, kosti a chrupavky. Svalové a pojivové tkáně jsou tedy nejhojnějšími tkáněmi v maso a jejich vlastnosti a relativní podíl každé tkáně jsou odpovědné za kvalitu masa (Ismail & Joo 2017).

Svaly jsou uzpůsobeny k pohybu (Čihák 2001) a mají vysoce organizovanou a složitou strukturu (Maltin et al. 2003). Pro kosterní sval je charakteristická jeho rozmanitost, jelikož se skládá z různých typů svalových vláken (Klont et al. 1998).

3.2.1 Svalová vlákna

Svalová vlákna jsou hlavní složkou svalů (Scheuermann et al. 2004; Tůmová & Teimouri 2009). Jedná se o specializované buňky, které fungují jako strukturní jednotky tkáně kosterního svalstva. Kosterní svalové vlákno je tvořeno vícejadernými buňkami vázanými na membránu (Tůmová & Teimouri 2009).

Svalová vlákna vznikají z myogenních prekurzorových buněk zvaných myoblasty, které se množí, poté fúzí a vytvářejí myotubuly a nakonec se diferencují na svalová vlákna (Picard et al. 2002). Strukturální integrita svalových vláken je udržována třemi vrstvami intramuskulární pojivové tkáně, endomysia, perimysia a epimysia (Ismail & Joo 2017). Endomysium obklopuje jednotlivá svalová vlákna, perimysium obklopuje svazky svalových vláken (Velleman et al. 2014) a epimysium je vrstva pojivové tkáně, která obklopuje celý kosterní sval (Astruc 2014).

3.2.1.1 Typy svalových vláken

Jak již bylo zmíněno v kapitole „3.2 Kosterní svalovina“, existuje několik typů svalových vláken. Vlákná kosterního svalstva jsou různorodá a liší se mezi sebou energetickým metabolismem, kontraktilními vlastnostmi a barvou (Picard et al. 2002).

Na základě jejich kontraktilní a metabolické aktivity lze klasifikovat na nejméně tři typy v závislosti na použitých metodách. Nejzákladnější je dělení na pomalá oxidační vlákna označená jako typ I, rychlá oxidačně-glykolytická vlákna značená jako typ IIA a rychlá glykolytická vlákna nazvaná jako typ IIB (Maltin et al. 2003). Ismail & Joo (2017) uvádějí jako rychlá glykolytická vlákna navíc ještě typ IIX.

Dle barvy lze vlákna rozdělit na bílá a červená. Jejich barva závisí na množství červeného barviva myoglobinu. Rychlá vlákna jsou obvykle bílá, zatímco pomalá vlákna jsou spíše červená (Čihák 2001). S tím koresponduje tvrzení uvedené ve studii Ismail & Joo (2017), že vlákna typu I mají vyšší obsah myoglobinu.

Zastoupení typů vláken se v různých svalech liší. Například *musculus biceps femoris* u kuřat je tvořen svalovými vlákny typu I, IIA i IIB (Tůmová & Teimouri 2009; Mehmood & Zhang 2020), zatímco *musculus pectoralis major*, hlavní sval prsní svaloviny, je u kuřat složený pouze z glykolytických svalových vláken typu IIB (Tůmová & Teimouri 2009; Velleman et al. 2014; Chodová & Tůmová 2017).

3.2.1.2 Charakteristiky svalových vláken

Mezi charakteristiky svalových vláken patří jejich celkový počet, plocha průřezu a typ vlákna (Tůmová & Teimouri 2009; Ismail & Joo 2017). Tyto vlastnosti svalových vláken se liší v závislosti na různých faktorech, jako je druh zvířete, konkrétní plemeno, pohlaví, genotyp, systém chovu, výživa, systém krmení, vývoj růstu, věk zvířete a umístění svalu (Ismail & Joo 2017).

Celkový počet svalových vláken je u každého plemene ptáků stanoven již před vylíhnutím (Picard et al. 2002; Tůmová & Teimouri 2009), přičemž u rychle rostoucích genotypů kuřat jsou vlákna početnější než u pomalu rostoucích (Fanatico et al. 2007a). Protože jádra svalových vláken nejsou schopna mitózy, k růstu kosterního svalu po vylíhnutí dochází primárně prostřednictvím hypertrofie svalových vláken (Tejeda et al. 2019), tedy zvětšením jejich průměru a délky (Koomkrong et al. 2015) nikoli zvýšením počtu vláken (Chodová & Tůmová 2017).

K hypertrofii svalových vláken u mladých ptáků dochází díky rozsáhlé depozici myofibrilárních proteinů ve svalových vláknech a vede k delším svalovým vláknům s větší plochou průřezu. Hypertrofický růst svalů je zprostředkován přidáním jader ke svalovým vláknům prostřednictvím splynutí jednojaderných kmenových buněk, nazývaných také satelitní buňky, se stávajícími svalovými vlákny (Tejeda et al. 2019).

Satelitní buňky jsou umístěné mezi bazální membránou a sarkolemou vláken kosterního svalstva. Jedná se o multipotentní kmenové buňky, které mohou podstoupit myogenní, osteogenní nebo adipogenní buněčnou diferenciaci. U brojlerů mají satelitní

buňky maximální mitotickou aktivitu bezprostředně po vylíhnutí a z hlediska jejich proliferace a diferenciaci jsou citlivé na výživu (Velleman et al. 2014).

Průměr svalových vláken se pohybuje od 10 do 100 μm . Průměrná velikost vlákna *musculus (m.) pectoralis major*, *m. biceps femoris*, *m. extensor hallucis longus* a *m. gastrocnemius* u brojlerových kuřat je 60; 51,6; 59,8 a 60,45 μm . Rychle rostoucí kuřata navíc mají vlákna většího průměru než pomalu rostoucí linie (Fanatico et al. 2007a; Tůmová & Teimouri 2009). Délka svalových vláken může být od pár milimetrů až po více než 30 cm a pokud jde o plochu průřezu svalových vláken, u drůbeže se zvyšuje s věkem (Tůmová & Teimouri 2009). Stará zvířata s vyšší hmotností jatečně upraveného těla vykazují větší plochu průřezu svalových vláken a silnější perimysium a endomysium než mladá zvířata s nižší hmotností jatečně upraveného těla (Koomkrong et al. 2015).

Již v předchozí podkapitole byly popsány typy svalových vláken. Pokud jde o jejich velikost, Klont et al. (1998) píše, že vlákna typu I jsou nejmenší, vlákna typu IIB mají největší průměr a vlákna typu IIA mají střední velikost. Kromě toho mají vlákna typu I a IIA vyšší obsah lipidů a myoglobinu a více kapilár na vlákno než vlákna typu IIB. Tůmová & Teimouri (2009) a Ismail & Joo (2017) zmiňují také to, že glykolytická vlákna vykazují největší plochu průřezu svalovými vlákny. Zvýšení podílu glykolytických vláken tedy vede ke zvýšení svalové hmotnosti.

Konečná svalová hmota je tedy výsledkem spojení všech charakteristik svalových vláken. Jejich celkového počtu, plochy průřezu i typu vláken (Tůmová & Teimouri 2009; Ismail & Joo 2017). V práci Koomkrong et al. (2015) bylo zjištěno, že větší tělesná hmotnost kuřat je založena na větším průměru a ploše svalových vláken a menší hustotě svalových vláken. Dále uvádějí, že zvýšení živé hmotnosti a procentní zastoupení prsní svaloviny pozitivně koreluje s průměrem vláken a plochou svalu.

U drůbežního masa se ukázalo, že charakteristiky svalových vláken hrají klíčovou roli v kvalitě masa (Picard et al. 2002; Chodová & Tůmová 2017; Ismail & Joo 2017). Hlavními parametry svalových vláken, které určují kvalitu masa, jsou celkový počet vláken spolu s plochou průřezu svalových vláken (Chodová & Tůmová 2017; Ismail & Joo 2017). Například zvýšení plochy průřezu u vláken typu IIA vede k produkci tvrdšího masa (Mehmood & Zhang 2020). Fanatico et al. (2007a) píše, že extrémní hypertrofie svalových vláken je indikátorem špatné kvality masa a je tedy třeba zvolit přiměřenější velikost vláken. Mnoho prací se tak zaměřuje právě na charakteristiky svalových vláken a možnosti jak je ovlivnit.

3.3 Krmení kuřat

Ve výkrmu brojlerů představuje krmivo největší náklady. Z celkových nákladů na výrobu tvoří krmivo až 70 % (Aviagen 2018; Zampiga et al. 2018).

Výživa brojlerových kuřat je velice důležitým faktorem, ovlivňujícím ziskovost, produktivitu a pohodu kuřat. Pro optimální užitkovost kuřat je nutné, aby překládané krmivo splňovalo co nejlépe požadavky na potřebu energie, proteinů a aminokyselin, minerálů, vitamínů a esenciálních mastných kyselin (Aviagen 2018).

Hlavní využívanou složkou těl brojlerových kuřat jsou měkké tkáně, které jsou tvořeny především proteiny. Protein požadovaný brojlerovým kuřetem závisí především na množství potřebném pro udržení zdraví, integrity tkáně a pro produktivní účely. Rychlý růst brojlerových kuřat proto vyžaduje vysoce kvalitní krmné směsi, aby kuřata dostatečně uspokojila své požadavky na živiny (Hascik et al. 2010).

3.3.1 Krmné směsi

Východiskem pro tvorbu krmných směsí a jejich složení je snaha o maximalizaci produkce vyjádřené převážně přírůstkem hmotnosti při neekonomičtějším využití krmiva a dosažení nejvyššího zisku (Hascik et al. 2010). Efektivita krmiva představuje jeden z nejdůležitějších parametrů v živočišné výrobě a můžeme ji definovat jako schopnost zvířete přeměňovat krmivo na tělesnou hmotnost. Efektivitu krmiva lze vyjádřit pomocí konverze krmiva, tedy poměrem mezi příjmem krmiva a přírůstkem tělesné hmotnosti. Další možností stanovení efektivity krmiva je reziduální příjem krmiva. Jedná se o rozdíl mezi skutečným příjmem krmiva a předpokládaným příjmem na základě odhadovaných požadavků na záchovu, růst a produkci (Zampiga et al. 2018). Požadavky na živiny jsou speciální pro každou hybridní kombinaci kuřat (Hascik et al. 2010).

Krmné směsi pro brojlerová kuřata mohou být ve formě granulí, drcených granulí nebo také v sypké formě (Hascik et al. 2010; Aviagen 2018). Nejvhodnější jsou však směsi granulované, jelikož při jejich použití dochází k nejnižším ztrátám, které by jinak vedly ke snížení efektivity krmiva.

Ve výkrmu kuřat jsou používány směsi BR1, BR2 a BR3. Směsi BR1 označujeme jako Starter a krmí se během prvních 10, maximálně 14 dní věku kuřat. Běžné je krmení touto směsí do desátého dne věku. Pokud však do této doby kuřata nedosáhnou požadované hmotnosti, je možné směs krmit do čtrnáctého dne. Starter je obvykle krmen ve formě drcených granulí nebo mini-granulí. Následuje směs BR2 - Grower, která se krmí po dobu 14–16 dní a je v granulované formě. Jako poslední se podává směs BR3 - Finisher. Tato směs se krmí obvykle ve stáří kuřat od 25 dnů dále (Aviagen 2018). Tabulka níže ukazuje, v jaké formě se krmiva podávají v určitém věku kuřat.

Tab. 1 - Forma krmiva a doporučená velikost částic podle věku kuřat (Aviagen 2018)

Věk kuřat	Forma krmiva	Velikost částic
0–10 dní	Prosáté drcené granule	1,5–3,0 mm průměru
	Mini-granule	1,6–2,4 mm průměru 1,5–3,0 mm délky
11–18 dní	Mini-granule	1,6–2,4 mm průměru 4,0–7,0 mm délky
18 dní a více	Granule	3,0–4,0 mm průměru 5,0–8,0 mm délky

3.3.2 Složení krmných směsí

Dle Aviagen (2018) jsou základními složkami krmné směsi pšenice, kukuřice, sójový šrot, plnotučná sója, slunečnicový šrot, řepkový šrot, oleje a tuky, vápenec, fosfát, sůl, soda bikarbona, minerály a vitamíny a také další přísady jako enzymy a látky vázající mykotoxiny.

Velmi důležité je množství energie, kterou krmivo obsahuje. Pro drůbež se obsah energie v krmivu vyjadřuje v MJ/kg nebo kcal/kg metabolizovatelné energie opravené na nulovou retenci dusíku (ME_N), tedy energie, kterou kuře dokáže využít (Aviagen 2018).

Následující tabulka uvádí jedno z možných složení krmných směsí. Jedná se o krmné směsi využití ve studii Tejada et al. (2019), kde byla kuřata krmena běžnou směsí na bázi kukuřice a sójového extrahovaného šrotu. Směsi byly formulovány na základě doporučení chovatelů pro hybridy Ross.

Tab. 2 - Suroviny a obsah živin v krmivech pro brojlerová kuřata chovaná do 43 dnů věku (Tejada et al. 2019)

Suroviny (%)	Starter den 1-13	Grower den 14-27	Finisher den 28-43
kukuřice	57,65	61,09	68,16
sójový extrahovaný šrot (48 % hrubého proteinu)	35,15	31,66	25,61
drůbeží tuk ¹	3,06	3,00	2,98
chlorid sodný	0,45	0,45	0,46
fosforečnan vápenatý	1,72	1,48	1,38
uhličitan vápenatý	1,28	1,18	1,00
DL-Methionin	0,31	0,89	0,16
L-Lysin hydrochlorid 98%	0,13	-	-
Vitamínový premix ²	0,10	0,05	0,05
Minerální premix ³	0,10	0,10	0,10
cholinchlorid 60%	0,05	0,05	0,05
CELKEM	100	100	100
Obsah živin			
ME (kcal/kg)	3064	3090	3182
Hrubý protein (%)	21,50	20,30	17,50
Methionin + Cystein (%)	1,00	1,50	0,75
Lysin (%)	1,30	1,10	0,93
Vápník (%)	0,95	0,85	0,75
Dostupný fosfor (%)	0,45	0,40	0,38

¹ - 1 % tuku bylo přidáno přímo do směsi a zbylá 2 % byla nastříkána na pelety

² - Vitaminový premix poskytoval na kilogram stravy následující: vitamin A (vitamin A acetát), 9 370 IU; Vitamin D (cholecalciferol), 3 300 IU; Vitamin E (DL-alfa tokoferylacetát), 33 IU; menadion (komplex menadionu hydrogensíranu sodného), 2 mg; Vitamin B12 (kyanokobalamin), 0,02 mg; folacin (kyselina listová), 1,3 mg; kyselina D-pantothenová (pantothenát vápenatý), 15 mg; riboflavin, 11 mg; niacin (niacinamid), 44 mg; thiamin (thiamin mononitrát), 2,7 mg; D-biotin, 0,09 mg; pyridoxin (pyridoxin hydrochlorid), 3,8 mg

³ - Minerální premix poskytoval na kg stravy následující: Mn (síran manganatý), 120 mg; Zn (síran zinečnatý), 100 mg; Fe (monohydrát síranu železitého), 30 mg; Cu (tri-bazický chlorid měďnatý), 8 mg; I (stabilizovaný ethylendiamin dihydriodid), 1,4 mg; Se (seleničitan sodný), 0,3 mg.

3.3.3 Techniky krmení

V komerčních líhních jsou kuřata často díky manipulaci a přepravě po vylíhnutí bez krmiva po dobu až 72 hodin. Po tuto dobu kuře využívá živiny získané ze žloutku. Během prvních 2 týdnů po vylíhnutí se pak běžně používají restrikce krmení, které pomáhají kontrolovat metabolické poruchy, jako je ascites a problémy s vývojem skeletu, jako je tibiální dyschondroplazie (Velleman et al. 2014). Také van der Klein et al. (2017) uvádějí, že omezení krmiva u brojlerových kuřat je zaměřeno na prevenci metabolických poruch a dále pak na zvýšení účinnosti krmiva nebo manipulaci s konformací jatečně upraveného těla. Farghly et al. (2019) navíc píše, že volný přístup ke krmivu obvykle vede ke spotřebě, která 2–3× převyšuje požadavky na záchovu a produkci brojlerových kuřat. Přebytečná energie se přeměňuje na tuk, což snižuje kvalitu masa a účinnost krmiva. Programy restrikce krmení jsou tedy i podle autorů této studie jednou z hlavních technik zvyšování efektivity produkce brojlerových kuřat, kontroly určitých problémů (syndrom náhlého úhynu a ascitu) a zmírnění rychlosti růstu kuřat. Chodová & Tůmová (2017) taktéž konstatují, že rychlý růst je spojen s vyšším ukládáním tuku v těle a dále také s úmrtností a zvyšováním metabolických a kostních poruch.

U brojlerových kuřat lze restrikce krmení použít ke kontrole růstových křivek a výskytu některých metabolických poruch a nemocí spojených s vysokou rychlostí růstu kuřat. Plány omezení krmiv by nicméně měly zaručovat stejnou produktivitu a kvalitu jatečně upraveného těla jako krmení *ad libitum* (Gratta et al. 2019).

Existují dvě hlavní metody restrikce krmení a každá z nich má svůj vlastní účinek na produkční výkon. Jedná se o kvalitativní nebo kvantitativní restrikci krmení. Kvalitativní restrikce krmiva je definována jako omezení specifického příjmu živin zředěním výživy. U kvantitativní restrikce krmiva jde o snížení příjmu živin snížením množství podávaného krmiva (van der Klein et al. 2017).

Tato omezení obvykle nevedou k významnému snížení tělesné hmotnosti v době porážky, a to díky kompenzačnímu růstu. Ke kompenzačnímu růstu dochází po období restrikce, kdy se kuřata krmí *ad libitum* a je u nich vyšší účinnost krmení a rychlost růstu. Rozsah, v jakém kuřata vykazují kompenzační růst, závisí na mnoha faktorech, jako je prostředí, období a způsob aplikovaného omezení, plemeno a pohlaví (Velleman et al. 2014; van der Klein et al. 2017). Podle Chodové & Tůmové (2017) včasné omezení krmení u kuřat brojlerů stimuluje kompenzační růst v období realimentace a indikuje účinnost využití krmiva.

3.3.3.1 Vliv techniky krmení

V růstu brojlerových kuřat je výživa složitým předmětem zásadního významu a adekvátní výživa je klíčem k normálnímu růstu kosterního svalstva. Restrikce krmiva krátkodobě zpomaluje růst postnatálního svalstva u brojlerových kuřat, ale dlouhodobě může vyvolat zrychlenou hypertrofii svalových vláken (Tůmová & Teimouri 2009). Vliv restrikcí krmiva je díky tomu zkoumán v mnoha studiích.

Autoři Trocino et al. (2015) například provedli experiment za použití kvantitativní restrikce, kdy bylo do porážky ve 46 dnech vykrmováno celkem 768 brojlerových kuřat obou pohlaví. Polovina zvířat byla krmena *ad libitum* a zbývající polovina byla omezena v období, kdy byl jejich věk 13 až 21 dnů. Kuřata v restrikci dostala 80 % množství krmiva spotřebovaného kuřaty kmenými *ad libitum* z předchozího dne.

V experimentu se ukázalo, že režim krmení ovlivnil užitek brojlerových kuřat. Omezení krmení kuřat ve věku 13 až 21 dní zhoršilo jejich živou hmotnost ve věku 22 dní (-15 %; $P < 0,001$), a to z důvodu nižšího příjmu krmiva (-16 %; $P < 0,001$). Dále se zmenšil také denní přírůstek hmotnosti (-15 %; $P < 0,001$) během restrikčního období ve srovnání s brojlerovými kuřaty kmenými *ad libitum*. Na konci této studie vážila restringovaná kuřata méně (-2 %; $P < 0,010$) navzdory kompenzačnímu růstu (+ 4 %; $P < 0,001$) měřenému po období restrikce krmiva. Omezení krmiva však zlepšilo konverzi krmiva po restrikčním období (3 %; $P < 0,001$) i během celého pokusu (2 %; $P < 0,010$).

Jak se tedy dalo očekávat, režim krmení narušil rychlost růstu brojlerů během období restrikce, tj. od 13 do 21 dnů. Během období realimentace však dříve restringovaní ptáci vykazovali kompenzační růst, který jim umožňoval snižovat rozdíly v konečné živé hmotnosti, i když ta byla na konci experimentu stále nižší (*ad libitum*: 3 194 g vs. kuřata v restrikci: 3 142 g; $P < 0,010$) oproti ptákům kmeným *ad libitum* (Trocino et al. 2015).

V dřívějším výzkumu Velleman et al. (2014) byl studován vliv načasování restrikce krmení po vylíhnutí na vývoj *musculus pectoralis major* u brojlerových kuřat při uplatnění 20% omezení příjmu buď v prvním, nebo druhém týdnu po vylíhnutí. Experiment byl proveden s 480 kohouty Ross 308. Brojlerová kuřata v líhni byla rozdělena na plně kmenou (kontrolní) skupinu a skupinu s 20% omezením krmení buď první, nebo druhý týden po vylíhnutí. Stejně jako ve výše uvedené studii Trocino et al. (2015) byla tedy kuřata krmena 80 % *ad libitum*. Na konci restrikce byla kuřata krmena plnohodnotnou dietou *ad libitum* bez dalších omezení až do čtyřicátého druhého dne věku, kdy byl pokus ukončen.

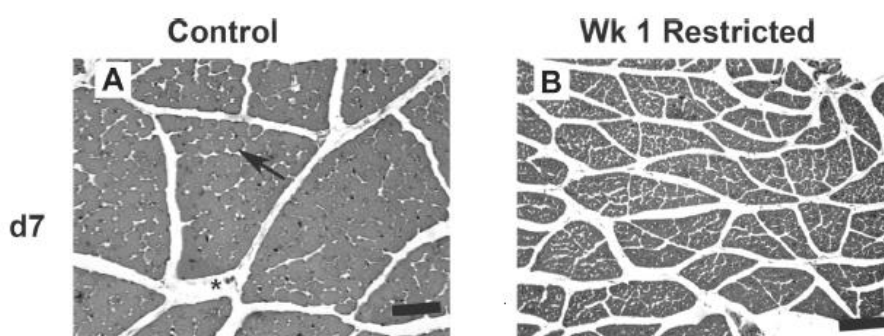
Také v této studii byl zkoumán vliv restrikce na živou hmotnost kuřat. Ovšem oproti předchozí uvedené studii, kuřata, která byla podrobena restrikci během prvního týdne, tedy ve věku 0–7 dní měla sníženou živou hmotnost ve věku od 2 do 11 dní, ale po jedenáctém dni nebyl pozorován v živé hmotnosti omezených a kontrolních kuřat významný rozdíl. U kuřat s omezením krmné dávky ve druhém týdnu po vylíhnutí, tedy ve věku 8–14 dní byla živá hmotnost snížena od 10. do 26. dne věku. Stejně jako u ptáků restringovaných v prvním týdnu však ani u těchto kuřat nebyl na konci pokusu ve 42 dnech žádný významný rozdíl v živé hmotnosti mezi kontrolní a experimentální skupinou.

Po dobu obou pokusů s restrikcí příjmu potravy byla měřena také hmotnost svalu *pectoralis major*. Ani v jedné z experimentálních skupin nebyla na konci pokusu hmotnost prsního svalu ovlivněna. U kuřat omezených první týden po vylíhnutí byla snížená hmotnost prsní svaloviny pouze do 11. dne, zatímco restrikce krmení druhý týden po vylíhnutí snížila hmotnost prsní svaloviny ve srovnání s kontrolou v 6, 10, 18, 22 a 26 dnech.

V tomto experimentu byla zkoumána dále šířka svalového vlákna. Ta byla ovlivněna načasováním omezení krmení. U omezení příjmu potravy během prvního týdne po vylíhnutí

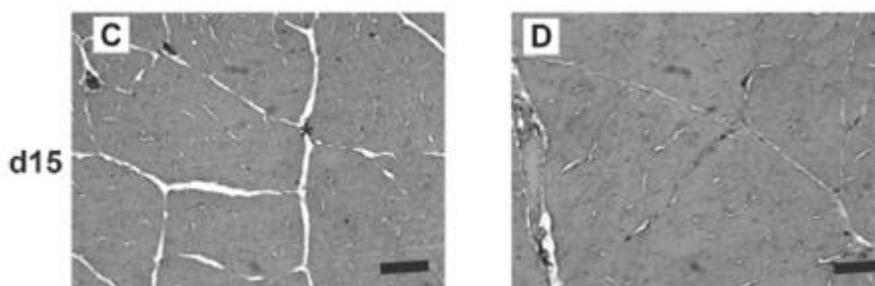
byla šířka svalových vláken snížena od třetího do jedenáctého dne ve srovnání s kontrolou ($P < 0,050$). V patnáctém dni ale průměr svalových vláken omezené skupiny dokonce překročil kontrolní skupinu. Šířka vláken ve skupině s omezením příjmu v druhém týdnu po vylíhnutí byla ve srovnání s kontrolou snížena, a to ve dnech 6, 10, 18 a 22 ($P < 0,050$). Pouze v osmém dni byla šířka vláken experimentální skupiny větší než u kontrolní skupiny. Nicméně po období restriktce už šířka svalového vlákna u kuřat omezených v druhém týdnu nikdy nepřekročila kontrolní skupinu krmenou *ad libitum*.

Dalším zkoumaným jevem byla morfologická struktura *musculus pectoralis major*. Ve věku 7 dní měl prsní sval kontrolní skupiny dobře vyvinutá jednotlivá svalová vlákna a svazky, zatímco svazky svalových vláken a velikost vláken skupiny kuřat omezených v prvním týdnu po vylíhnutí byly ve věku sedmi dní významně menší než u kontrolní skupiny. V obou skupinách byl v sedmém dni patrný rozestup perimysiální a endomysiální pojivové tkáně mezi svazky vláken a jednotlivými vlákny. Toto vše je vidět na Obr. 1.

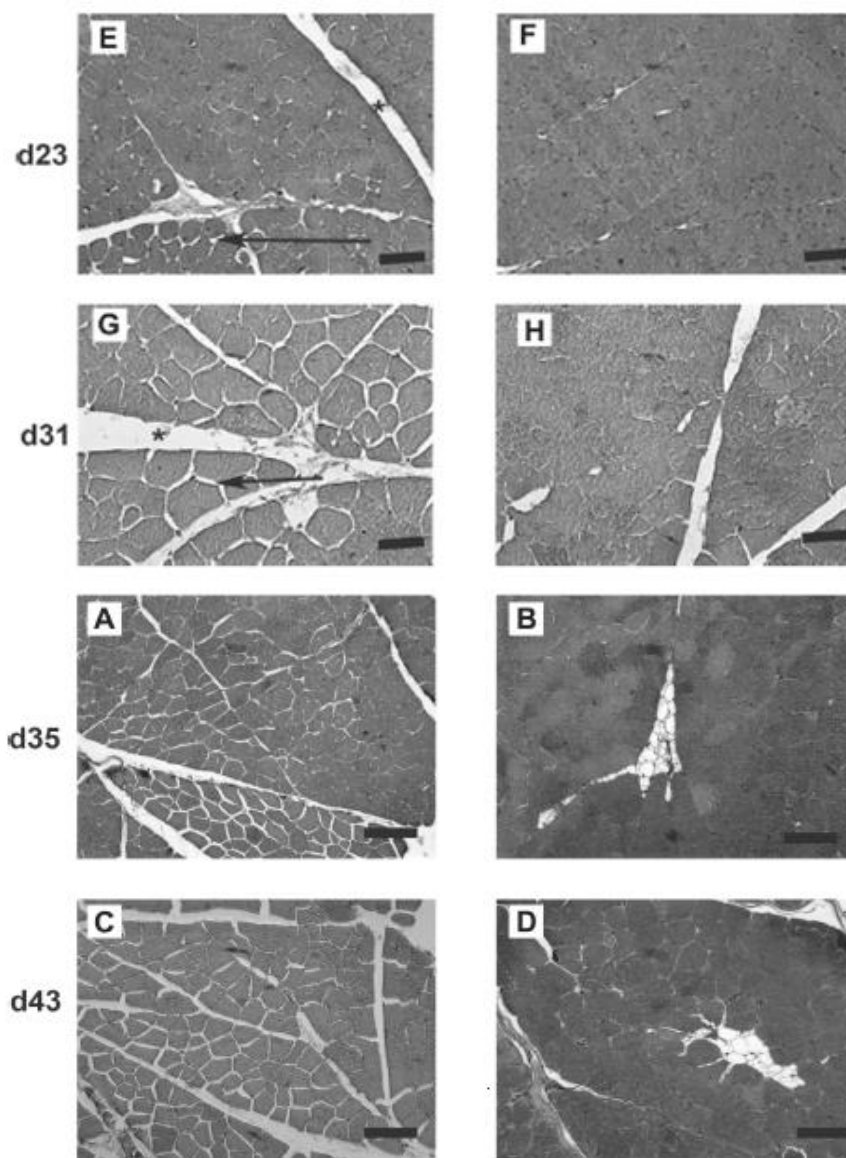


Obr. 1 - Morfologická struktura *m. pectoralis major* v 7 dnech věku kuřat (Velleman et al. 2014)

Rozestupy perimysiální a endomysiální tkáně byly u kontrolní skupiny udrženy po celou dobu experimentu (Obr. 1A; Obr. 2C; Obr. 3E, G, A a C). Naproti tomu ve skupině ptáků s omezeným příjmem krmiva v prvním týdnu byly rozestupy pojivové tkáně ve srovnání s kontrolní skupinou do patnáctého dne zmenšeny a zmenšení rozestupů pojivové tkáně bylo zřetelné i na konci experimentu, jak je patrné z Obr. 1B, Obr. 2D a Obr. 3F, H, B a D. V 15. dni věku bylo v kontrolní skupině naměřeno perimysium $16,10 \pm 1,20 \mu\text{m}$ ve srovnání s $12,83 \pm 0,911 \mu\text{m}$ u skupiny s omezeným krměním v prvním týdnu. Díky zmenšení vzdálenosti endomysiálních pojivových tkání navíc nebyla zřetelná jednotlivá svalová vlákna, což ukazuje Obr. 3B a D uvedený na následující straně.

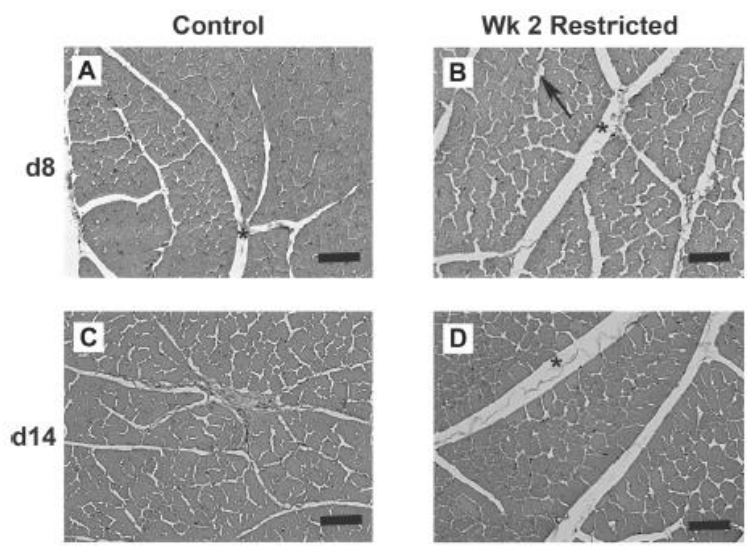


Obr. 2 - Morfologická struktura *m. pectoralis major* v 15 dnech věku kuřat (Velleman et al. 2014)

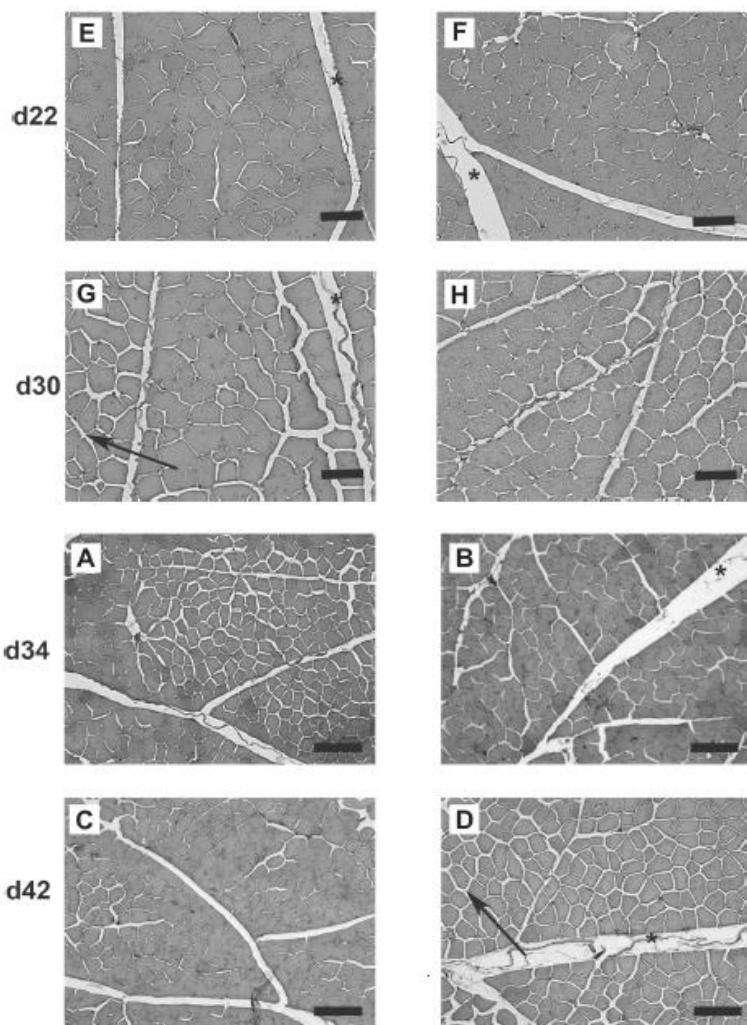


Obr. 3 - Morfologická struktura *m. pectoralis major* ve dnech 23, 31, 35 a 43 (Velleman et al. 2014)

U ptáků krmených *ad libitum* během 1. týdne, kteří byli podrobeni restrikci až během druhého týdne, byla svalová morfológická struktura podobná kontrolnímu svalu *pectoralis major* a ve všech věkových skupinách byl jak v kontrolní, tak v experimentální skupině přítomen perimysiólní i endomysiólní odstup pojivové tkáně, jak dokládají Obr. 4 a Obr. 5 na následující stránce.



Obr. 4 - Morfologická struktura *m. pectoralis major* ve dnech 8 a 14 (Velleman et al. 2014)



Obr. 5 - Morfologická struktura *m. pectoralis major* ve dnech 22, 30, 34 a 42 (Velleman et al. 2014)

Na závěr této studie autoři konstatují výsledky ukazující, že načasování, kdy je po vylíhnutí použito omezení krmení, může ovlivnit vývoj *musculus pectoralis major* na buněčné nebo tkáňové úrovni, i když není snížena konečná hmotnost, což má důležité důsledky pro funkční a kvalitativní vlastnosti svalu (Velleman et al. 2014).

Jak restrikce krmení ovlivňuje *musculus pectoralis major* bylo také předmětem výzkumu Chodové & Tůmové (2017), ve kterém byl zkoumán vliv kvantitativní restrikce na histologické charakteristiky *musculus pectoralis major* u brojlerových kuřat.

Jednalo se o jednotýdenní restrikci ve věku kuřat 8–14 dní. Použito bylo 1215 kuřat, kohoutů Ross 308, kteří byli rozděleni do tří skupin. V jedné skupině byla kuřata krmena *ad libitum*, ve druhé 80 % z *ad libitum* a ve třetí bylo krmivo omezeno na 65 % z *ad libitum*. Pro určení změn v charakteristikách svalových vláken bylo každý týden z každé skupiny poraženo 8 kohoutků, a to od 14. dne věku kohoutků až do konce experimentu v 35 dnech.

Výsledkem této studie bylo zjištění, že omezení krmiva má pozitivní vliv na míru úmrtnosti a nejnižší úmrtnost byla pozorována ve skupině s nejintenzivnějším omezením krmení. Dále bylo zjištěno, že počet svalových vláken se s postupujícím věkem významně snižoval ($P \leq 0,001$).

Pokud jde o histologické charakteristiky, na konci experimentu měla skupina s nejintenzivnějším omezením příjmu krmiva největší plochu průřezu svalových vláken, a sice $2296 \mu\text{m}^2$, zatímco skupina s mírným omezením příjmu (80 % z *ad libitum*) neměla významně větší plochu průřezu svalových vláken ve srovnání se skupinou krmenu *ad libitum*. Naměřené hodnoty byly $1728 \mu\text{m}^2$ u restringované skupiny a $1667 \mu\text{m}^2$ u skupiny s *ad libitum* krmivem. V tomto experimentu se plocha průřezu svalových vláken významně zvýšila také s postupujícím věkem ($P \leq 0,001$).

Průměr svalových vláken byl významně ovlivněn režimem krmení ($P \leq 0,041$) s větším průměrem v obou omezených skupinách ve věku 35 dnů, kdy byly rozdíly nejvíce patrné. Průměr se, podobně jako plocha průřezu svalových vláken, s postupujícím věkem zvětšoval ($P \leq 0,001$). Oproti tomu počet svalových vláken *musculus pectoralis major* se zvyšujícím se věkem klesal ($P \leq 0,001$). Režim krmení však na počet svalových vláken žádný vliv neměl. Jak již bylo zmíněno v podkapitole „3.2.1.2 Charakteristiky svalových vláken“, počet svalových vláken je stabilizován již v době líhnutí.

Stejně jako v experimentu Velleman et al. (2014) v této studii režim krmení taktéž neovlivnil konečnou živou hmotnost kuřat (Chodová & Tůmová 2017).

Vliv na konečnou tělesnou hmotnost, spolu s dalšími parametry, kterými byly příjem krmiva, průměrný denní přírůstek, poměr konverze krmiva, charakterizace alometrického růstu prsního svalu, nohou, břišních tukových polštářků, jater, gastrointestinálního traktu (GIT) a srdce, zjišťovali ve své studii van der Klein et al. (2017).

Kuřata byla během studie podrobena kvantitativním restrikcím v různé míře. Jako kontrola sloužila kuřata krmená *ad libitum*, zatímco experimentální skupina kuřat byla krmena buď 90, 80 nebo 70 % z očekávaného příjmu potravy *ad libitum*, a sice během druhého týdne života (ve dnech 8–14), anebo 95, 90, 85 nebo 80 % z očekávaného příjmu potravy *ad libitum*, a to během třetího týdne života (ve dnech 15–21). Experiment byl

proveden s 314 kuřaty Ross 308 obou pohlaví v poměru přibližně 1:1 a ukončen byl ve věku kuřat 35 dní.

U krmení 70 % z *ad libitum* během druhého týdne a 80 % během třetího týdne byl nižší průměrný denní přírůstek během restriktivního období a nižší byla i tělesná hmotnost na konci restriktivního období. Kuřata ale vykazovala úplný kompenzační růst během jednoho týdne po restriktivním období a na konci pokusu nebyly nalezeny žádné významné účinky restrikce na tělesnou hmotnost, stejně jako tomu bylo u pokusů autorů Velleman et al. (2014) a Chodová & Tůmová (2017). Ve srovnání s experimentem Trocino et al. (2015) se však nepotvrdily významné účinky na zlepšení konverze krmiva. Restrikce dle práce van der Klein et al. (2017) neměla statisticky významný vliv ani na tukové polštářky, prázdný GIT, prsní sval, srdce, nohy a hmotnost jater. Nicméně alometrická růstová křivka pro prsní sval byla nižší u ptáků krmených 80 a 85 % z *ad libitum* během třetího týdne a u ptáků krmených 70 % z *ad libitum* ve druhém týdnu. Hmotnost prsního svalu na konci experimentu však nebyla ovlivněna žádným z restriktivních šetření.

Na snížení průměrného denního přírůstku i tělesné hmotnosti přímo po období restrikce měla vliv všechna použitá restriktivní šetření, avšak pouze kuřata krmená 70 % z *ad libitum* během druhého týdne života a kuřata krmená 80 % z *ad libitum* během třetího týdne života se v těchto parametrech významně lišila od kontrolní skupiny.

Nižší restrikce krmiva zároveň ukázaly nejméně důkazů o kompenzačním růstu a bylo předpokládáno, že u kuřat může být nezbytná určitá prahová úroveň restrikce krmení (např. 80 % z *ad libitum* na jeden týden), aby mohla upravit jejich rychlost metabolismu tak, aby bylo možné realizovat výhody kompenzačního růstu.

Z této studie lze tedy dle autorů vyvodit, že mírné omezení krmiva (až 70 % příjmu z *ad libitum* ve druhém týdnu a až 80 % příjmu z *ad libitum* během třetího týdne) lze u brojlerových kuřat použít, aniž by došlo k ohrožení konečné tělesné hmotnosti. Krmení 70 % *ad libitum* během druhého týdne navíc může snížit hmotnost břišních tukových polštářků, aniž by se snížil růst prsních svalů. Omezení krmení během třetího týdne života se ovšem zdá nežádoucí, protože křivka růstu prsních svalů byla u takto omezených ptáků snížena (van der Klein et al. 2017).

Kvalitativní restrikcí se zabývala například studie Butzen et al. (2013). Ve svém experimentu použili 384 samců a 384 samic brojlerových kuřat Cobb 500, které restringovali ve věku 8–16 dní. Kvalitativní restrikce spočívala v krmení kuřat krmnou směsí zředěnou 10 % kaolinu a 10 % rýžových slupek na 80% kvalitu v obsahu živin. Jejich experiment však nepotvrdil vhodnost této restrikce pro zpomalení růstu a jeho následnou kompenzaci při realimentaci, jelikož provedená restrikce nijak neovlivnila tělesnou hmotnost kuřat během pokusu. Samci a samice kuřat totiž během restriktivního období konzumovali v průměru o 25 a 22 % více krmiva, než ptáci krmení běžnou krmnou směsí, aby naplnili své nutriční požadavky pro růst.

Naproti tomu Rezaei & Hajati (2010) zkoumali účinek zředění energie a proteinů v krmivu ve věku kuřat 16 až 20 dnů a dosáhli pozitivních výsledků. Použito bylo 144 kuřat Cobb 500 obou pohlaví a předloženy jim byly diety zředěné 0, 20 nebo 40 % rýžových slupek.

Během období restriktce byl sice zvýšen poměr konverze krmiva, ale za předpokladu, že slupky rýže jsou nestravitelné, byl přepočítaný poměr přijatého krmiva nižší. Zředění stravy tedy nemělo po celou dobu experimentu významný vliv na poměr konverze krmiva brojlerových kuřat ve srovnání s kontrolní skupinou, ale při vyloučení rýžových slupek z výpočtu, měli ptáci krmení dietou zředěnou 20 % rýžových slupek nižší poměr konverze krmiva. Podobně během období realimentace (21–44 dní) měli ptáci krmení 20% zředěním nejnižší poměr konverze krmiva ze všech skupin.

Se zvyšující se úrovní ředění během restriktivního období poklesl přírůstek tělesné hmotnosti kuřat ve srovnání s kontrolní skupinou. Avšak díky kompenzačnímu růstu po restriktivním období měla omezená kuřata vyšší přírůstek tělesné hmotnosti než kontrolní skupina ve věku 44 dní, přičemž 20% zředění způsobilo nejvyšší přírůstek tělesné hmotnosti za celé období experimentu.

Použití slupek rýže až do 20 % od 16 do 20 dnů tedy nemělo žádný nepříznivý vliv na výkon brojlerových kuřat. Navíc bylo významně sníženo množství břišních tukových polštářků a hrubého tuku u jatečně upravených těl ve srovnání s jatečně upravenými těly kontrolních kuřat, zatímco hrubý protein v těle restringovaných kuřat byl zvýšen (Rezaei & Hajati 2010).

Vliv hladiny proteinů ve výživě a vliv stravitelnosti proteinů na růst a charakteristiky jatečně upravených těl brojlerových kuřat ve věku od 1 do 35 dnů hodnotili Widyaratne & Drew (2011). Celkem 320 kuřat bylo krmeno čtyřmi různými dietami o stejné kalorické hodnotě. Diety se rozlišovaly na základě obsahu proteinu na vysoko proteinové s 20 a 18 % proteinu, podávané ve dnech 1–14 a 15–35 s množstvím proteinu v uvedeném pořadí a nízko proteinové s 18 a 16 % proteinu, podávané opět ve dnech 1–14 a 15–35 v uvedeném pořadí. Dále byly rozlišeny dvě úrovně stravitelnosti na vysoce stravitelné se stravitelností proteinu přibližně 85 % a nízko stravitelné se zhruba 80% stravitelností proteinu.

V této studii měla kuřata krmená nízko proteinovou a zároveň nízko stravitelnou (LoPro-LoDig) dietou nižší průměrný denní přírůstek než ptáci krmení ostatními třemi použitými dietami. Během dní 15–35 měla interakce mezi hladinou proteinů a stravitelností proteinů ve výživě rovněž významný vliv na průměrný denní příjem krmiva a také na poměr konverze krmiva. Ptáci krmení dietou LoPro-LoDig měli významně nižší průměrný denní příjem krmiva a významně nižší konverzi krmiva než ptáci krmení dalšími 3 dietami, a to po celou dobu experimentu.

Interakce mezi hladinou proteinu a stravitelností byla významná taktéž pro konečnou hmotnost ptáků. Kuřata krmená dietou LoPro-LoDig měli výrazně nižší tělesnou hmotnost než ta krmená ostatními dietami.

Hladina bílkovin, ale ne stravitelnost, zvýšila celkový výtěžek *m. pectoralis major*. Naproti tomu stravitelnost bílkovin, ale nikoli hladina bílkovin, významně zvýšila množství břišního tuku. Ptáci krmení dietami s vysoce stravitelnými proteiny měli o 8 % více břišního tuku než ptáci krmení dietami s nízko stravitelnými proteiny.

Výsledky poměru účinnosti proteinů v tomto experimentu celkově ukazují, že pro nejefektivnější využití proteinů ve výživě, je vhodná kombinace vysoce stravitelných proteinů v nízko proteinové dietě.

Souhrnná zjištění této studie tedy naznačují, že nízko proteinové diety mohou podporovat růstový výkon stejně jako vysoko proteinové, pokud se používají vysoce stravitelné přísady. Maximální výtěžek prsního svalstva však vyžaduje výživu s vysokým obsahem proteinů a není ovlivněn stravitelností přísad (Widyaratne & Drew 2011).

Ve výživě drůbeže je největší pozornost věnována právě bílkovinným produktům, a to kvůli důležitosti proteinů jako hlavní složky biologicky aktivních sloučenin v těle. Proteiny pomáhají také při syntéze tělesné tkáně, při její obnově a růstu těla. Kromě toho protein existuje ve formě enzymů a hormonů, které hrají důležitou roli ve fyziologii jakéhokoli živého organismu. Brojlerová kuřata mají vysoké požadavky na proteiny ve výživě. Identifikace optimální koncentrace bílkovin v jejich výživě, buď pro maximalizaci výkonu, nebo zisku, tedy vyžaduje více znalostí o požadavcích ptáků na proteiny a aminokyseliny a jejich účincích na růstovou výkonnost a vývoj ptáků (Beski et al. 2015).

4 Metodika

Byl zkoumán vliv kvantitativní restrikce na charakteristiky svalových vláken u brojlerových kuřat genotypu Ross 308.

Po vylíhnutí bylo zastaveno 120 jednodenních kuřat, která byla rozdělena do 2 boxů na skupinu krmenou *ad libitum*, tedy skupinu kontrolní a skupinu s kvantitativní restrikcí, která je dále zmiňována jako skupina experimentální. U skupiny s restrikcí krmiva byla provedena restrikce 30 % ve srovnání s *ad libitum* příjmem. Bylo tedy podáváno 70 % *ad libitní* krmné dávky, a to od 14. do 21. dne věku. Kuřatům obou skupin byly zkrmovány krmné směsi BR1, BR2 a BR3, a to v následujících fázích. 1.–14. den byla krmena směs BR1, 15.–28. den byla krmena směs BR2 a 29.–31. den byla krmena směs BR3. Složení použitých krmných směsí zobrazuje Tabulka 3.

Tab. 3 - Složení krmných směsí

Suroviny (%)	BR1	BR2	BR3
Pšenice	46,25	59,54	64,11
Kukuřice	15,00	8,00	5,00
Sójový extr. šrot 48 %	30,65	25,70	22,85
Rybí moučka	1,00	-	-
Monokalciumfosfát	0,53	0,34	0,17
Uhličitan vápenatý	1,49	1,20	1,13
Sůl krmná	0,23	0,20	0,23
Olej sójový	3,05	1,00	-
Tuk živočišný	-	2,42	5,33
Síran sodný	0,11	0,12	0,08
Premixy aminokyselin	0,75	0,76	0,69
Premixy vit.,enz., DL, org. kys.	0,94	0,72	0,41
Obsah živin			
Dusíkaté látky (g/kg)	216,38	195,93	184,83
Tuk (g/kg)	51,00	52,72	70,89
Lysin str. (g/kg)	11,89	10,68	9,48
Methionin str. (g/kg)	5,64	4,94	4,39
Vápník fytáza (g/kg)	9,35	7,74	6,97
Fosfor využ. (g/kg)	4,49	3,90	3,51
Vitamin A (m.j./kg)	15000	9999	10000
Vitamin D3 (m.j./kg)	4998	4998	5000
Meabolizovatelná energie (MJ/kg)	12,55	12,89	13,49

Kuřata byla ustájena v bezokenní klimatizované hale na hluboké podestýlce při hustotě osazení 14,7 kuřat na 1 m². Ve výkrmu byly použity automatické kapátkové napáječky a ručně plněná tubusová krmítka.

Světelný režim byl 1.–7. den 23 hodin světla + 1 hodina tmy a 8.–32. den 18 hodin světla + 6 hodin tmy.

Všechna kuřata byla během experimentu vážena v týdenních intervalech. K porážce kuřat se přistupovalo při dosažení živé hmotnosti 2 kg. Této hmotnosti dosáhla kuřata genotypu Ross ve 32 dnech.

4.1 Histochemická analýza

Pro histochemickou analýzu byly ihned po porážce odebrány vzorky *musculus (m.) biceps femoris* a vzorky z pravé části *m. pectoralis major*. Vzorky byly zmrazeny ve 2-methylbutanu ochlazeném kapalným dusíkem (–156 °C), a poté skladovány při –80 °C až do analýzy. U každého vzorku byly při teplotě –20 °C získány průřezy o tloušťce 12 μm pomocí kryostatu Leica CM 1850 (Leica Microsystems Nussloch GmbH, Nussloch, Německo). Každý řez ze vzorků *m. biceps femoris* byl obarven podle aktivity myofibrilárních ATPáz po preinkubaci v alkalickém prostředí (pH 10,4) podle metodologie Brooke & Kaiser (1970). Dle intenzity zbarvení myofibrilární ATPázy byla svalová vlákna klasifikována jako typ I, IIA a IIB. Barvení vzorků *m. pectoralis major* pro stanovení základních histochemických charakteristik bylo prováděno pomocí hematoxylinu a eosinu. Charakteristiky svalových vláken, počet svalových vláken na 1 mm², plocha průřezu vlákna, průměr a kruhovitost, byly stanoveny pomocí počítačového systému pro analýzu obrazu NIS Elements AR 3.1 (Nikon, Tokio, Japonsko) a následně byla vypočítána distribuce typu vlákna.

4.2 Statistická analýza

Ke statistické analýze byl použit program SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, verze 9.4, 2013). Stanovená data byla vyhodnocována analýzou rozptylu metodou ANOVA. Dále byly Duncanovým testem vypočítány statisticky významné rozdíly mezi skupinami. Za průkazné hodnoty byly považovány všechny hodnoty na hladině významnosti $P \leq 0,05$. Výsledky byly prezentovány formou průměrů za skupinu a střední chybou průměru (SEM).

5 Výsledky

Výsledky této práce jsou znázorněny v následujících tabulkách a uvádí rozdíly v charakteristikách svalových vláken, a to rozdíly v hodnotách mezi kontrolní skupinou kuřat genotypu Ross 308, která byla krmena *ad libitum* a experimentální skupinou, která byla podrobena restrikci, jak bylo uvedeno v metodice experimentu.

Hladina významnosti (α) byla stanovena na 0,05 a za statisticky průkazné byly pokládány rozdíly s $P \leq 0,05$.

Živá hmotnost kuřat

Prvním z pozorovaných parametrů byla živá hmotnost kuřat, zaznamenávaná první den a následně vždy po sedmi dnech.

Tab. 4 - Živá hmotnost kuřat genotypu Ross 308

Skupina	Živá hmotnost (g)					
	1 den	7 dní	14 dní	21 dní	28 dní	32 dní
<i>ad libitum</i>	47,71	175,02	468,60	1046,10 ^a	1764,23 ^a	2004,08 ^a
restrikce	47,71	166,00	455,26	854,75 ^b	1538,19 ^b	1747,26 ^b
Průkaznost	0,941	0,821	0,678	0,040	0,043	0,031

P^{ab} – hodnota ve stejném sloupci označená jiným písmenem než předchozí se průkazně liší

Z Tabulky 4 je možné vyčíst, že živá hmotnost se mezi kontrolní a experimentální skupinou až do věku 14 dní významně nelišila. Ve věku 21 dní už však byla váha restringované skupiny prokazatelně nižší ($P = 0,040$). Stejně tak tomu bylo i při vážení ve věku 28 dní a 32 dní ($P = 0,043$ a $P = 0,031$ v uvedeném pořadí). Tato skutečnost odpovídá zavedení kvantitativní restrikce krmiva u experimentální skupiny od 14. dne. Díky omezené krmné dávce se živá hmotnost těchto kuřat začala od tohoto období oproti *ad libitně* krmeným snižovat a kompenzační růst nebyl ve výsledku dostačující.

Charakteristiky svalových vláken *m. biceps femoris*

Po porážce byly ze vzorků *m. biceps femoris* stanoveny základní charakteristiky svalových vláken u obou skupin kuřat. Výsledky jsou uvedeny v tabulce níže.

Tab. 5 - Charakteristiky svalových vláken *m. biceps femoris* v závislosti na technice krmení

Charakteristiky svalových vláken	Typ svalového vlákna	Skupina		SEM	Průkaznost
		<i>ad libitum</i>	restrikce		
Počet (ks/mm ²)	I	9,33	16,00	3,17	0,347
	IIA	6,67	13,33	3,83	0,446
	IIB	304,00	436,00	48,59	0,201
	CELKEM	320,00	465,33	49,33	0,155
Podíl (%)	I	3,27	3,29	0,62	0,991
	IIA	2,47	3,26	1,10	0,763
	IIB	94,26	93,46	1,22	0,782
Plocha (μm ²)	I	1392,66	1242,30	116,16	0,619
	IIA	2186,54	1792,61	169,03	0,288
	IIB	2437,24 ^a	1525,61 ^b	54,41	<0,001
Průměr (μm)	I	39,57	38,45	1,85	0,817
	IIA	52,16	47,06	2,27	0,306
	IIB	52,90 ^a	41,49 ^b	0,72	<0,001
Obvod (μm)	I	133,05	130,39	6,21	0,870
	IIA	179,59	164,23	8,03	0,387
	IIB	188,10 ^a	144,43 ^b	2,56	<0,001
Kruhovitost	I	0,86	0,86	0,01	0,873
	IIA	0,83	0,81	0,01	0,528
	IIB	0,79 ^b	0,82 ^a	0,00	<0,001

P^{ab} – hodnota ve stejném řádku označená jiným písmenem než předchozí se průkazně liší;
SEM = střední chyba průměru

Výsledky v Tabulce 5 ukazují rozdíly v charakteristikách svalových vláken *m. biceps femoris* v závislosti na technice krmení. Zaznamenán byl počet svalových vláken na mm², procentuální podíl svalových vláken, dále plocha svalových vláken, jejich průměr, obvod a kruhovitost. To vše bylo stanoveno pro každý typ svalových vláken zvlášť.

Jak je z tabulky patrné, nejpočetnějším typem svalových vláken byl u obou skupin kuřat typ IIB. Skupina krmená *ad libitum* měla počet svalových vláken typu IIB 304 ks/mm², zatímco restringovaná skupina 436 ks/mm², tedy o 132 ks/mm² více, než kontrolní skupina. Tento rozdíl však nebyl statisticky významný (P = 0,201). Restringovaná skupina předčila kontrolní skupinu také v celkovém počtu vláken, a to o 145,33 ks/mm². Ani tento rozdíl ale nebyl průkazný (P = 0,155).

Další charakteristikou byl podíl jednotlivých typů svalových vláken. V ani jednom z typů svalových vláken nebyl mezi skupinami statisticky významný rozdíl. Největší procentuální podíl u obou skupin měla i v tomto případě vlákna typu IIB. U kontrolní skupiny byla zjištěna hodnota 94,26 % a u experimentální skupiny 93,46 %.

Plocha svalových vláken byla mezi skupinami prokazatelně rozdílná pouze u vláken typu IIB ($P < 0,001$). Kontrolní skupina měla větší plochu svalových vláken IIB ($2437,24 \mu\text{m}^2$) než skupina experimentální ($1525,61 \mu\text{m}^2$).

Pokud jde o průměr svalových vláken, i tam byl průkazný rozdíl pouze u vláken typu IIB ($P < 0,001$). U těchto vláken byl naměřen největší průměr u skupiny krmené *ad libitum* ($52,90 \mu\text{m}$). Restringovaná skupina měla průměr vláken typu IIB $41,49 \mu\text{m}$, zatímco největšího průměru u těchto kuřat dosahovala vlákna typu IIA ($47,06 \mu\text{m}$).

Stejně tak u obvodu byl statisticky významný rozdíl mezi skupinami kuřat jen u svalových vláken typu IIB ($P < 0,001$). Obvod vláken kontrolní skupiny byl $188,10 \mu\text{m}$, což byla zároveň nejvyšší hodnota u této skupiny. Restringovaná skupina vykazovala obvod vláken typu IIB $144,43 \mu\text{m}$. Tato hodnota byla u restringované skupiny druhá nejvyšší, přičemž největší obvod měla vlákna typu IIA ($164,23 \mu\text{m}$).

V kruhovitosti vláken se skupiny taktéž významně lišily pouze, pokud šlo o vlákna typu IIB ($P < 0,001$).

Charakteristiky svalových vláken *m. pectoralis major*

Dalším předmětem výzkumu byly charakteristiky svalových vláken *m. pectoralis major*. Výsledky znázorňuje Tabulka 6.

Tab. 6 - Charakteristiky svalových vláken *m. pectoralis major* v závislosti na technice krmení

Charakteristiky svalových vláken	Skupina		SEM	Průkaznost
	<i>ad libitum</i>	restrikce		
Počet vláken ks/mm ²	234,2	255,6	8,19	0,195
Plocha (μm^2)	3168,4 ^a	2743,0 ^b	32,26	<0,001
Průměr (μm)	60,8 ^a	56,4 ^b	0,37	<0,001
Obvod (μm)	216,1 ^a	204,7 ^b	1,35	<0,001
Kruhovitost	0,8 ^a	0,6 ^b	0,10	<0,001

P^{ab} – hodnota ve stejném řádku označená jiným písmenem než předchozí se průkazně liší;
SEM = střední chyba průměru

U *m. pectoralis major* byly zjišťovány hodnoty stanovující počet vláken na mm², plochu, průměr, obvod a kruhovitosť svalových vláken. Ve všech parametrech až na počet vláken byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými skupinami brojlerových kuřat.

Stejně jako tomu bylo u stehenní svaloviny, u prsního svalstva byl počet svalových vláken u restringované skupiny větší. Rozdíl byl však neprůkazný ($P = 0,195$).

Plocha vláken *m. pectoralis major* byla u experimentální skupiny průkazně nižší než u kontrolní ($P < 0,001$). V případě restringované skupiny šlo o $2743 \mu\text{m}^2$ a v případě skupiny kontrolní o $3168,4 \mu\text{m}^2$. Shodně tomu bylo také u průměru vláken a jejich obvodu. Tyto hodnoty byly taktéž u experimentální skupiny nižší než u kontrolní ($P < 0,001$). Průměr vláken byl u restringovaných kuřat stanoven $56,4 \mu\text{m}$, kdežto u *ad libitně* krmených kuřat bylo naměřeno $60,8 \mu\text{m}$. Obvod byl $204,7 \mu\text{m}$ u experimentální skupiny a $216,1 \mu\text{m}$ u kontrolní skupiny.

Kruhovitost byla v tomto případě významně menší u restringované skupiny ($P < 0,001$), přičemž nabyla hodnoty $0,6$. U kontrolní skupiny byla kruhovitost $0,8$.

6 Diskuze

V provedeném experimentu byly sledovány změny v charakteristikách svalových vláken brojlerových kuřat genotypu Ross 308 v závislosti na technice krmení. Jak bylo uvedeno v kapitole „3.3.3 Techniky krmení“, ve výkrmu brojlerových kuřat je obvyklé užití některé z restrikcí krmení. V tomto pokusu byla provedena kvantitativní restrikce a výsledky porovnávaly rozdíly v charakteristikách svalových vláken mezi restringovanou skupinou kuřat a kuřaty, která byla krmena *ad libitně*.

Vlivem kvantitativní restrikce krmení na svalová vlákna a růst brojlerových kuřat se zabývalo již mnoho studií (např. Velleman et al. 2014; Trocino et al. 2015; Chodová & Tůmová 2017; van der Klein et al. 2017; Gratta et al. 2019), které docházejí ke stejným, ale v některých případech i odlišným výsledkům.

6.1 Živá hmotnost kuřat

Poznatky o vlivu techniky krmení na živou hmotnost kuřat v této práci jsou v souladu s výzkumem Trocino et al. (2015). V obou případech bylo prokázáno, že hmotnost kuřat po zavedení restrikce byla oproti *ad libitně* krměným kuřatům významně nižší. V případě aktuálně předkládané práce došlo k první zaznamenané nižší hodnotě 21. den ($P = 0,040$). Následně hmotnost experimentální skupiny kuřat stoupala jen mírně a na konci pokusu vážila restringovaná kuřata stále méně než ptáci z kontrolní skupiny ($P = 0,031$). Stejně tak v práci Trocino et al. (2015) byl zjištěn prokazatelný rozdíl v živé hmotnosti ve prospěch kontrolní skupiny (*ad libitum*: 1023 g vs. kuřata v restrikci: 878 g; $P < 0,001$) 22. den pokusu a na konci vážila kuřata taktéž méně než kontrolní skupina (*ad libitum*: 3 194 g vs. kuřata v restrikci: 3 142 g; $P < 0,01$). I přes nižší živou hmotnost u restringované skupiny se autorům pokusu podařilo u kuřat dosáhnout mnohem větší konečné živé hmotnosti než ve stávajícím pokusu. To mohlo být způsobeno zejména delší dobou výkrmu (46 dní) a menší mírou restrikce (krmná dávka snížena o 20 % oproti *ad libitum*). Jelikož nebyl blíže specifikován genotyp kuřat v pokusu, je možné, že i ten se od námi předkládané práce mohl odlišovat. Další prací, která podporuje výsledky zde zjištěné, je výzkum Li et al. (2007). Taktéž v něm byla zjištěna nižší hmotnost experimentální skupiny oproti té kontrolní, a to během celého pokusu.

Zde dosažené výsledky týkající se živé hmotnosti rozporuje studie Chodová & Tůmová (2017). V jejich případě byl použit stejný genotyp kuřat, jako v této práci (Ross 308), doba výkrmu byla pouze o 3 dny delší a byla použita restrikce 20 a 35 %. Pokud tedy srovnáme výsledky týkající se skupiny s 35% restrikcí, která má k aktuálnímu pokusu blíže, ukáže se, že konečná živá hmotnost kuřat byla u restringovaných nižší než u *ad libitně* krměných (*ad libitum*: 2098 g vs. kuřata v restrikci: 1965 g), avšak neprůkazně ($P = 0,501$). Chodová & Tůmová (2017) tedy konstatovaly, že použitá technika krmení nemá vliv na konečnou živou hmotnost. Výzkum těchto autorek se však zabýval restrikcí zavedenou

během druhého týdne, tedy od 8. do 14. dne, zatímco v aktuálním pokusu byla restrikce zavedena od 14. do 21. dne, což by mohl být faktor, který způsobil rozdíly ve výsledcích obou studií.

6.2 Charakteristiky svalových vláken *m. biceps femoris*

Dalším probíraným aspektem tohoto výzkumu byly charakteristiky svalových vláken *m. biceps femoris*. Jak bylo zmíněno v podkapitole „3.2.1.1 Typy svalových vláken“, tento sval se skládá ze tří typů svalových vláken – I, IIA a IIB. Tento fakt koresponduje s výsledky uvedenými v současné práci.

Jak uvádí Chodová et. al (2021a; 2021b), počet svalových vláken negativně koreluje s jejich plochou, čemuž odpovídají i zde uvedené výsledky. U kuřat krmených *ad libitně* byl počet vláken nižší než u restringovaných kuřat, avšak plocha svalových vláken byla u *ad libitně* krmených kuřat naopak větší. Výsledky odpovídají také tvrzení ze studie Koomkrong et al. (2015), kde bylo zjištěno, že větší tělesnou hmotnost mají kuřata s větším průměrem a plochou svalových vláken při jejich nižší hustotě, tzn. při nižším počtu vláken na 1 mm².

V podkapitole „3.2.1.2 Charakteristiky svalových vláken“ bylo uvedeno, že glykolytická vlákna mají největší plochu průřezu (Tůmova & Teimouri 2009; Ismail & Joo 2017). Tato skutečnost souhlasí s hodnotami naměřenými u kontrolní skupiny. Restringovaná kuřata však měla plochu vláken typu IIB oproti kontrole menší. Z uvedeného vyplývá, že plocha glykolytických vláken byla negativně ovlivněna restrikcí krmiva. V souladu s tímto tvrzením byla i zjištěna v pokusu Li et al. (2007), kde bylo prokázáno, že plocha průřezu vláken byla díky restrikci krmiva nižší oproti kontrolní skupině u všech typů vláken, kdy byl zaznamenán statisticky významný rozdíl pouze u glykolytických vláken, stejně jako je tomu v současné práci. Naopak v experimentu Chodové et al. (2021b) se ukázala restrikce krmení pro plochu vláken přínosnou, jelikož plocha svalových vláken se díky ní oproti kontrolní skupině zvětšila. Je však potřeba brát v potaz, že šlo o jiný druh restrikce (omezené množství proteinu) a zkoumán byl vliv na *m. pectoralis major*. Také v pokusu Chodové & Tůmové (2017) byla plocha svalových vláken na konci pokusu u restringovaných kuřat větší než u kontrolních. Rozdíl byl ale opět ve zkoumaném svalu, také v době výkrmu a v míře a načasování nasazené restrikce.

Jak uvádí Klont et al. (1998), vlákna typu I by měla mít nejmenší průměr, vlákna typu IIB by měla být největšího průměru a IIA by měla mít střední průměr. To se zde potvrdilo opět jen u kontrolní skupiny, zatímco experimentální skupina byla restrikcí významně ovlivněna, pokud jde o vlákna typu IIB, která tak ve výsledku byla menšího průměru než vlákna IIA. Rehfeldt et al. (2004) uvádějí, že omezení množství či kvality krmiva vede ke snížení průměru svalových vláken, což se v aktuálním pokusu projevilo právě u průměru glykolytických vláken, který byl kvantitativně restrikcí negativně ovlivněn.

Pokud shrneme všechny tyto poznatky, pak můžeme dojít k závěru, že námi použitá restrikce krmiva ovlivňuje vybrané charakteristiky svalových vláken *m. biceps femoris* spíše negativně, jelikož naměřené hodnoty byly ve většině případů u restringované skupiny nižší. Zejména menší plocha, průměr a obvod svalových vláken by mohly znamenat menší konečný objem tohoto svalu, i když je potřeba brát v úvahu také počet vláken, který byl u restringované skupiny vyšší. Nicméně počet vláken, jak bylo zmíněno v literární rešerši této práce, není ovlivňován technikou krmení.

Zde dosažené výsledky se s jinými výzkumy spíše rozcházejí. Je ovšem nutno podotknout, že počet brojlerových kuřat v tomto výzkumu byl významně nižší, než v dříve provedených studiích. Také míra restrikce byla v této práci oproti jiným rozdílná, a jak se ukázalo v několika výzkumech, klíčovou roli hraje i načasování restrikce (Velleman et al. 2014; Meloche et al. 2018; Gratta et al. 2019). Většina dosavadních výzkumů se navíc zabývá spíše charakteristikami *m. pectoralis major*, jelikož produkce brojlerových kuřat je zaměřena především na vysoce výtěžnou prsní svalovinu.

6.3 Charakteristiky svalových vláken *m. pectoralis major*

Jelikož prsní svalovina je nejžádanější mezi spotřebiteli kuřecího masa, bývá středem zájmu studií prováděných za účelem zjištění vlivu různých technik krmení na charakteristiky svalových vláken.

Stejně jako u *m. biceps femoris* byly u tohoto svalu zjišťovány charakteristiky jako počet, plocha, průměr, obvod a kruhovitost svalových vláken. Určování podílu typů svalových vláken nebylo nutné, jelikož prsní svalovina se skládá pouze z vláken typu IIB, jak bylo potvrzeno v několika studiích (např. Velleman et al. 2014; Chodová & Tůmová 2017; Chodová et al. 2021b).

Oproti *m. biceps femoris* byl počet vláken v tomto svalu nižší, což koresponduje s větší plochou svalových vláken v *m. pectoralis major* oproti *m. biceps femoris*. Plocha vláken byla restrikcí krmiva významně ovlivněna ve prospěch kontrolní skupiny, která měla plochu vláken větší. To je v rozporu s výzkumem Chodové & Tůmové (2017), kde byla zjištěna největší plocha ($2296 \mu\text{m}^2$) u nejintenzivněji restringovaných kuřat (restrikce 35 %). *Ad libitně* krmená kuřata měla v jejich studii plochu svalových vláken $1667 \mu\text{m}^2$. Pokud ale porovnáme plochu svalových vláken zjištěnou v aktuální studii, stále je oproti hodnotám ve výzkumu Chodové & Tůmové (2017) větší. Aktuálně byla zjištěna plocha $3168,4 \mu\text{m}^2$ u kontrolní skupiny a $2743 \mu\text{m}^2$ u experimentální skupiny. Tyto odlišné hodnoty mohou být vysvětleny negativní korelací mezi počtem svalových vláken a jejich plochou. To, že účinek restrikce byl v případě Chodové & Tůmové (2017) pozitivní, může být způsobeno jinou mírou restrikce, delší dobou výkrmu a načasováním nasazené restrikce, která byla v jejich případě zařazena o týden dříve.

Průměr vláken byl u restringované skupiny opět významně nižší než u skupiny krmené *ad libitum* (*ad libitum*: $60,8 \mu\text{m}$ vs. kuřata v restrikci: $56,4 \mu\text{m}$; $P < 0,001$). K podobným

závěrům došli také Velleman et al. (2014), kteří píší, že kuřata, která byla podrobena restrikci v druhém týdnu, měla dle jejich výsledků nižší průměr vláken než kontrolní skupina. I přesto, že průměr vláken byl restrikcí v současné studii ovlivněn nepříznivě, stále se blížil k průměrné hodnotě průměru svalových vláken, která je 60 μm , jak bylo zmíněno v literární rešerši této práce v podkapitole „3.2.1.2 Charakteristiky svalových vláken“. Také výsledky *m. pectoralis major* této studie tedy korespondují s již výše zmíněným tvrzením Rehfeldt et al. (2004), že omezení množství či kvality krmiva vede ke snížení průměru svalových vláken.

Větší obvod svalových vláken v *m. pectoralis major* vůči svalu *biceps femoris* by mohl být způsoben výhradním zastoupením vláken typu IIB v prsní svalovině, která jsou obecně považována za největší ze všech typů vláken (Li et al. 2007; Chodová & Tůmová 2017).

7 Závěr

Tato práce potvrdila předpoklad souvislosti rozdílné techniky krmení se změnami v charakteristikách svalových vláken. Rozdíly způsobené různou technikou krmení byly patrné zejména u *m. pectoralis major*, kde byly prokázány změny u všech charakteristik s výjimkou počtu svalových vláken. Tento fakt je v souladu s dříve zjištěným tvrzením, že počet svalových vláken je u ptáků stanoven již před vylíhnutím a technika krmení jej neovlivňuje. U *m. biceps femoris* měla technika krmení vliv na stejné charakteristiky, jako tomu bylo u *m. pectoralis major*, avšak pouze u vláken typu IIB. Změny na ostatních typech vláken byly jen nepatrné a statisticky neprůkazné.

Uvedené výsledky ukázaly, že použití kvantitativní restrikce ve třetím týdnu výkrmu s omezením krmné dávky o 30 % oproti krmení *ad libitum* mělo na charakteristiky svalových vláken brojlerových kuřat genotypu Ross 308 spíše negativní vliv. U restringovaných kuřat byly stanovené hodnoty oproti *ad libitně* krmeným kuřatům nižší ($P < 0,001$), z čehož se dá usuzovat na horší výslednou užitkovost. To se projevilo také na živé hmotnosti, která byla u restringované skupiny nižší po zavedení restrikce ($P < 0,040$) až do konce pokusu ($P < 0,031$). Kruhovitost vláken typu IIB u *m. biceps femoris* byla jedinou vlastností s vyšší hodnotou u restringované skupiny než u té kontrolní.

Dříve publikované studie dochází spíše k výsledkům vykazujícím zlepšení v charakteristikách svalových vláken restringovaných kuřat. Je ovšem důležité brát v potaz rozdíly v použitých metodách, zejména pokud jde o volbu genotypu, techniky krmení a načasování restrikce.

Výsledky této práce by mohly být v praxi přínosné pro optimalizaci postupů ve výkrmu brojlerových kuřat, jelikož pomohly stanovit hranici, kdy je již vliv restrikce na výkrm brojlerových kuřat negativní. Pokud by k takové optimalizaci došlo, mohlo by být dosaženo vyšší, či přinejmenším stejné užitkovosti při nižších nákladech na krmivo.

Vliv restrikce, zavedené až ve třetím týdnu výkrmu, v míře v jaké byla použita v této práci, by mohl být zajímavým námětem pro další studie, jelikož většina dosavadních výzkumů se zaměřovala na menší míru omezení v dřívějším období výkrmu. Tato práce by tak mohla sloužit jako podklad pro budoucí výzkumy.

8 Literatura

- Astruc T. 2014. Connective Tissue: Structure, Function, and Influence on Meat Quality. Pages 321-328 in INRA, editor. Encyclopedia of Meat Sciences. Elsevier, Amsterdam.
- Aviagen. 2018. Technologický postup pro výkrm brojlerů Ross. Aviagen. Available from <https://eu.aviagen.com/language-mini-site/show/cz> (accessed July 2019).
- Beski SSM, Swick RA, Iji PA. 2015. Specialized protein products in broiler chicken nutrition: A review. *Animal Nutrition*. **1** (2): 47–53.
- Branciarri R, Mugnai C, Mammoli R, Miraglia D, Ranucci D, Dal Bosco A, Castellini C. 2009. Effect of genotype and rearing system on chicken behavior and muscle fiber characteristics1. *Journal of Animal Science*. **87** (12): 4109–4117.
- Brooke MH, Kaiser KK. 1970. Three "myosin adenosine triphosphatase" systems: the nature of their pH lability and sulfhydryl dependence. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*. **18** (9): 670–672.
- Butzen FM, Ribeiro AML, Vieira MM, Kessler AM, Dadalt JC, Della MP. 2013. Early feed restriction in broilers. I–Performance, body fraction weights, and meat quality. *Journal of Applied Poultry Research*. **22** (2): 251–259.
- Čihák R. 2001. Anatomie. 2., upr. a dopl. vyd. ilustroval Milan MED. Grada. Praha. ISBN: 80-7169-970-5.
- Dal Bosco A, Mugnai C, Ruggeri S, Mattioli S, Castellini C. 2012. Fatty acid composition of meat and estimated indices of lipid metabolism in different poultry genotypes reared under organic system. *Poultry Science*. **91** (8): 2039–2045.
- Dalle Zotte A, Ricci R, Cullere M, Serva L, Tenti S, Marchesini G. 2020. Research Note: Effect of chicken genotype and white striping–wooden breast condition on breast meat proximate composition and amino acid profile. *Poultry Science*. **99** (3): 1797–1803.
- Fanatico AC, Cavitt LC, Pillai PB, Owens CM, Emmert JL. 2005a. Evaluation of Slower-Growing Broiler Genotypes Grown with and Without Outdoor Access: Meat Quality. *Poultry Science*. **84**: 1785–1790.
- Fanatico AC, Pillai PB, Cavitt LC, Owens CM, Emmert JL. 2005b. Evaluation of Slower-Growing Broiler Genotypes Grown with and Without Outdoor Access: Growth Performance and Carcass Yield. *Poultry Science*. **84**: 1321–1327.
- Fanatico AC, Pillai PB, Emmert JL, Gbur EE, Meullenet JF, Owens CM. 2007a. Sensory Attributes of Slow- and Fast-Growing Chicken Genotypes Raised Indoors or with Outdoor Access. *Poultry Science*. **86** (11): 2441–2449.
- Fanatico AC, Pillai PB, Emmert JL, Owens CM. 2007b. Meat Quality of Slow- and Fast-Growing Chicken Genotypes Fed Low-Nutrient or Standard Diets and Raised Indoors or with Outdoor Access. *Poultry Science*. **86**: 2245–2255.

- Fanatico AC, Pillai PB, Hester PY, Falcone C, Mench JA, Owens CM, Emmert JL. 2008. Performance, Livability, and Carcass Yield of Slow- and Fast-Growing Chicken Genotypes Fed Low-Nutrient or Standard Diets and Raised Indoors or with Outdoor Access. *Poultry Science*. **87** (6): 1012–1021.
- Farghly MF, Mahrose KM, Ahmad EAM, Rehman ZU, Yu S. 2019. Implementation of different feeding regimes and flashing light in broiler chicks. *Poultry Science*. **98** (5): 2034–2042.
- Farrell D. 2013. The Nutritional Benefits of Chicken Meat Compared with Other Meats. Page 4 in Food and Agriculture Organization, editor. *Poultry Development Review*. FAO, Rome.
- Gratta F, Birolo M, Sacchetto R, Radaelli G, Xiccato G, Ballarin C, Bertotto D, Piccirillo A, Petracci M, Maertens L, Trocino A. 2019. Effect of feed restriction timing on live performance, breast myopathy occurrence, and muscle fiber degeneration in 2 broiler chicken genetic lines. *Poultry Science*. **98** (11): 5465–5476.
- Hascik P, Kocaniova M, Mihok M, Pochop J, Benczova E. 2010. Performance of Various Broiler Chicken Hybrids Fed with Commercially Produced Feed Mixtures. *International Journal of Poultry Science*. **9** (11): 1076–1082.
- Chodová D, Tůmová E, Ketta M. 2021a. The response of fast-, medium- and slow-growing chickens to a low protein diet. *Czech Journal of Animal Science*. **66** (3): 97–105.
- Chodová D, Tůmová E, Ketta M, Skřivanová V. 2021b. Breast meat quality in males and females of fast-, medium- and slow-growing chickens fed diets of 2 protein levels. *Poultry Science*. **100** (4): 1–9.
- Chodová D, Tůmová E. 2017. Feed Restriction and Muscle Fibre Characteristics of Pectoralis Major in Broiler Chickens. *Scientia Agriculturae Bohemica*. **48** (1): 8–12.
- Ismail I, Joo ST. 2017. Poultry Meat Quality in Relation to Muscle Growth and Muscle Fiber Characteristics. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*. **37** (6): 873–883.
- Klont RE, Brocks L, Eikelenboom G. 1998. Muscle Fibre Type and Meat Quality. *Meat Science*. **49** (1): S219–S229.
- Koomkrong N, Theerawatanasirikul S, Boonkaewwan C, Jaturasitha S, Kayan A. 2015. Breed-Related Number and Size of Muscle Fibres and Their Response to Carcass Quality in Chickens. *Italian Journal of Animal Science*. **14** (4): 638–642.
- Li Y, Yuan L, Yang X, Ni Y, Xia D, Barth S, Grossmann R, Zhao R-Q. 2007. Effect of early feed restriction on myofibre types and expression of growth-related genes in the gastrocnemius muscle of crossbred broiler chickens. *British Journal of Nutrition*. **98** (2): 310–319.
- Maltin C, Balcerzak D, Tilley R, Delday M. 2003. Determinants of meat quality: tenderness. *Proceedings of the Nutrition Society*. **62** (2): 337–347.
- Mehmood W, Zhang C. 2020. Correlations Between Muscle Fibers Characteristics and Meat Quality Attributes of Biceps Femoris Muscle: a Comparative Study of 2 Distinctive Broiler Breeds. *Brazilian Journal of Poultry Science*. **22** (4): 1–8.

- Meloche KJ, Fancher BI, Emmerson DA, Bilgili SF, Dozier WA. 2018. Effects of reduced digestible lysine density on myopathies of the Pectoralis major muscles in broiler chickens at 48 and 62 days of age. *Poultry Science*. **97** (9): 3311–3324.
- Petracci M, Mudalal S, Soglia F, Cavani C. 2015. Meat quality in fast-growing broiler chickens. *World's Poultry Science Journal*. **71** (2): 363–374.
- Picard B, Lefaucheur L, Berri C, Duclos MJ. 2002. Muscle fibre ontogenesis in farm animal species. *Reproduction Nutrition Development*. **42** (5): 415–431.
- Radaelli G, Piccirillo A, Birolo M, Bertotto D, Gratta F, Ballarin C, Vascellari M, Xiccato G, Trocino A. 2017. Effect of age on the occurrence of muscle fiber degeneration associated with myopathies in broiler chickens submitted to feed restriction. *Poultry Science*. **96** (2): 309–319.
- Rehfeldt C, Fiedler I, Stickland NC. 2004. Number and Size of Muscle Fibres in Relation to Meat Production. Page 1-38 in te Pas MFW, Haagsman ME, Everts HP, editors. *Muscle development of livestock animals: physiology, genetics, and meat quality*. CAB International, Wallingford, UK.
- Rezaei M, Hajati H. 2010. Effect of diet dilution at early age on performance, carcass characteristics and blood parameters of broiler chicks. *Italian Journal of Animal Science*. **9** (1): 93–100.
- Scheuermann GN, Bilgili SF, Tuzun S, Mulvaney DR. 2004. Comparison of Chicken Genotypes: Myofiber Number in Pectoralis Muscle and Myostatin Ontogeny. *Poultry Science*. **83**: 1404–1412.
- Tejeda OJ, Calderon AJ, Arana JA, Meloche KJ, Starkey JD. 2019. Broiler chicken myofiber morphometrics and myogenic stem cell population heterogeneity. *Poultry Science*. **98** (9): 4123–4130.
- Trocino A, Piccirillo A, Birolo M, Radaelli G, Bertotto D, Filiou E, Petracci M, Xiccato G. 2015. Effect of genotype, gender and feed restriction on growth, meat quality and the occurrence of white striping and wooden breast in broiler chickens. *Poultry Science*. **94** (12): 2996–3004.
- Tůmová E, Telmouri A. 2009. Chicken Muscle Fibres Characteristics and Meat Quality: A Review. *Scientia Agriculturae Bohemica*. **40** (4): 253–258.
- van der Klein SAS, Silva FA, Kwakkel RP, Zuidhof MJ. 2017. The effect of quantitative feed restriction on allometric growth in broilers. *Poultry Science*. **96** (1): 118–126.
- Velleman SG, Coy CS, Emmerson DA. 2014. Effect of the timing of posthatch feed restrictions on broiler breast muscle development and muscle transcriptional regulatory factor gene expression. *Poultry Science*. **93** (6): 1484–1494.
- Widyaratne GP, Drew MD. 2011. Effects of protein level and digestibility on the growth and carcass characteristics of broiler chickens¹. *Poultry Science*. **90** (3): 595–603.

Zampiga M, Flees J, Meluzzi A, Dridi S, Sirri F. 2018. Application of omics technologies for a deeper insight into quali-quantitative production traits in broiler chickens: A review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. **9** (61): 1–18.

9 Seznam tabulek

Tab. 1 - Forma krmiva a doporučená velikost částic podle věku kuřat	13
Tab. 2 - Suroviny a obsah živin v krmivech pro brojlerová kuřata chovaná do 43 dnů věku ...	14
Tab. 3 - Složení krmných směsí	24
Tab. 4 - Živá hmotnost kuřat genotypu Ross 308	26
Tab. 5 - Charakteristiky svalových vláken <i>m. biceps femoris</i> v závislosti na technice krmení	27
Tab. 6 - Charakteristiky svalových vláken <i>m. pectoralis major</i> v závislosti na technice krmení	28

10 Seznam obrázků

Obr. 1 - Morfologická struktura <i>m. pectoralis major</i> v 7 dnech věku kuřat	17
Obr. 2 - Morfologická struktura <i>m. pectoralis major</i> v 15 dnech věku kuřat.....	17
Obr. 3 - Morfologická struktura <i>m. pectoralis major</i> ve dnech 23, 31, 35 a 43	18
Obr. 4 - Morfologická struktura <i>m. pectoralis major</i> ve dnech 8 a 14	19
Obr. 5 - Morfologická struktura <i>m. pectoralis major</i> ve dnech 22, 30, 34 a 42	19