

Vědecký výbor výživy zvířat

Nutriční hodnota larev potemníka moučného (*Tenebrio molitor*), jeho chov a jeho perspektivní využití ve výživě

prof. MVDr. Ing. Pavel Suchý, CSc.
prof. Ing. Eva Straková, Ph.D.



Praha, 2022

Obsah

1 Úvod	3
2 Literární část	6
3 Materiál a metody	15
4 Výsledky	17
4.1 Porovnání rozdílů základních živin v sušině larev potemníka moučného a svalové tkáně skotu a vykrmované drůbeže	17
4.2 Vliv tukuprosté sušiny na obsah hrubého proteinu a aminokyselin	30
4.3 Obsah dusíku (N) vázaného v aminokyselinách (AN)	36
5 Závěr	39
6 Literatura	41
7 Souhrn	46
8 Summary	47

1 Úvod

Zajištění proteinové výživy lidské populace a hospodářsky významných zvířat je úzce spjato s hledáním nových bílkovinných zdrojů určených pro výrobu potravin a krmiv. Proteiny po stránce kvantitativní i kvalitativní jsou jednou ze základních složek pro výživu člověka i hospodářských zvířat.

V současné době je v evropských podmínkách nedostatečná produkce proteinových surovin, především těch, které jsou určeny k výživě hospodářských zvířat. Proto je i evropská zemědělská politika zaměřena na hledání a produkci netradičních proteinových komponent tuzemské provenience. Jednou z možností produkce živočišného proteinu je produkce proteinů bezobratlých živočichů.

V současné době existuje řada taxonů bezobratlých živočichů, které lze využít ve výživě člověka nebo zvířat, jak uvádíme ve studii VVVZ MZe ČR z roku 2017 „*Nutriční hodnota bezobratlých živočichů a jejich využití ve výživě (současnost a perspektivy)*“.

Na možnost využít potenciál hmyzu můžeme obecně pohlížet z hlediska nutričního i z hlediska průmyslového využití (chitin, antioxidační enzymy, hedvábí, včelí jed, antimikrobiální a antimykotické látky apod.). Lze se domnívat, že při nutričním využití hmyzích mouček, s přihlédnutím k ekonomické náročnosti jejich produkce, budou mít hmyzí moučky podobný trh jako moučky rybí; naleznou uplatnění zejména jako krmivo v akvakultuře nebo ve výživě společenských zvířat.

Ve výživě člověka i zvířat můžeme o využití hmyzích mouček uvažovat v rovině přímé i nepřímé. Přímým využitím máme na mysli přímou konzumaci v různých formách (naturální forma v různé úpravě, případně jako součást jiných potravin). Nepřímým využitím máme na mysli jejich využití prostřednictvím výživy hospodářských zvířat jako proteinové komponenty krmných směsí, zejména pak jejich uplatnění ve výživě ryb, drůbeže a zájmových zvířat.

Nutriční hodnota jedlého hmyzu je z důvodu široké rozmanitosti druhů velmi variabilní, kde nutriční hodnota se může výrazně lišit jak dle metamorfozního stádia hmyzu, tak i díky zpracování jako je sušení, vaření apod.

V ústředním věštníku EU bylo v srpnu 2021 zveřejněno nařízení Komise (EU) 2021/1372, kterým se mění příloha IV nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 999/2001, pokud jde o zákaz krmení nepřezvýkavých hospodářských zvířat, jiných než kožešinových, živočišnými bílkovinami. Do krmiv pro prasata lze použít živočišné bílkoviny z drůbeže a hmyzu a do krmiv pro drůbež lze využít moučku z prasat a hmyzu. Do krmiv pro nepřezvýkavá zvířata lze také použít želatinu z přežvýkavců a kolageny. Pro zvířata přežvýkavá zůstává v platnosti, z důvodu stálého rizika výskytu BSE, zákaz zkrmování živočišných bílkovin.

Níže v tabulce uvádíme přehled dalších živočišných bílkovin, které lze použít ve výživě hospodářských zvířat, přičemž platí, že všichni výrobci (producenti) uvedených krmných surovin živočišného původu musí být schváleni/registrováni dle nařízení (ES) č. 1069/2009 a splňovat podmínky uvedené v nařízení Komise (EU) č. 142/2011 (*Zdroj: SVS ČR*).

Příslušným orgánem pro dozor nad výrobou a uváděním na trh krmiv pro hospodářská zvířata a jejich správné označování je Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, který registruje nebo schvaluje všechny výrobce krmiv v České republice.

Státní veterinární správa dozoruje zdravotní nezávadnost krmiv - mikrobiologické znečištění (kontaminace salmonelami) a rovněž použití živočišných bílkovin, včetně rybí moučky, v krmivech pro hospodářská zvířata.

Mezi povolené živočišné bílkoviny, které lze zkrmovat všem druhům hospodářských zvířat patří mléčné, vaječné nebo hydrolyzované bílkoviny vyrobené z nepřezvýkavých zvířat nebo kůží přežvýkavců.

V současné době se z perspektivního hlediska a rychlého využití, jako zdroj kvalitního proteinu pro výživu, jeví larvální stádium potměníka moučného (*Tenebrio molitor*).

V předložené studii se zabýváme možností chovu, výživy a nutriční hodnoty vyprodukované biomasy *Tenebrio molitor*.

Živočišné bílkoviny, které lze použít ve výživě hospodářských zvířat (*Zdroj SVS ČR*)

	Skot, ovce, kozy	Prasata	Drůbež	Akvakultura
Rybí moučka	pouze v mléčných náhradách	ano	ano	ano (nesmí pocházet ze stejného druhu farmově chovaných ryb)
Zpracovaná živočišná bílkovina z drůbeže	ne	ano	ne	ano
Zpracovaná živočišná bílkovina z prasat	ne	ne	ano	ano
Zpracovaná živočišná bílkovina z hmyzu*	ne	ano	ano	ano
Zpracovaná živočišná bílkovina mix bez obsahu přežvýkavců	ne	ne	ne	ano
Zpracovaná živočišná bílkovina mix s obsahem přežvýkavců	ne	ne	ne	ne
Krevní moučka	ne	ne	ne	ne
Krevní výrobky	ne	ano (z krve nepřežvýkavců)	ano (z krve nepřežvýkavců)	ano (z krve nepřežvýkavců)
Difosforečnan a trifosforečnan vápenatý živočišného původu	ne	ano	ano	ano
Kolagen / želatina z přežvýkavců	ne	ano	ano	ano
Kolagen / želatina z nepřežvýkavců	ano	ano	ano	ano

Poznámka: *zpracovaná živočišná bílkovina vyrobena ve schváleném zařízení z farmově chovaného hmyzu druhů: bráněnka (*Hermetia illucens*), moucha domácí (*Musca domestica*), potěmník moučný (*Tenebrio molitor*), potěmník stájový (*Alphitobius diaperinus*), cvrček domácí (*Acheta domestica*), cvrček krátkokřídlý (*Gryllodes sigillatus*), cvrček banánový (*Gryllus assimilis*)

2 Literární část

○ **Biologie a životní cyklus potemníka moučného**

Potemník moučný (*Tenebrio molitor*) se přirozeně živí především moučnými materiály. Při výrobě a skladování mouky se považuje za škůdce. Samice produkují v průměru 250 - 500 vajíček, která ukládají jednotlivě nebo v malých klastrech k substrátu, ke stěnám nebo dnu nádob, kde je nakladou (Ghaly and Alkokaik, 2009; Hardouin and Mahoux, 2003; Hill, 2002; Manojlovic, 1987; Spencer and Spencer, 2006).

K líhnutí dochází přibližně po 4 dnech při teplotě prostředí kolem 26 - 30 °C (Siemianowska et al., 2013); při teplotě prostředí kolem 15 °C může k líhnutí dojít až za 34 dnů (Kim et al., 2015). Délka larválního stádia závisí od podmínek prostředí. V řízených podmínkách chovu se larvální stádium může pohybovat kolem 57 dní (Weaver and McFarlane, 1990); v přirozených podmínkách může být délka larválního stádia 112 - 203 dnů (Damborsky et al., 2000). Larvy podstupují několik svlékání, minimálně 9 (Hill, 2002), maximálně 23 s průměrem 19 instarů (Damborsky et al., 2000).

Fáze kukly trvá 6 (Ghaly and Alkokaik, 2009) až 20 dní (Hill, 2002). Dospělci se objevují jako bělaví brouci s měkkými vnějšími skelety, které postupně tuhnou a ztmavnou. Páření a kladení vajíček začíná asi po 3 dnech po jejich objevení (Manojlovic, 1987) a dospělá etapa trvá 16 až 173 dnů (Damborsky et al., 2000), s průměrem 62 dnů (Damborsky et al., 2000). Celý životní cyklus probíhá na stejném místě nebo jeho blízkém okolí a za optimálních podmínek trvá 75 (Spencer and Spenser, 2006) až 90 dní (Hardouin and Manoux, 2003).

○ **Podmínky chovu potemníka moučného**

Postupný a cílený rozvoj chovu hmyzu můžeme datovat přibližně od 80. let minulého století, kdy se objevují seriózní práce na dané téma, kde některé z nich byly využity i v rámci předložené studie.

Chov hmyzu až do jeho prvního prodeje v živém stavu je považován za zemědělskou prvovýrobu. Na veškeré další nakládání s farmově chovaným hmyzem se vztahují předpisy o hygieně potravin.

V rámci evropského prostředí bývá hmyz obvykle chován regálovým způsobem s možností účinné dezinfekce s pravidelnou ventilací chovného prostoru.

Chovatel stanovuje sám svůj způsob chovu hmyzu, musí však zaručit, že odchovaný hmyz nepředstavuje pro lidské zdraví žádné nebezpečí. Chovatel musí zajistit proškolení personálu, který se o farmově chovaný hmyz stará a zajistit, že chovaný hmyz nepřijde do kontaktu s nemocným personálem, který by jej mohl kontaminovat. Prostory pro chov hmyzu musí vyhovovat požadavkům na stavby zemědělské prvovýroby určené pro chov hospodářských zvířat.

Obecné podmínky a povinnosti pro chovatele jsou stanoveny v § 4 a § 5 zákona č. 166/1999 Sb., o veterinární péči a o změně některých souvisejících zákonů (veterinární zákon). Mezi základní podmínky patří:

- hmyz chovat způsobem, v prostředí a podmínkách, které vyžadují jeho biologické potřeby a fyziologické funkce,
- hmyz je chovatelem dodáván vždy živý, způsob usmrcení je následně volen zpracovatelem podle jednotlivých druhů hmyzu a podle způsobu dalšího zpracování a skladování - např. zamražení, sušení, drcení,
- usmrcování a další zpracování hmyzu podléhá všem předpisům pro zpracování živočišných produktů,
- sledovat zdravotní stav hmyzu a v případě nutnosti aplikovat se souhlasem soukromého veterinárního lékaře pouze registrovaná léčiva vhodná pro hmyz určený k lidské spotřebě a povinnost vést evidenci podaných léčiv, u kterých je stanovena ochranná lhůta pro produkty určené k lidské spotřebě; v současné době nejsou schválena žádná léčiva pro hmyz s výjimkou včel; do doby, než budou k dispozici vhodná registrovaná léčiva, se nemocný hmyz neléčí a musí být neškodně odstraněn v souladu s platnou legislativou (nařízení (ES) č. 1069/2009),
- nemocný hmyz nelze použít jako krmivo pro jiná zvířata,
- v závislosti na způsobu a místě chovu zabezpečit pravidelné čištění, dezinfekci, dezinfekci a deratizaci prostor a vést o tom evidenci; k dezinfekci používat pouze přípravky, které nemají negativní vliv na chovaný hmyz a nezanechají v jeho těle případná rezidua,

- k napájení používat vodu, která neohrožuje zdravotní stav zvířat a zdravotní nezávadnost jejich produktů,
- ke krmení používat pouze zdravotně nezávadná a bezpečná krmiva, která jsou vhodná pro hmyz určený k lidské spotřebě; farmově chovaný hmyz může být krmen kromě krmných směsí určených pro hmyz tradičními krmivy jako je zrna, sójová moučka, siláž a zbytky ovoce, zeleniny a chleba, které nevykazují napadení plísněmi nebo hnilobou apod.,
- ke krmení hmyzu je zakázáno používat zejména krmiva s obsahem zpracované živočišné bílkoviny, hnůj a obsah trávicího traktu nebo produkty ze stravovacích zařízení,
- krmiva je třeba skladovat odděleně bez přístupu jiných zvířat a způsobem, který zaručí jejich nezávadnost a stabilní kvalitu po celou dobu jejich použití,
- prostory chovného zařízení zajistit před únikem chovaného hmyzu a před vniknutím jiných zvířat, včetně ptáků a volně žijícího hmyzu,
- chovatel musí zajistit neškodné odstranění uhynulého hmyzu a jeho exkrementů v souladu s platnou legislativou (nařízení (ES) č. 1069/2009).

Teplota prostředí běžně používaná k chovu larev se pohybuje v rozpětí 25 - 28 °C (Kim et al., 2015; Koo et al., 2013) s absolutním minimem 10 °C a maximem 35 °C (Punzo and Mutchmor, 1980). Teplota nižší než 17 °C inhibuje embryonální vývoj a teplota nad 30 °C zvyšuje úmrtnost (Koo et al., 2013). Uvádí se, že neexistují žádné významné rozdíly v teplotních požadavcích pro různé vývojové fáze.

Odpověď larev na relativní vlhkost se mění v závislosti na teplotě. Ve všech studiích zaměřených na vliv relativní vlhkosti na vývoj *T. molitor* se optimální hodnoty pohybovaly od 60 % (Manojlovic, 1987) do 75 % relativní vlhkosti (Punzo and Mutchmor, 1980). Teplota kombinovaná s vlivem relativní vlhkosti ovlivňuje jak počet, tak délku instarů, a také ovlivňuje schopnost absorpce vody v různých fázích životního cyklu. Fáze kukly je nejodolnější k extrémním podmínkám relativní vlhkosti a teploty, zatímco raná stádia a vajíčka jsou nejcitlivější (Punzo and Mutchmor, 1980).

Ke kladení vajíček nedochází při teplotách pod 14 °C při relativní vlhkosti 65 %, ale i při optimální teplotě 27 °C a nízké vlhkosti (20 %) je kladení vajec významně sníženo v důsledku

ztráty tělesné vlhkosti odpařováním a následné smrti. Největší je také aktivita dospělých samic při 90 - 100% relativní vlhkosti (Hardouin and Manoux, 2003).

Rychlost růstu larev *T. molitor* je silně závislá na vlhkosti, s vyšší mírou růstu při 90 - 100% relativní vlhkosti (Hardouin and Manoux, 2003) a dokonce při 70% relativní vlhkosti, rychlost se zpomaluje při 30% relativní vlhkosti a skoro se nevyskytuje při 13% (Fraenkel, 1950). Během extrémně suchých podmínek larvy mohou přestat přijímat krmivo a stanou se neaktivními, dokud se relativní vlhkost nezvýší na úroveň příznivější (Urs and Hopkins, 1973b). Čím vyšší je relativní vlhkost, tím vyšší je rychlost růstu. Při vysoké úrovni vlhkosti však může docházet i k růstu nežádoucích kolonií - kontaminantů (např. hub, jiných mikroorganismů, roztočů).

Teploty pod 10 °C a nad 35 °C představují stresové podmínky pro tento druh, i když minimální letální teplota je 7 °C a maximální letální teplota je 44 °C (Punzo and Mutchmor, 1980).

○ **Hustota populace potměníka moučného**

Hustota populace ovlivňuje počet a trvání larválních svlékání, vyšší populační hustota má za následek méně larválních instarů (Connat et al., 1991; Morales-Ramos et al., 2012; Morales-Ramos, 2015). Ačkoli vysoká hustota populace vede ke snížení spotřeby potravy, nižší tempo růstu je také důsledkem poklesu efektivity konverze požití a trávené potravy (Morales-Ramos, 2015).

Příliš vysoká hustota snižuje samičí potomstvo. Metabolismus larev v přeplněných populacích vede k podstatnému zvýšení teploty, která může být smrtelná. Larvy potměníka jsou negativně fototropní, dospělé a větší larvy se umisťují pod povrch substrátu během denního světla a vylézají na povrch ve tmě. Ačkoli fotoperioda ovlivňuje růst a vývoj larev, odezva na fotoperiodu má tendenci mizet za stálých podmínek, když se *T. molitor* stane arytmiickým.

Nízké koncentrace kyslíku zvyšují mortalitu larvy a hypertrofii průdušek a další změny v dýchacích orgánech (Greenberg and Ar, 1996) a hypoxické stavy (10 - 10,5% O₂) inhibují růstovou rychlost, vedou k vývoji abnormalit a vyššímu podílu samic v populaci larev (Loudon, 1988).

Larvy mají schopnost vybírat si potravu tak, aby příjem v dietě odpovídal jejich nutričním potřebám (Morales-Ramos et al., 2011; Rho and Lee, 2014, 2016; Urrejola et al., 2011). *Tenebrio molitor* může být krmen pouze otrubami, které obsahují všechny potřebné živiny (Morales-Ramos et al., 2010). Dieta složená z otrub a zdroje vody (např. čerstvá zelenina, jako je mrkev, jablko, brambor nebo zelí) a/nebo zdroj bílkovin (např. pивní kvasnice, kasein nebo sójový protein) je nejčastější složkou stravy v průmyslu s larvami a při chovu v laboratoři.

Příjem živin hraje ústřední roli v životním cyklu *T. molitor* a ovlivňuje tak dobu vývoje (Morales-Ramos et al., 2010, 2012; Rho and Lee, 2016; Urrejola et al., 2011; van Broekhoven et al., 2015), plodnost (Morales-Ramos et al., 2012; Urrejola et al., 2011), počet instarů (Morales-Ramos et al., 2010), míru přežití (Morales-Ramos et al., 2010; van Broekhoven et al., 2015), intenzitu a periodu kladení vajec (Morales-Ramos et al., 2012), a produkci potomků zvýšením počtu vajíček a snížením úmrtnosti dospělců.

I když *T. molitor* může přežít za extrémně suchých podmínek po delší dobu a může získat vodu z požití potravy (i z látek s nízkým obsahem vody), larvy rostou rychleji ve vlhkých podmínkách - vyšších než 70% relativní vlhkost. Nicméně vývoj roztočů, hub a dalších mikroorganismů se při této vysoké hodnotě vlhkosti zvyšuje a je nežádoucí pro hromadný odchov tohoto hmyzu.

Larvy chované na suchých substrátech vykazují vyšší růstové rychlosti, když mají nějaký zdroj vody (Ooninx et al., 2015). Ve skutečnosti, na substrátech s nízkou vlhkostí, když je metabolická voda na jednotku krmiva nízká (24 - 35 g vody/100 g krmiva), se vývoj může zastavit, pokud není dostupná pitná voda. Při deprivaci vody larvy *T. molitor* přijímají méně krmiva a míra konverze požitého krmiva do tělesné hmotnosti klesá.

Účinky příjmu vody na složení biomasy jsou protichůdné. Urs and Hopkins (1973a) zjistili, že dostupnost vody zvyšuje koncentrace celkových lipidů, zatímco Ooninx et al. (2015) uvedli, že doplnění diety zdrojem vody zvyšuje obsah vlhkosti, ale ne celkový obsah mastných kyselin. V obou studiích nebyl zjištěn žádný vliv vody na profil mastných kyselin.

Dietní bílkoviny a aminokyseliny významně ovlivňují životní cyklus *T. molitor*, s přímým příznivým účinkem na dobu vývoje larvy, přežití a přírůstek hmotnosti. Suplementace diety o proteiny, a to i v malých procentech, zvýšila rychlost vývoje larev. Diety doplněné o vysoký

obsah proteinu (33 - 39 % suché hmoty) snižuje čas kuklení od 191 - 227 dní na 116 - 144 dní při 28 °C a 70% relativní vlhkosti (Oonincx et al., 2015) a čas do 50 % kuklení z 95 - 168 na 79 - 95 dní při 28 °C a 65 % relativní vlhkosti (van Broekhoven et al., 2015), v porovnání s dietou doplněnou o nízký obsah bílkovin (12 % suché hmoty).

Suplementace proteinem zvyšuje míru přežití z 84 - 88 % na 88 - 92 % (van Broekhoven et al., 2015) a z 19 - 52 % na 67 - 79 % (Oonincx et al., 2015).

Rychlost růstu se pomocí proteinu zvýší, s nárůstem hmotnosti na larvu 2,3 - 2,9 mg u diety bez proteinu na 45,5 - 55,6 mg u diety doplněné o 10 dílů kvasinek a 90 dílů celé mleté pšenice během období 4 týdnů (John et al., 1979). Výhody přidání bílkoviny do stravy jsou viditelné u kukly, s nárůstem hmotnosti ze 123 mg/g při potravě bez doplňku na 238 mg/g u potravy doplněné o proteiny (Morales-Ramos et al., 2012) a hmotnosti kukly ze 117 - 145 mg při dietě s nízkým obsahem bílkovin (5 % kvasinek) na 146 - 161 mg při dietě bohaté na bílkoviny (40 % kvasinek) (van Broekhoven et al., 2015).

Fertilita je také silně ovlivněna přítomností bílkovin v dietě larev s nárůstem průměrné plodnosti samic z 3 vajíček/den u diety bez proteinu na 6 - 7 vajíček/den při dietě doplněné proteinem (Morales-Ramos et al., 2012). U samic se vyskytuje doba maximálního kladení vajíček dříve při podávání sójové mouky (9. - 12. den) než u samic chovaných pouze na pšenici (12. - 15. den).

Larvy mají zdánlivě vysoce omezený obsah bílkovin, s 2. - 3. násobným zvýšením obsahu dusíkatých látek (11,9 - 39,1 % suché hmoty), což má za následek podobné složení proteinů (van Broekhoven et al., 2015). Kvasinky v množství 5 - 10 % jsou považovány za nejlepší zdroj bílkovin, který působí jako stimulant v krmivu (Fraenkel, 1950; Martin and Hare, 1942). Dalším zdrojem bílkovin, který má optimální účinky, je kasein (2 - 32 %) (Davis and Leclercq, 1969) a v nižší hladině laktalbumin (Davis and Leclercq, 1969; Fraenkel, 1950; Leclercq, 1948). Sója je bohatý zdroj bílkovin, obsahuje však silný inhibitor trypsinu, který negativně ovlivňuje růst larvy (Birk et al., 1962).

Obsah aminokyselin v larválních tkáních je 8,9 - 9,9 % alaninu, 7,9 - 8,7 % kyseliny asparagové, 7,7 - 8,0 % leucinu, 6,5 - 6,8 % fenylalaninu, 6,5 - 6,7 % valinu, 4,6 - 7,5 % prolinu, 4,6 - 5,9 % argininu, 4,5 % isoleucinu, 3,9 - 4,0 % threoninu, 2,8 - 2,9 % histidinu, 1,8 - 1,9 % cysteinu,

1,5 - 1,6 % methioninu a 0,7 - 0,8 % tryptofanu (John et al., 1979). Ideální dieta by měla obsahovat podobné hladiny aminokyselin, které se vyskytují v larválních tkáních, s výjimkou fenylalaninu, který by měl být poskytnut v 50% koncentraci tělesné hmoty a kromě limitujících aminokyselin threoninu a tryptofanu, které by měly být poskytnuty v dvojnásobné koncentraci, než je obvyklá v tkáních larev.

Ukládání tuku u moučného červa je poměrně konstantní, když je krmen různými dietami bohatými na kyselinu olejovou, linolovou a palmitovou (Oonincx et al., 2015). Zatímco kyselina palmitová a olejová zůstávají téměř stabilní, nezávislé na dietě, pravděpodobně v důsledku syntézy těchto mastných kyselin ad novo, kyselina linolová může být do diety dodávána (van Broekhoven et al., 2015). Zvýšené požívání polynenasycených mastných kyselin C18 snižuje podíl mononenasycených mastných kyselin C18 ve tkáních larev (van Broekhoven et al., 2015).

Přidání lipidů k dietním režimům je výhodné při nízkých koncentracích, zatímco vysoké množství je nepříznivé a potenciálně škodlivé (Morales-Ramos et al., 2012). Koncentrace tuku nad 1 % nemá prospěšný vliv na ukazatele životního cyklu (Fraenkel, 1950) a stává se inhibičním faktorem při koncentracích 3 % (Martin and Hare, 1942). Navíc krmivo s vysokým obsahem tuku podporuje potenciální aglomeraci substrátu, což má za následek nižší provzdušňování a pohyb larev, což negativně ovlivňuje dýchání (Alves et al., 2016).

Životní cyklus červů je silně ovlivněn poměrem proteinů a sacharidů v dietě (Rho and Lee, 2016; Urrejola et al., 2011). Rho and Lee (2016) uvedli optimální poměr protein - sacharid 1:1 pro dlouhou životnost a celoživotní reprodukční úspěch.

○ **Nutriční hodnota a využití potměníka moučného**

Potměník moučný (*Tenebrio molitor*) byl použit do několika krmiv a potravin, jako rybí návnada a krmivo pro zvířata v zajetí (Ghaly and Alkokaik, 2009) až po lidskou spotřebu v mnoha kulturách (van Huis et al., 2013). Jako potrava lidí lze larvy potměníka použít čerstvé jako celek (Ghaly and Alkokaik, 2009; Zhao et al., 2016) nebo jako mouku (Aguilar-Miranda et al., 2002). Jako krmivo pro zvířata lze mouku použít jako doplněk výživy pro prasata a drůbež (Bovera and Piccolo, 2015; Jin et al., 2016; Ramos-Elorduy et al., 2002; van Huis, 2013;

Veldkamp et al., 2012) a v akvakultuře (Barroso et al., 2014; Belforti et al., 2014; Gasco et al., 2016; Henry et al., 2015; Ng et al., 2001).

Potemník moučný, stejně jako většina hmyzu, je bohatý na bílkoviny, s obsahem mezi 43,3 - 66,8 % suché hmotnosti (Ghaly and Alkoaik, 2009; Jin et al., 2016). Profil aminokyselin ukazuje přítomnost téměř všech esenciálních aminokyselin nezbytných pro lidskou potřebu: 1,39 - 4,8 % isoleucinu, 2,81 - 8,65 % leucinu, 1,6 - 6,6 % lysinu, 0,64 - 7,6 % methioninu, 3,99 - 13,05 % fenylalaninu, 0,93 - 4,43 % threoninu, 3,14 - 7,61 % valinu, 1,61 - 3,64 % histidinu a 0 - 1,8 % tryptofanu (Aguilar-Miranda et al., 2002; Barroso et al., 2014; Ghaly and Alkoaik, 2009; Jin et al., 2016). Obsah tuku se pohybuje v rozmezí 17,00 - 42,48 % v sušině (Adámková et al., 2016; Siemianowska et al., 2013). Ve vztahu k celkovým mastným kyselinám převažuje kyselina palmitová (9,3 - 23,7 %), kyselina olejová (36,5 - 52,9 %) a kyselina linolová (3,8 - 33,5 %) (Adámková et al., 2016; Aguilar Miranda et al., 2002; Alves et al., 2016; Finke, 2002; Jin et al., 2016; Zhao et al., 2016). Zatímco jsou larvy bohaté na bílkoviny a tuky, jsou chudé na obsah vápníku, což může být problematické, pokud by se jednalo výlučně o krmení tímto hmyzem (Klasing et al., 2000). Hodnoty minerálních látek u potemníka se pohybují od 0,32 - 0,75 mg/g Ca, 1,4 - 3,4 mg/g Mg, 5,37 - 13,45 mg/g P, 6,7 - 13,8 mg/g K, 0,025 - 1,76 mg/g Na, 0,032 - 0,13 mg/g Fe, 0,012 - 0,04 mg/g Cu a 0,082 - 0,145 mg/g Zn v sušině (Barker et al., 1998; Siemianowska et al., 2013; Simon et al., 2013).

Potemník moučný (*Tenebrio molitor*) se z nutričního hlediska jeví jako zajímavý pro výživu jak člověka, tak i zvířat. V současné době je málo informací o mikrobiologických (včetně zoonóz) nebo chemických rizicích vyplývajících z použití a spotřeby hmyzu jako potravy nebo krmiva. V rámci EFSA existují stanoviska upozorňující na identifikaci potenciálních rizik souvisejících jak s chovem, tak i se zpracováním hmyzu jako krmiva a potravy, zabraňující kontaminaci mikrobiálního i chemického charakteru. Pozornost je věnována i možným alergickým reakcím při konzumaci hmyzu. Uvádí se, že dopady na životní prostředí jsou ve srovnání s tradiční živočišnou produkcí minimální.

Přehled vybraných dokumentů řešících v současnosti danou problematiku v rámci České republiky

Studie pro VVVZ MZe ČR

r. 2017

Suchý, P., Straková, E., Herzig, I. Nutriční hodnota bezobratlých živočichů a jejich využití ve výživě (současnost a perspektivy)

r. 2021

Lichovnicková, M. Zkrmování hmyzích mouček u drůbeže

NAZV MZe ČR

r. 2019 - 2023

Kvalita a bezpečnost produkce kuřecího masa při zkrmování moučky z hmyzu, limitovaném krmení a pastvě

ČZU v Praze, VÚŽV v.v.i.

TAČR

do r. 2021

Využití moučných červů ve výživě zvířat

Mendelu Brno

Ostatní

r. 2018

MZe ČR, Odbor bezpečnosti potravin. Zásady správné zemědělské a výrobní praxe produkce hmyzu určeného pro lidskou spotřebu

3 Materiál a metody

Analytická část studie je zaměřená na larvální stádium potemníka moučného (*Tenebrio monitor*) - PM, kde u námi vybraného zástupce se dá očekávat jeho uplatnění jako krmný hmyz i jeho přímé uplatnění v gastronomii.

Naše pozornost byla zaměřena na stanovení obsahu sušiny, hrubého proteinu (HP) a aminokyselin (AA) v biomase potemníka moučného, kde prostřednictvím aminokyselin jsme vyjádřili podíl aminokyselinového dusíku v biomase larválního stádia potemníka moučného (*Tenebrio monitor*) v g/kg tukuprosté sušiny. Dále byla pozornost zaměřena na zastoupení hrubého tuku (HT), popelovin, vápníku (Ca), fosforu (P) a hořčíku (Mg).

Pro srovnání nutriční hodnoty sušiny biomasy těl potemníka moučného (n = 10) byla použita nutriční hodnota sušiny hovězí a drůbeží svaloviny (výsledky vlastních analýz), a to svaloviny Českého strakatého skotu (ČS) *musculus longissimus dorsi* a sušiny prsní (P) a stehenní (S) svaloviny brojlerových kuřat (ROSS 308) a brojlerových kachen (Cherry Valley) (n = 10), kde analýzy pro srovnání pocházejí z kontrolních skupin výzkumných projektů autorů této studie. Biomasa potemníka moučného byla dodána českým producentem a analýzy jak potemníka moučného, tak i svaloviny vybraných hospodářských zvířat byly realizovány v laboratoři Fakulty veterinární hygieny a ekologie, Veterinární univerzity Brno.

Ze sledovaných ukazatelů byla naše pozornost věnována obsahu sušiny, která byla stanovena vysoušením vzorku při 105 °C vázkově za předepsaných podmínek a byla vyjádřena jako tukuprostá sušina.

V rámci rozborů byly po vysušení vzorku provedeny analýzy na obsah hrubého proteinu, kde byl stanovený dusík metodou dle Kjeldahla vynásobený koeficientem 6,25; dusík byl stanoven analyzátozem Buchi (firma Centec automatika, spol. s.r.o.).

Tuk byl stanovený extrakčním postupem přístrojem ANKOM XT10 Fat Analyzer (firma O.K. SERVIS BioPro).

V rámci rozborů byla po vysušení vzorku provedena analýza vzorku na obsah aminokyselin, po kyselé hydrolyze, automatickým analyzátozem aminokyselin AAA 400 (firma INGOS a.s. Praha) na základě barvotvorné reakce aminokyselin s oxidačním činidlem ninhydrinem. Z aminokyselinového spektra byly sledovány následující aminokyseliny: kyselina asparagová (Asp), threonin (Thre), serin (Ser), kyselina glutamová (Glu), prolin (Pro), glycin (Gly), alanin (Ala), valin (Val), methionin (Met), isoleucin (Ile), leucin (Leu), tyrosin (Tyr), phenylalanin (Phe), histidin (His), lysin (Lys) a arginin (Arg).

Stanovení minerálních látek Ca a Mg bylo provedeno pomocí přístroje Agilent ²⁴⁰AA metodou plamenové atomové absorpční spektrometrie (FAAS). Stanovení P bylo provedeno pomocí spektrofotometru Helios α (*Thermo Scientific, GB*) při vlnové délce 445 nm.

Dosažené výsledky byly porovnány statistickým programem Unistat CZ, for Excel verze 5.6 na hladině významnosti $P \leq 0,05$ (statisticky významný rozdíl). Ze statistických charakteristik byl pro vyhodnocení experimentu použit aritmetický průměr (\bar{x}) a směrodatná odchylka (Sn).

4 Výsledky

Cílem studie bylo stanovit nutriční hodnotu sušiny (moučky) larvy potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) jako potencionálního zdroje proteinu určeného pro výživu člověka, případně k využití jako proteinové komponenty do krmných směsí určených k výživě hospodářských zvířat, zejména drůbeže.

4.1 Porovnání rozdílů základních živin v sušině larev potemníka moučného a svalové tkáni skotu a vykrmované drůbeže

○ Hrubý protein (HP)

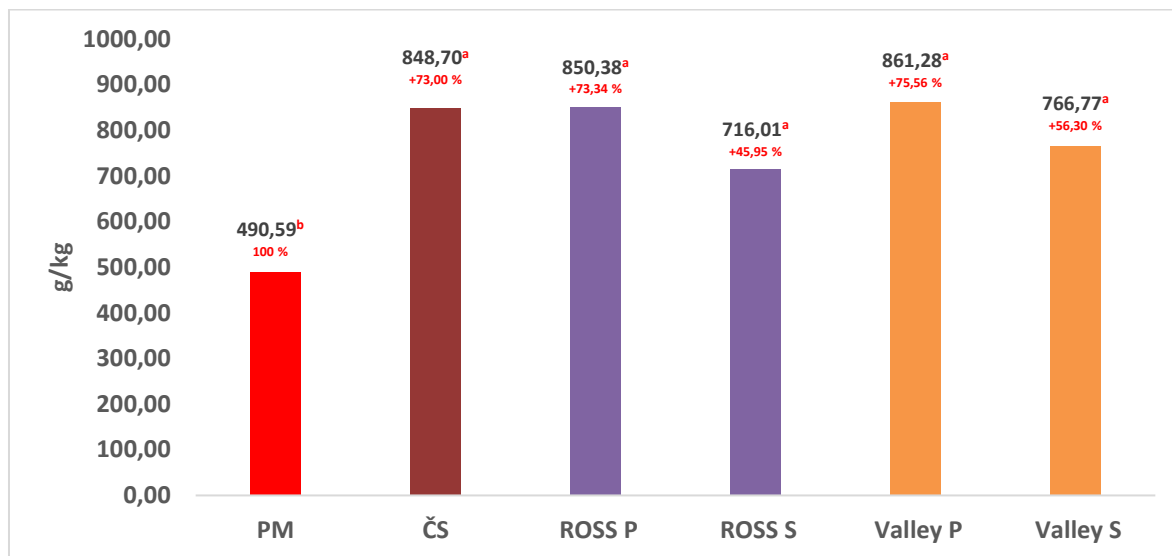
Z tabulky 1 vyplývá, že sušina biomasy larev potemníka obsahuje významně ($P \leq 0,05$) nižší obsah HP ve srovnání se sušinou svaloviny vybraných hospodářských zvířat.

Tabulka 1. Obsah hrubého proteinu (HP) v sušině (g/kg) potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$

HP	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	490,59 ^b	848,70 ^a	850,38 ^a	716,01 ^a	861,28 ^a	766,77 ^a
Sn	57,486	100,528	25,457	26,429	9,997	20,699

Rozdíl v průměrném obsahu hrubého proteinu (HP) v sušině larev a ve svalovině vybraných hospodářských zvířat názorně zobrazuje graf 1. Sušina svaloviny podle druhu zvířete obsahovala o 56,30 % až 75,56 % více HP ve srovnání se sušinou biomasy larev.

Graf 1. Průměrný obsah hrubého proteinu (HP) v sušině larev potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$



○ **Obsah hrubého tuku (HT)**

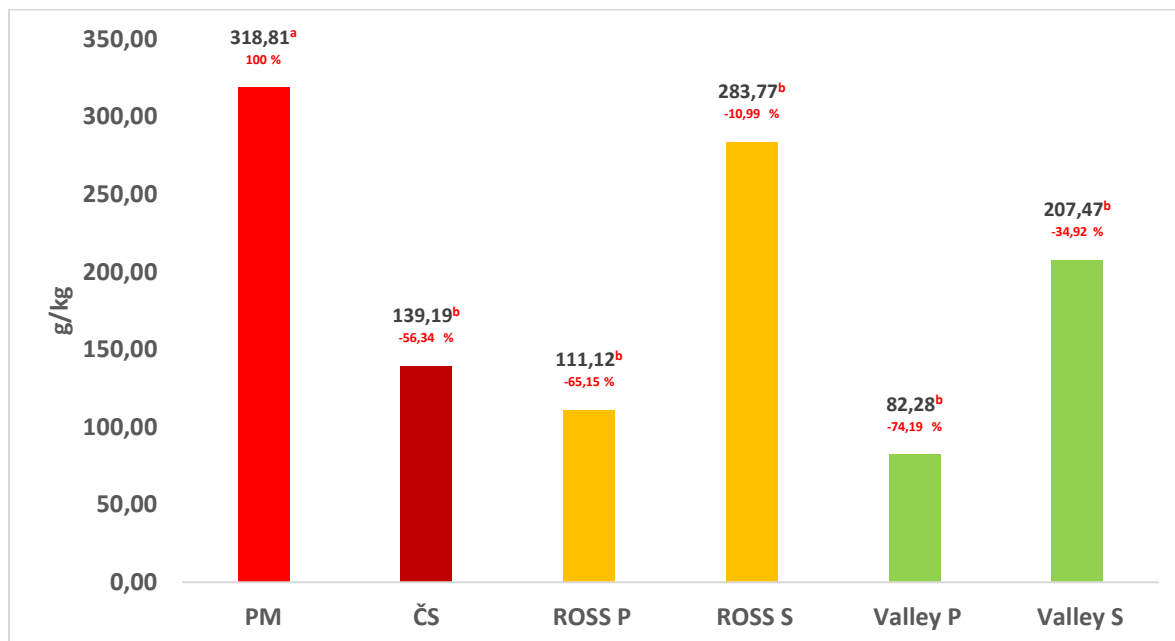
Obsah hrubého tuku v sušině biomasy larev a sušiny svaloviny vybraných druhů zvířat uvádí tabulka 2. Výsledky dokládají, že oproti svalovině vybraných hospodářských zvířat obsahují larvy potemníka moučného významně ($P \leq 0,05$) vyšší obsah tuku.

Tabulka 2. Obsah hrubého tuku (HT) v sušině (g/kg) potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$

HT	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	318,81 ^a	139,19 ^b	111,12 ^b	283,77 ^b	82,28 ^b	207,47 ^b
Sn	74,766	76,532	24,232	25,422	10,157	22,119

Jak dokumentuje graf 2, ve srovnání s biomasou larev, sušina svaloviny obsahovala méně tuku. Ze svaloviny byl nejvyšší obsah tuku ve stehenní svalovině kuřat a kachen, naopak nejnižší obsah tuku byl ve svalovině prsní.

Graf 2. Průměrný obsah hrubého tuku (HT) v sušině larev potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$



○ Obsah popelovin

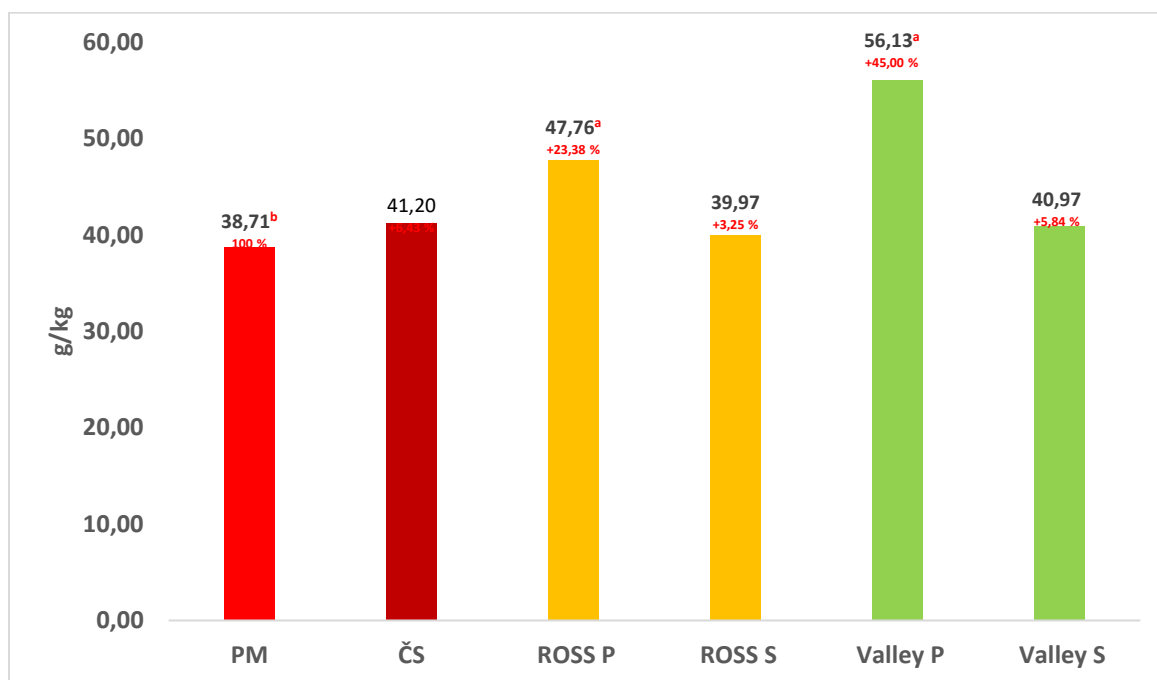
Jak dokumentuje tabulka 3, na rozdíl od hrubého proteinu a hrubého tuku obsah popelovin nevykazoval tak výrazných rozdílů mezi sušinou larev a svalovinou. Z výsledků lze obecně konstatovat, že svalovina zvířat vykazovala vyšší průměrné hodnoty popelovin v porovnání s popelovinami sušiny larev. Významně vyšší hodnoty ($P \leq 0,05$) byly ve srovnání s larvami potemníka pouze v prsní svalovině kuřat a kachen.

Tabulka 3. Obsah popelovin v sušině (g/kg) potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$

Popeloviny	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	38,71 ^b	41,20	47,76 ^a	39,97	56,13 ^a	40,97
Sn	7,271	5,182	1,044	1,613	2,962	1,394

Rozdíly v obsahu popelovin znázorňuje graf 3. Ve svalovině byl vyšší obsah popelovin oproti larvám o 3,25 % až 45,00 %. Nejvíce popelovin obsahovala prsní svalovina kuřat a kachen.

Graf 3. Průměrný obsah popelovin v sušině larev potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$



○ Obsah vápníku (Ca)

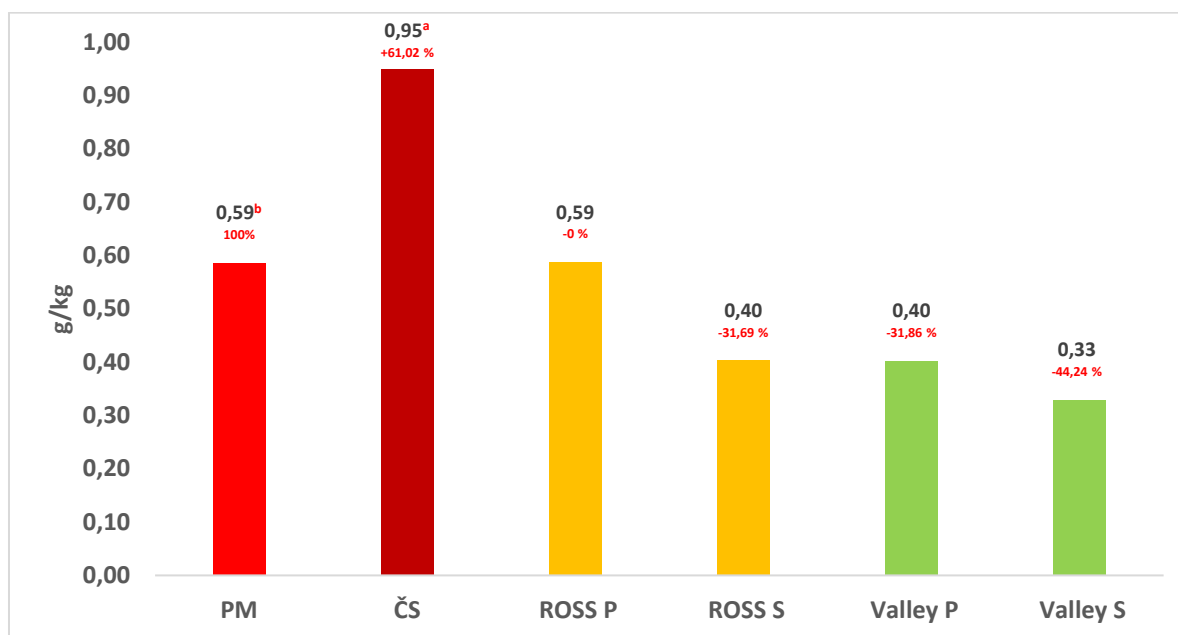
Průměrný obsah vápníku v sušině larev a svaloviny vybraných druhů zvířat je uveden v tabulce 4. Z výsledků vyplývá, že pouze ve svalovině skotu byl významně ($P \leq 0,05$) vyšší obsah vápníku ve srovnání s larvami potemníka. Ve svalovině vykrmované drůbeže, a to prsní i stehenní, byl průměrný obsah Ca srovnatelný nebo statisticky nevýznamně nižší.

Tabulka 4. Obsah vápníku (Ca) v sušině (g/kg) potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$

Ca	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	0,59 ^b	0,95 ^a	0,59	0,40	0,40	0,33
Sn	0,209	0,272	0,472	0,123	0,134	0,127

V grafu 4 jsou znázorněny průměrné hodnoty Ca v sušině larev a svaloviny vybraných druhů zvířat. Vyjma svaloviny skotu, kde byla prokázána ($P \leq 0,05$) vyšší průměrná hodnota Ca v porovnání s průměrným obsahem Ca v sušině larev, byly hodnoty Ca ve svalovině nižší ve srovnání s potemníkem moučným.

Graf 4. Průměrný obsah vápníku v sušině larev potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$



○ **Obsah fosforu (P)**

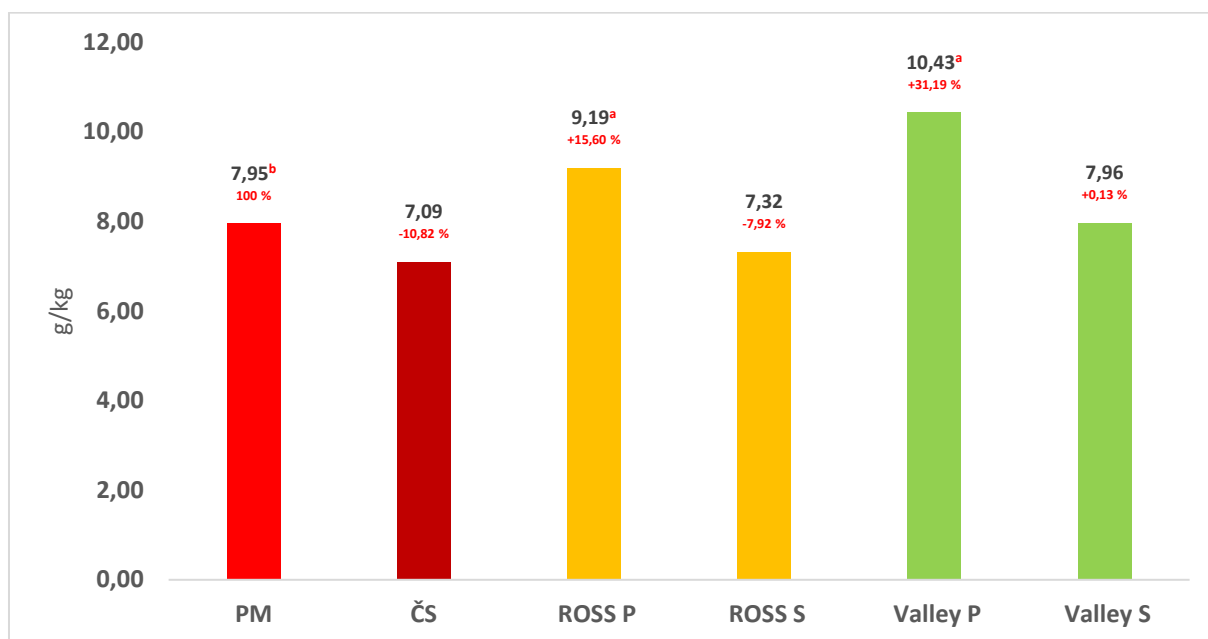
Průměrný obsah fosforu (P) v sušině larev potemníka a svalovině vybraných hospodářských zvířat je uveden v tabulce 5. Z výsledků vyplývá, že prsní svalovina kuřat a kachen obsahuje významně ($P \leq 0,05$) vyšší průměrný obsah P oproti sušině larev. U skotu a stehenní svaloviny rozdíl mezi larvami a svalovinou prokázány nebyly.

Tabulka 5. Obsah fosforu (P) v sušině (g/kg) potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$

P	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	7,95 ^b	7,09	9,19 ^a	7,32	10,43 ^a	7,96
Sn	1,441	0,823	0,321	0,708	0,510	0,341

V grafu 5 jsou znázorněny průměrné hodnoty fosforu v sušině biomasy larev potemníka a sušiny svaloviny skotu a vykrmované drůbeže. Vyšší hodnoty fosforu v sušině byly prokázány ($P \leq 0,05$) v prsní svalovině drůbeže oproti larvám potemníka. Nevýznamně nižší průměrné hodnoty P byly v sušině skotu a stehenní svalovině kuřat. Srovnatelná s obsahem P byla u larev stehenní svalovina kachen.

Graf 5. Průměrný obsah fosforu v sušině larev potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$



○ **Obsah hořčíku (Mg)**

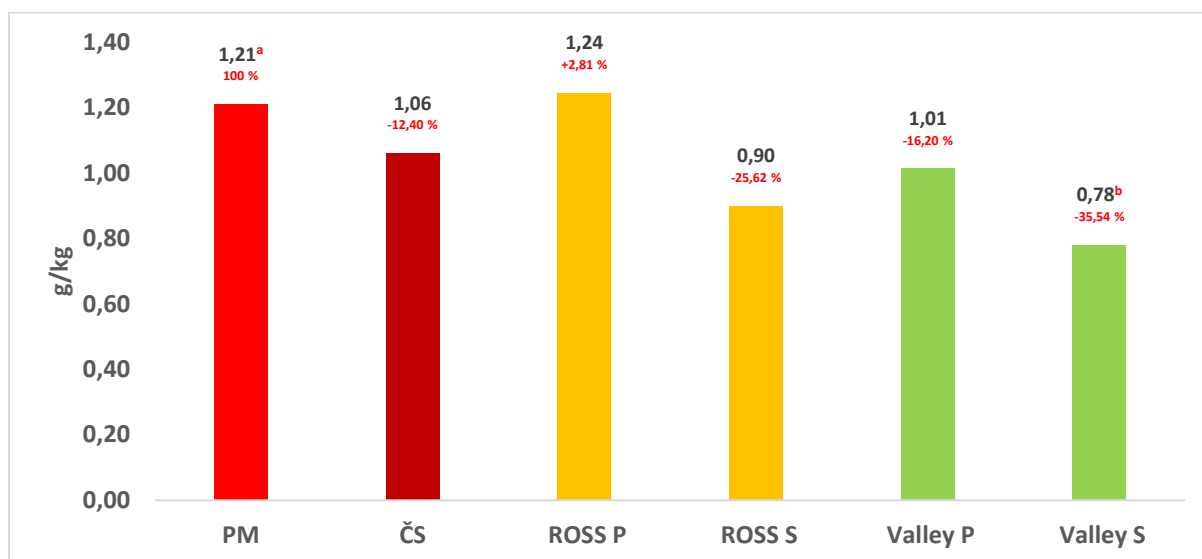
Průměrné hodnoty hořčíku (Mg) jsou uvedeny v tabulce 6. Z uvedené tabulky vyplývá, že mezi průměrnou hodnotou Mg v sušině biomasy larev potemníka a svalovinou vybraných hospodářsky významných druhů zvířat nebyly shledány statisticky významné rozdíly. Výjimkou byla sušina stehenní svalovina kachen, která ve srovnání se sušinou larev potemníka obsahovala významně ($P \leq 0,05$) nižší hodnotu Mg.

Tabulka 6. Obsah hořčíku (Mg) v sušině (g/kg) potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$

Mg	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	1,21 ^a	1,06	1,24	0,90	1,01	0,78 ^b
Sn	0,714	0,288	0,068	0,055	0,049	0,041

Jak dokumentuje graf 6, většina průměrných hodnot Mg ve svalovině skotu, kuřat a kachen (vyjma stehenní svaloviny) vykazovala statisticky nevýznamně nižší průměrné hodnoty. Neprůkazně vyšší byla průměrná hodnota prsní svaloviny kuřat.

Graf 6. Průměrný obsah hořčíku v sušině larev potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$



o Aminokyselinové složení (AA)

Hrubý protein nám mnoho neříká o skutečné kvalitě proteinu, jde prakticky pouze o obsah dusíkatých látek ($N \times 6,25$). O skutečné kvalitě proteinu rozhoduje jeho aminokyselinové složení, a to obsah esenciálních a neesenciálních aminokyselin.

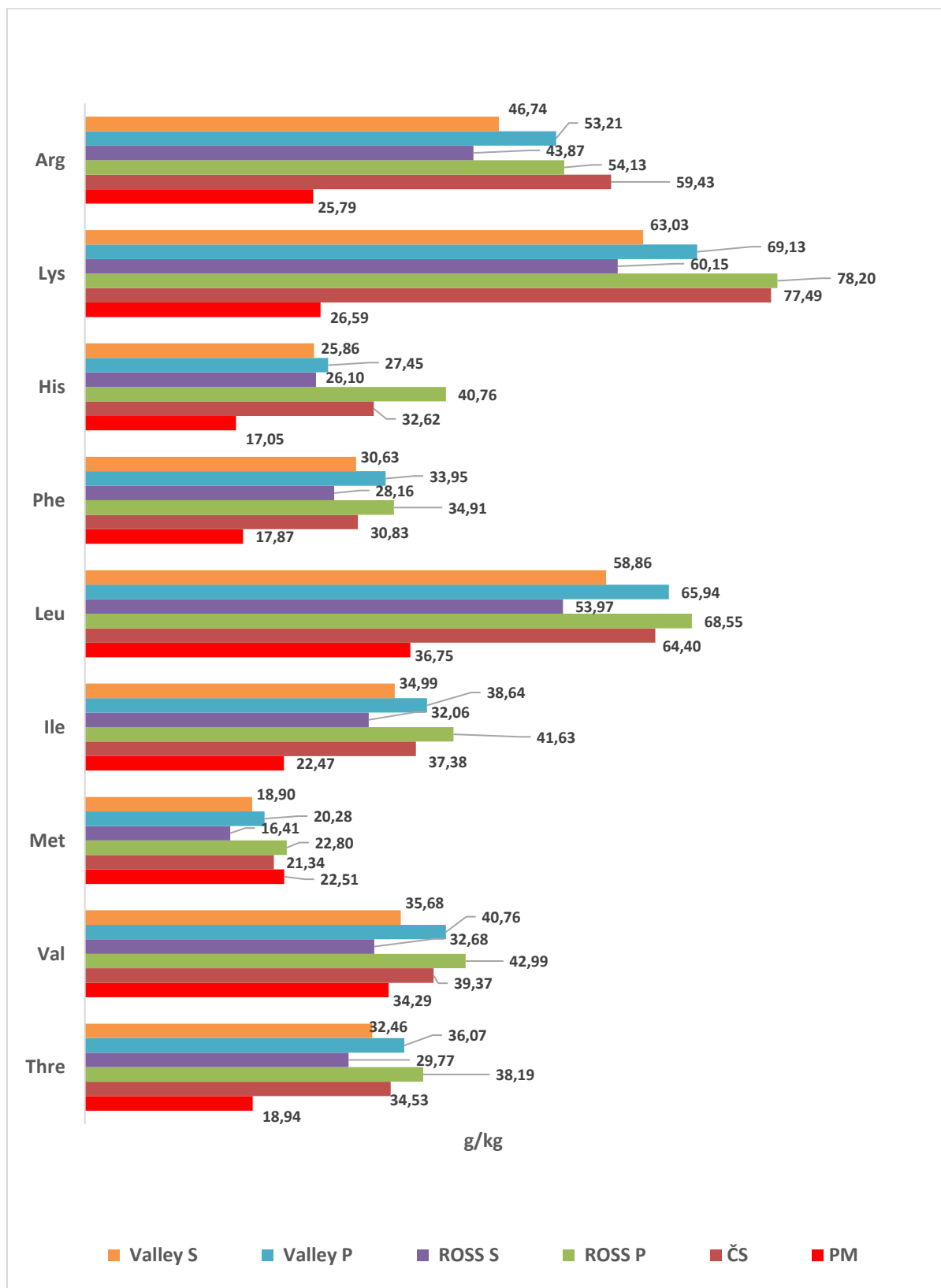
Esenciální aminokyseliny (EAA)

O průměrném obsahu jednotlivých esenciálních aminokyselin v sušině larev potemníka a v sušině svaloviny vybraných hospodářských zvířat nás informuje tabulka 7 a graf 7. Z výsledků je zřejmé, že v sušině svaloviny uvedených hospodářských zvířat je ve srovnání se sušinou larev potemníka významně ($P \leq 0,05$) vyšší obsah aminokyseliny Thre, Ile, Leu, Phe, His, Lys a Arg; u Val pouze u ČS. U Met byly srovnatelné hodnoty u ČS a ROSS, naopak v sušině svaloviny u ROSS a Cherry Valley (prsní i stehenní svalovina) byly průměrné hodnoty významně ($P \leq 0,05$) nižší ve srovnání s larvami potemníka.

Tabulka 7. Obsah esenciálních aminokyselin v sušině (g/kg) potměníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$

Thre	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	18,94^b	34,53^a	38,19^a	29,77^a	36,07^a	32,46^a
Sn	1,012	2,328	0,791	1,256	2,356	1,283
Val	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	34,29^b	39,37^a	42,99^a	32,68	40,76^a	35,68
Sn	7,338	2,962	1,415	1,248	1,751	1,713
Met	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	22,52^a	21,34	22,80	16,41^b	20,28^b	18,90^b
Sn	2,065	1,716	1,414	1,913	1,210	1,308
Ile	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	22,47^b	37,38^a	41,63^a	32,06^a	38,64^a	34,99^a
Sn	1,585	2,710	1,324	1,328	1,983	1,646
Leu	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	36,75^b	64,40^a	68,55^a	53,97^a	65,94^a	58,86^a
Sn	2,708	4,460	1,851	2,207	2,963	2,633
Phe	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	17,87^b	30,83^a	34,91^a	28,16^a	33,95^a	30,63^a
Sn	0,566	2,185	1,027	0,959	1,279	1,099
His	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	17,05^b	32,62^a	40,76^a	26,10^a	27,45^a	25,86^a
Sn	1,300	3,284	2,864	1,348	1,720	1,536
Lys	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	26,59^b	77,49^a	78,20^a	60,15^a	69,13^a	63,03^a
Sn	1,904	6,849	2,393	2,259	3,174	2,667
Arg	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	25,79^b	59,43^a	54,13^a	43,87^a	53,21^a	46,74^a
Sn	1,759	4,313	1,530	1,676	1,827	1,865

Graf 7. Obsah esenciálních aminokyselin v sušině (g/kg) potměníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, n = 10



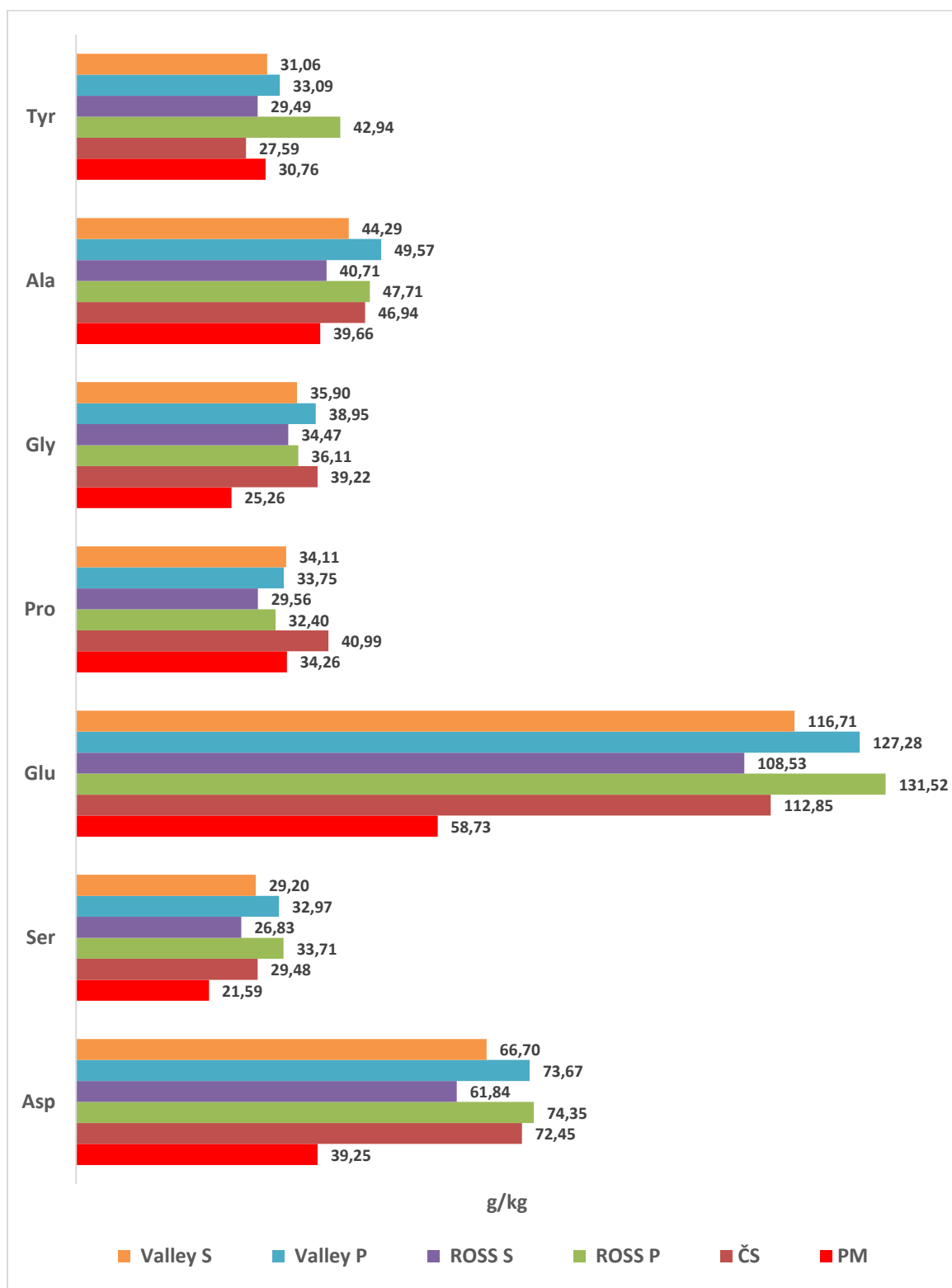
Neesenciální aminokyseliny (NeAA)

O průměrném obsahu jednotlivých neesenciálních aminokyselin v sušině larev potemníka a sušině svaloviny vybraných hospodářských zvířat nás informuje tabulka 8 a graf 8. Z výsledků je zřejmé, že ve svalovině uvedených hospodářských zvířat je ve srovnání se sušinou larev potemníka statisticky významně ($P \leq 0,05$) vyšší obsah Asp, Ser, Glu a Ala (vyjma stehenní svaloviny kuřat, kde byla hodnota srovnatelná). U aminokyseliny Pro byla srovnatelná hodnota u prsní svaloviny kuřat a prsní a stehenní svaloviny kachen. Významně ($P \leq 0,05$) vyšší hodnota Pro byla ve svalovině ČS. U Ala byly u svaloviny hospodářsky významných sledovaných zvířat potvrzeny významně ($P \leq 0,05$) vyšší průměrné hodnoty, vyjma stehenní svaloviny kuřat.

Tabulka 8. Obsah neesenciálních aminokyselin v sušině (g/kg) potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, cd, n = 10

Asp	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	39,25^b	72,45^a	74,35^a	61,84^a	73,67^a	66,70^a
Sn	1,346	5,247	1,328	2,424	4,529	3,645
Ser	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	21,59^b	29,48^a	33,71^a	26,83^a	32,97^a	29,20^a
Sn	1,897	2,077	0,836	1,209	1,683	0,968
Glu	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	58,73^b	112,85^a	131,52^a	108,53^a	127,28^a	116,71^a
Sn	5,551	9,322	4,639	3,727	5,974	3,664
Pro	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	34,26^{ac}	40,99^d	32,40	29,56^b	33,75	34,11
Sn	4,882	5,198	1,222	2,522	2,438	2,654
Gly	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	25,26^b	39,22^a	36,11^a	34,47^a	38,95^a	35,90
Sn	3,304	5,177	0,949	1,913	3,031	2,233
Ala	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	39,66^b	46,94^a	47,71^a	40,71	49,57^a	44,29^a
Sn	5,872	3,600	1,485	1,723	2,905	1,897
Tyr	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	30,76^{ad}	27,59^b	42,94^c	29,49	33,09	31,06
Sn	4,779	1,825	1,831	0,833	1,045	1,288
Asp	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	39,25^b	72,45^a	74,35^a	61,84^a	73,67^a	66,70^a
Sn	1,346	5,247	1,328	2,424	4,529	3,645
Ser	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	21,59^b	29,48^a	33,71^a	26,83^a	32,97^a	29,20^a
Sn	1,897	2,077	0,836	1,209	1,683	0,968

Graf 8. Obsah neesenciálních aminokyselin v sušině (g/kg) potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, n = 10



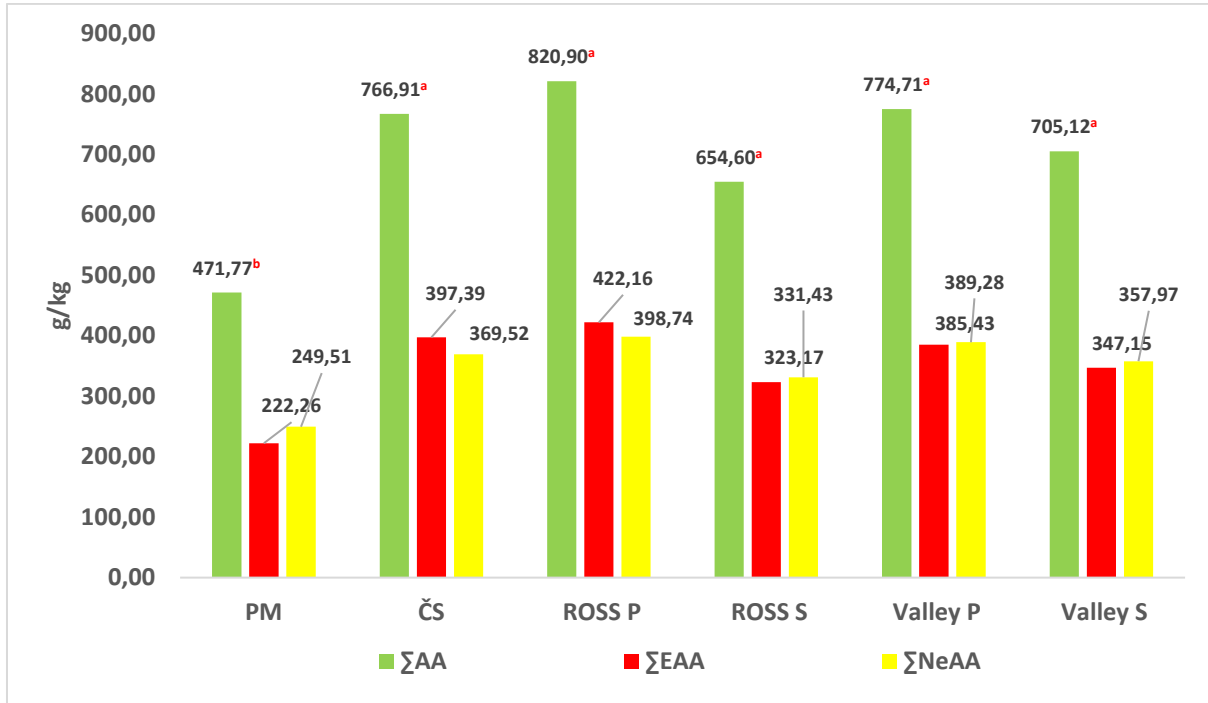
V tabulce 9 jsou uvedeny průměrné hodnoty celkového obsahu aminokyselin (Σ AA), celkového obsahu esenciálních aminokyselin (Σ EAA) a celkového obsahu neesenciálních aminokyselin (Σ NeAA). Z tabulky vyplývá, že v sušině larev potemníka je významně ($P \leq 0,05$) nižší obsah Σ AA ve srovnání se svalovinou uvedených hospodářských zvířat, a s tím koresponduje i obsah Σ EAA a Σ NeAA.

Tabulka 9. Průměrné hodnoty celkového obsahu aminokyselin (Σ AA), esenciálních aminokyselin (Σ EAA) a neesenciálních aminokyselin (Σ NeAA) v sušině (g/kg) potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$

	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
Σ AA	471,77 ^b	766,91 ^a	820,90 ^a	654,60 ^a	774,71 ^a	705,12 ^a
Σ EAA	222,26	397,39	422,16	323,17	385,43	347,15
Σ NeAA	249,51	369,52	398,74	331,43	389,28	357,97

Z grafického vyjádření (graf 9) je zřejmé, že u svaloviny uvedených hospodářských zvířat je obsah EAA vyšší nebo srovnatelný, na rozdíl od larev potemníka, kde je v sušině výrazně vyšší obsah NeAA.

Graf 9. Grafické vyjádření průměrných hodnot celkového obsahu aminokyselin (Σ AA), esenciálních aminokyselin (Σ EAA) a neesenciálních aminokyselin (Σ NeAA) v sušině (g/kg) potměníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$



Procentické zastoupení aminokyselin

Průměrné procentické zastoupení jednotlivých esenciálních a neesenciálních aminokyselin v proteinu larev potměníka a svaloviny vybraných hospodářských zvířat uvádí tabulka 10. Jde o spektrum aminokyselin, které je charakteristické pro daný druh zvířete. Z uvedené tabulky vyplývá, že obecně nejvíce zastoupenou aminokyselinou v proteinu larev i svaloviny je kyselina glutamová (Glu), naopak nejméně zastoupenou je v sušině larev potměníka histidin (His), v sušině svaloviny methionin (Met).

Tabulka 10. Procentické zastoupení jednotlivých esenciálních aminokyselin (zvýrazněné) a neesenciálních aminokyselin v proteinu potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, n = 10

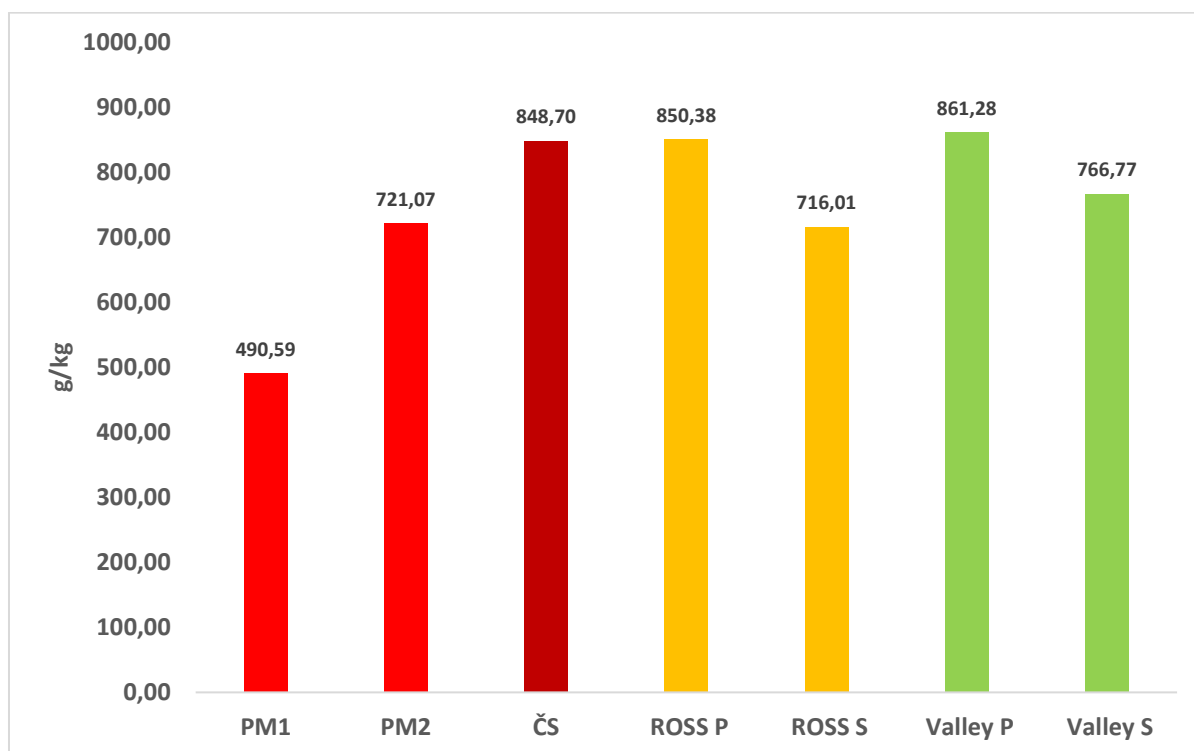
PM	%	ČS	%	ROSS P	%	ROSS S	%	Valley P	%	Valley S	%
His	3,61	Met	2,78	Met	2,78	Met	2,51	Met	2,62	Met	2,68
Phe	3,79	Tyr	3,60	Pro	3,95	His	3,99	His	3,54	His	3,67
Thre	4,01	Ser	3,84	Ser	4,11	Ser	4,10	Ser	4,26	Ser	4,14
Ser	4,58	Phe	4,02	Phe	4,25	Phe	4,30	Tyr	4,27	Phe	4,34
Ile	4,76	His	4,25	Gly	4,40	Tyr	4,51	Pro	4,36	Tyr	4,40
Met	4,77	Thre	4,50	Thre	4,65	Pro	4,52	Phe	4,38	Thre	4,60
Gly	5,35	Ile	4,87	His	4,97	Thre	4,55	Thre	4,66	Pro	4,84
Arg	5,47	Gly	5,11	Ile	5,07	Ile	4,90	Ile	4,99	Ile	4,96
Lys	5,64	Val	5,13	Tyr	5,23	Val	4,99	Gly	5,03	Val	5,06
Tyr	6,52	Pro	5,34	Val	5,24	Gly	5,27	Val	5,26	Gly	5,09
Pro	7,26	Ala	6,12	Ala	5,81	Ala	6,22	Ala	6,40	Ala	6,28
Val	7,27	Arg	7,75	Arg	6,59	Arg	6,70	Arg	6,87	Arg	6,63
Leu	7,79	Leu	8,40	Leu	8,35	Leu	8,24	Leu	8,51	Leu	8,35
Asp	8,32	Asp	9,45	Asp	9,06	Lys	9,19	Lys	8,92	Lys	8,94
Ala	8,41	Lys	10,10	Lys	9,53	Asp	9,45	Asp	9,51	Asp	9,46
Glu	12,45	Glu	14,71	Glu	16,02	Glu	16,58	Glu	16,43	Glu	16,55

4.2 Vliv tukuprosté sušiny na obsah hrubého proteinu a aminokyselin

Abychom zvýšili obsah hrubého proteinu, a tím zvýšili i nutriční hodnotu sušiny (moučky) z larev potemníka, je možné ze sušené biomasy odstranit tuk, a tím získat tukuprostou sušinu (TPS), tj. moučku z larev s vyšším obsahem hrubého proteinu. Z původního obsahu se tím zvýší obsah hrubého proteinu z 490,59 g/kg sušiny na 721,07 g/kg tukuprosté sušiny, tj o 46,98 %, jak uvádí graf 10. Tuk při výrobě odtučněné moučky z larev lze pro jeho vysokou nutriční hodnotu využít jako sekundární produkt ve výživě, farmacie atd.

Jak uvádí tabulka 11, v tukuprosté sušině se již obsah HP blíží obsahu HP ve svalovině uvedených druhů zvířat, dokonce je srovnatelný se stehenní svalovinou drůbeže. V sušině svaloviny skotu a prsní svaloviny drůbeže byl i přesto obsah vyšší ve srovnání s HP tukuprosté sušiny larev.

Graf 10. Obsah hrubého proteinu (HP) v sušině (PM1) a tukuprosté sušině (PM2) potměníka moučného (PM) a v sušině svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině v g/kg, n = 10



Tabulka 11. Obsah hrubého proteinu (HP) v tukuprosté (TPS) sušině (g/kg) potměníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, n = 10

HP	PM (TPS)	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	721,07 ^b	848,70 ^a	850,38 ^a	716,01	861,28 ^a	766,77
Sn	46,698	100,528	25,457	26,429	9,997	20,699

○ **Obsah aminokyselin (AA) v tukuprosté sušině (TPS) larev potměníka (PM)**

Obdobně jako hrubý protein, tak se v tukuprosté sušině larev potměníka moučného zvýšil i obsah jednotlivých aminokyselin, a to jak aminokyselin esenciálních, tak i neesenciálních.

Esenciální aminokyseliny (EAA)

Odstraněním tuku se v sušině larev výrazně zvýšil i obsah jednotlivých esenciálních aminokyselin (v tukuprosté sušině), a tím se i snížil rozdíl mezi jejich obsahem ve vztahu k sušině svaloviny. Průměrné hodnoty jednotlivých EAA v tukuprosté sušině larev potměníka

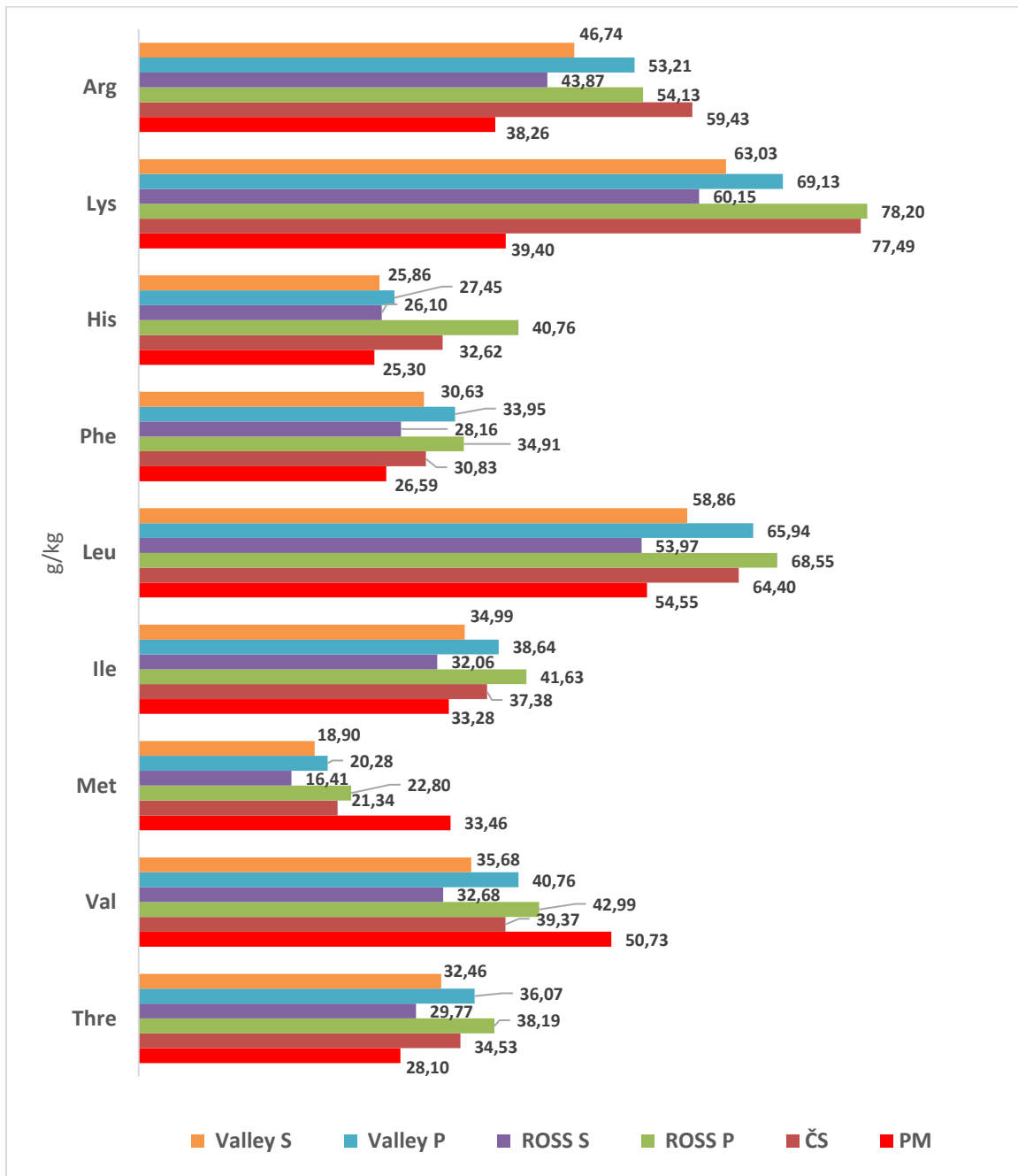
a v sušině svaloviny hospodářsky významných zvířat jsou uvedeny v tabulce 12. U některých EAA jako je Val a Met byla jejich průměrná hodnota v tukuprosté sušině významně ($P \leq 0,05$) vyšší ve srovnání se sušinou svaloviny.

Tabulka 12. Obsah esenciálních aminokyselin v tukuprosté sušině (g/kg) potměníka moučného (PM) a v sušině svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$

Thre	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	28,10^b	34,53^a	38,19^a	29,77	36,07^a	32,46^a
Sn	3,424	2,328	0,791	1,256	2,356	1,283
Val	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	50,73^a	39,37^b	42,99^b	32,68^b	40,76^b	35,68^b
Sn	11,329	2,962	1,415	1,248	1,751	1,713
Met	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	33,46^a	21,34^b	22,80^b	16,41^b	20,28^b	18,90^b
Sn	5,523	1,716	1,414	1,913	1,210	1,308
Ile	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	33,28^b	37,38^a	41,63^a	32,06	38,64^a	34,99
Sn	3,640	2,710	1,324	1,328	1,983	1,646
Leu	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	54,55^b	64,40^a	68,55^a	53,97	65,94^a	58,86
Sn	7,614	4,460	1,851	2,207	2,963	2,633
Phe	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	26,59^b	30,83^a	34,91^a	28,16	33,95^a	30,63^a
Sn	3,776	2,185	1,027	0,959	1,279	1,099
His	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	25,30^b	32,62^a	40,76^a	26,10	27,45	25,86
Sn	3,238	3,284	2,864	1,348	1,720	1,536
Lys	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	39,40^b	77,49^a	78,20^a	60,15^a	69,13^a	63,03^a
Sn	4,405	6,849	2,393	2,259	3,174	2,667
Arg	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	38,26^b	59,43^a	54,13^a	43,87^a	53,21^a	46,74^a
Sn	4,994	4,313	1,530	1,676	1,827	1,865

Názorně lze vidět rozdíly v EAA v tukuprosté sušině larev potměníka a sušině svaloviny vybraných hospodářských zvířat v grafu 11. Z grafu lze vidět, že u aminokyseliny Arg, Lys, Phe a Thre jsou jednoznačně nižší jeho průměrné hodnoty v tukuprosté sušině v porovnání se sušinou svaloviny. U některých AA, např. His, Leu a Ile, jsou jejich hodnoty srovnatelné nebo se blíží k průměrným hodnotám především v sušině stehenní svaloviny drůbeže. U aminokyseliny Met a Val jsou průměrné hodnoty v tukuprosté sušině jednoznačně vyšší ve srovnání se sušinou svaloviny hospodářsky významných zvířat.

Graf 11. Obsah esenciálních aminokyselin v tukuprosté sušině (g/kg) potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, n = 10



Neesenciální aminokyseliny (NeAA)

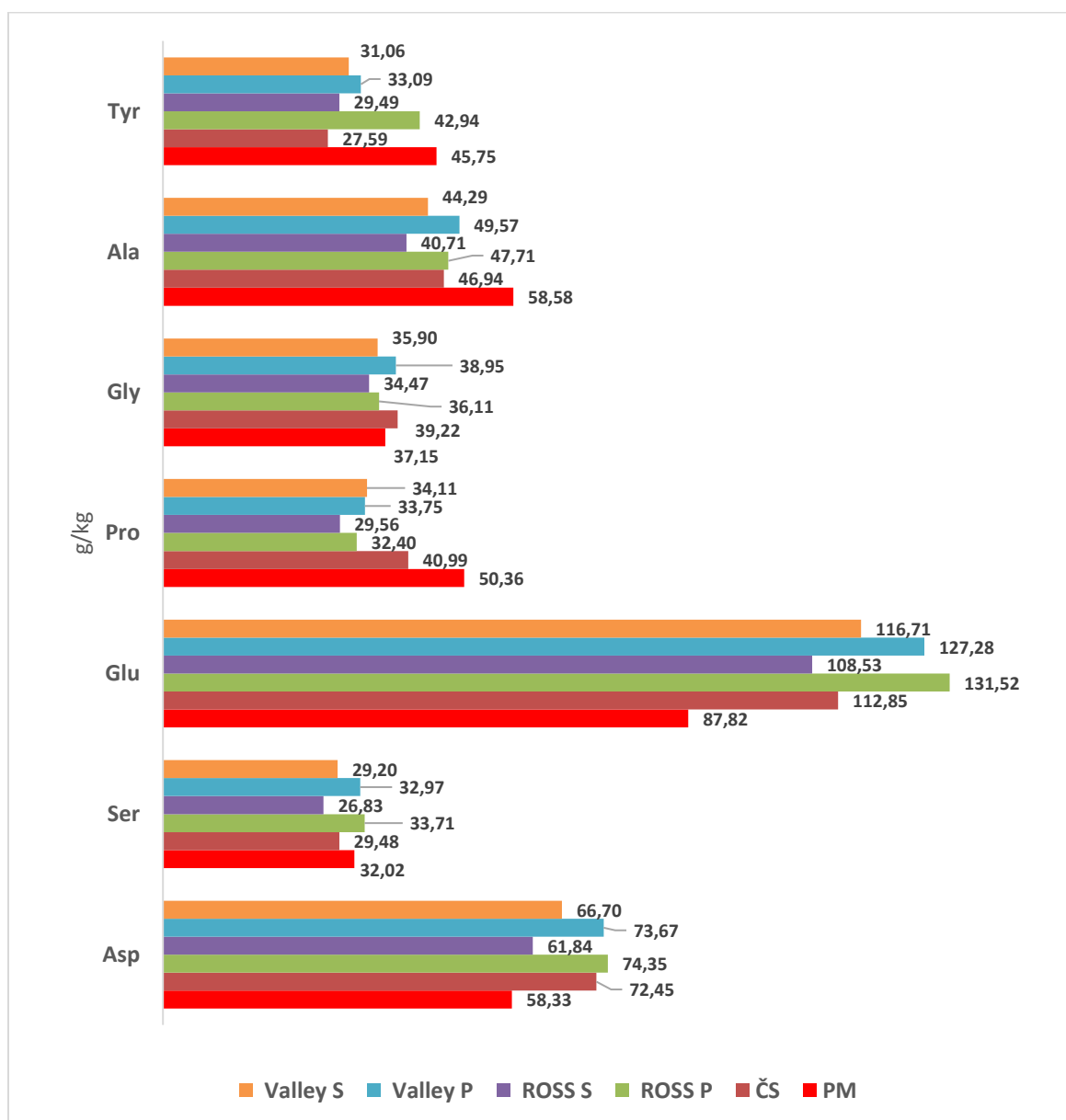
V tukuprosté sušině larev se výrazně zvýšil i obsah jednotlivých neesenciálních aminokyselin (NeAA). I v případě NeAA se v tukuprosté sušině snížil rozdíl mezi jejich obsahem ve vztahu k sušině svaloviny. Průměrné hodnoty jednotlivých NeAA v tukuprosté sušině larev potemníka a v sušině svaloviny jsou uvedeny v tabulce 13. U některých NeAA jako je Ala a Tyr byla jejich průměrná hodnota v tukuprosté sušině významně ($P \leq 0,05$) vyšší ve srovnání se sušinou svaloviny.

Tabulka 13. Obsah neesenciálních aminokyselin v tukuprosté sušině (g/kg) potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$

Asp	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	58,33^b	72,45^a	74,35^a	61,84	73,67^a	66,70^a
Sn	7,552	5,247	1,328	2,424	4,529	3,645
Ser	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	32,02^a	29,48	33,71	26,83^b	32,97	29,20
Sn	4,284	2,077	0,836	1,209	1,683	0,968
Glu	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	87,82^b	112,85^a	131,52^a	108,53^a	127,28^a	116,71^a
Sn	17,256	9,322	4,639	3,727	5,974	3,664
Pro	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	50,36^a	40,99^b	32,40^b	29,56^b	33,75^b	34,11^b
Sn	5,130	5,198	1,222	2,522	2,438	2,654
Gly	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	37,15	39,22	36,11	34,47	38,95	35,90
Sn	3,253	5,177	0,949	1,913	3,031	2,233
Ala	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	58,58^a	46,94^b	47,71^b	40,71^b	49,57^b	44,29^b
Sn	8,341	3,600	1,485	1,723	2,905	1,897
Tyr	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	45,75^a	27,59^b	42,94	29,49^b	33,09^b	31,06^b
Sn	9,263	1,825	1,831	0,833	1,045	1,288
Asp	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	58,33^b	72,45^a	74,35^a	61,84	73,67^a	66,70^a
Sn	7,552	5,247	1,328	2,424	4,529	3,645
Ser	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
x	32,02^a	29,48	33,71	26,83^b	32,97	29,20
Sn	4,284	2,077	0,836	1,209	1,683	0,968

Názorně lze vidět rozdíly v NeAA v tukuprosté sušině larev potemníka a v sušině svaloviny vybraných hospodářských zvířat v grafu 12. Z grafu lze vidět, že u kyseliny glutamové (Glu) a asparagové (Asp) jsou jednoznačně nižší jejich průměrné hodnoty v tukuprosté sušině v porovnání se sušinou svaloviny. U některých NeAA, např. Gly a Ser, jsou jejich hodnoty srovnatelné nebo se blíží k průměrným hodnotám svaloviny. U aminokyseliny Tyr, Ala a Pro jsou průměrné hodnoty v tukuprosté sušině larev jednoznačně vyšší ve srovnání se sušinou svaloviny

Graf 12. Obsah neesenciálních aminokyselin v tukuprosté sušině (g/kg) potemníka moučného (PM) a svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, n = 10



V tabulce 14 jsou uvedeny průměrné hodnoty celkového obsahu aminokyselin (Σ AA), celkového obsahu esenciálních aminokyselin (Σ EAA) a celkového obsahu neesenciálních aminokyselin (Σ NeAA) tukuprosté sušiny larev potemníka a sušiny svaloviny hospodářských zvířat. Z tabulky vyplývá, že v tukuprosté sušině larev potemníka je významně ($P \leq 0,05$) nižší obsah Σ AA ve srovnání se sušinou svaloviny skotu a sušinou prsní svaloviny kuřat a kachen a je srovnatelná se sušinou stehenní svaloviny vykrmované drůbeže.

Tabulka 14. Průměrné hodnoty celkového obsahu aminokyselin (Σ AA), esenciálních aminokyselin (Σ EAA) a neesenciálních aminokyselin (Σ NeAA) v tukuprosté sušině (g/kg) potemníka moučného (PM) a sušiny svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$

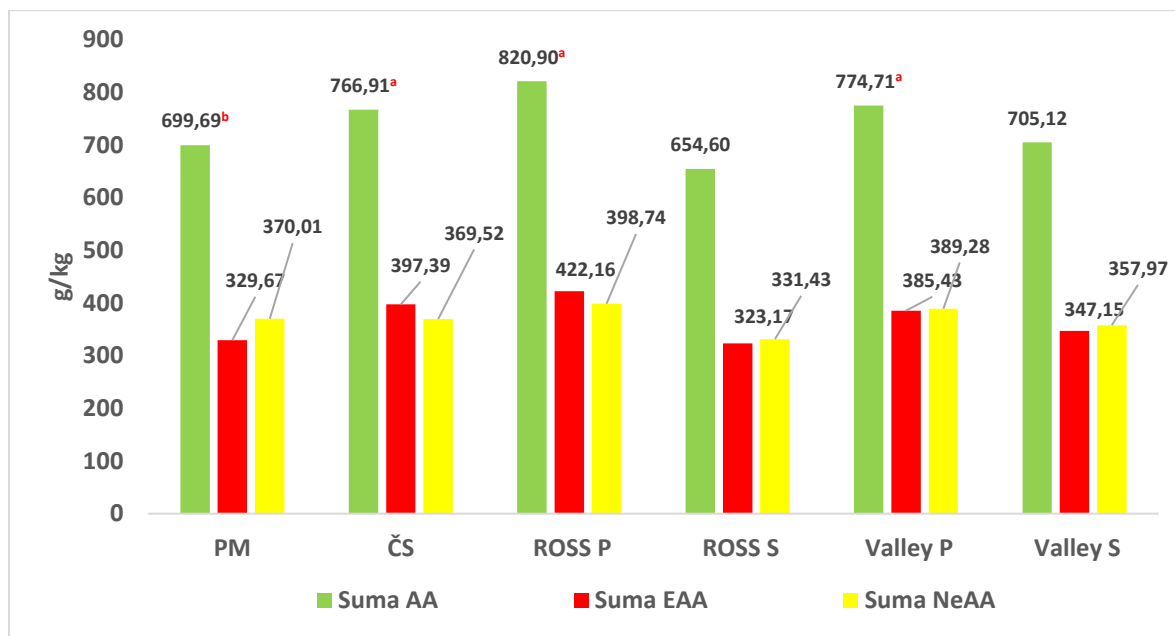
	PM	ČS	ROSS P	ROSS S	Valley P	Valley S
Σ AA	699,69 ^b	766,91 ^a	820,90 ^a	654,60	774,71 ^a	705,12
Σ EAA	329,67	397,39	422,16	323,17	385,43	347,15
Σ NeAA	370,01	369,52	398,74	331,43	389,28	357,97

Z grafického vyjádření (graf 13) je zřejmé, že v sušině svaloviny skotu a v prsní svalovině kuřat a kachen je obsah Σ AA vyšší v porovnání s tukuprostou sušinou larev potemníka. Obsah Σ AA v porovnání s tukuprostou sušinou larev potemníka je srovnatelný s obsahem Σ AA v sušině stehenní svaloviny kuřat a kachen.

4.3 Obsah dusíku (N) vázaného v aminokyselinách (AN)

Jak jsme již výše uvedli, hrubý protein (obsah dusíkatých látek) má z hlediska výživy jen malou vypovídající hodnotu, protože nezohledňuje dusík (N) vázaný v proteinech (aminokyselinový dusík AN) a neproteinový dusík (NAN). K výpočtu AN je třeba v biologickém vzorku znát obsah jednotlivých aminokyselin (g/kg) a u každé aminokyseliny počet N v její molekule, atomovou hmotnost N (14,00674) a molekulovou hmotnost konkrétní aminokyseliny. Z uvedených údajů lze vypočítat obsah N v konkrétní aminokyselině a součtem vyjádřit celkový Σ N vázaný v AA, jak uvádí tabulka 15.

Graf 13. Grafické vyjádření průměrných hodnot celkového obsahu aminokyselin (Σ AA), esenciálních aminokyselin (Σ EAA) a neesenciálních aminokyselin (Σ NeAA) v tukuprosté sušině (g/kg) potměníka moučného (PM) a v sušině svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $P \leq 0,05$ ab, $n = 10$



Tabulka 15. Průměrný obsah vázaného dusíku (N) v aminokyselinách (AA) v g/kg sušiny potměníka moučného (PM) a v sušině svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, $n = 10$

AA	PM	N (g)	ČS	N (g)	ROSS P	N (g)	ROSS S	N (g)	Valley P	N (g)	Valley S	N (g)
Asp	39,25	4,13	72,45	7,62	74,35	7,82	61,84	6,51	73,67	7,75	66,70	7,02
Thre	18,94	2,23	34,53	4,06	38,19	4,49	29,77	3,50	36,07	4,24	32,46	3,82
Ser	21,59	2,88	29,48	3,93	33,71	4,49	26,83	3,58	32,97	4,39	29,20	3,89
Glu	58,73	5,59	112,85	10,74	131,52	12,52	108,53	10,33	127,28	12,12	116,71	11,11
Pro	34,26	4,17	40,99	4,99	32,40	3,94	29,56	3,60	33,75	4,11	34,11	4,15
Gly	25,26	4,71	39,22	7,32	36,11	6,74	34,47	6,43	38,95	7,27	35,90	6,70
Ala	39,66	6,23	46,94	7,38	47,71	7,50	40,71	6,40	49,57	7,79	44,29	6,96
Val	34,29	4,10	39,37	4,71	42,99	5,14	32,68	3,91	40,76	4,87	35,68	4,27
Met	22,51	2,11	21,34	2,00	22,80	2,14	16,41	1,54	20,28	1,90	18,90	1,77
Ile	22,47	2,40	37,38	3,99	41,63	4,45	32,06	3,42	38,64	4,13	34,99	3,74
Leu	36,75	3,92	64,40	6,88	68,55	7,32	53,97	5,76	65,94	7,04	58,86	6,28
Tyr	30,76	2,38	27,59	2,13	42,94	3,32	29,49	2,28	33,09	2,56	31,06	2,40
Phe	17,87	1,51	30,83	2,61	34,91	2,96	28,16	2,39	33,95	2,88	30,63	2,60
His	17,05	4,62	32,62	8,83	40,76	11,04	26,10	7,07	27,45	7,43	25,86	7,00
Lys	26,59	5,10	77,49	14,85	78,20	14,99	60,15	11,53	69,13	13,25	63,03	12,08
Arg	25,79	8,30	59,43	19,11	54,13	17,41	43,87	14,11	53,21	17,11	46,74	15,03
Σ AA	471,77		766,91		820,90		654,60		774,71		705,12	
Σ N	75,48	64,38	122,71	111,17	131,34	116,27	104,74	92,35	123,95	108,85	112,82	98,83

Rozdíl mezi celkovým ΣN (stanovený analyticky) a aminokyselinovým dusíkem (ΣAN) představuje obsah neaminokyselinového dusíku (ΣNAN) v g/kg a % v konkrétním vzorku, jak uvádí tabulka 16.

Tabulka 16. Průměrný obsah aminokyselinového dusíku (ΣAN), neaminokyselinového dusíku (ΣNAN) a celkového dusíku (ΣN) potměníka moučného (PM) a v sušině svaloviny skotu (ČS), brojlerových kuřat (ROSS) a brojlerových kachen (Cherry Valley) v prsní (P) a stehenní (S) svalovině, n = 10

g/kg	PM	%	ČS	%	ROSS P	%	ROSS S	%	Valley P	%	Valley S	%
ΣAN	64,38	82,02	111,17	81,87	116,27	80,61	92,35	80,61	108,80	78,96	98,80	80,53
ΣNAN	11,10	17,98	11,54	18,13	15,07	19,39	12,39	10,82	15,15	21,04	14,02	19,47
ΣN	75,48	100,00	122,71	100,00	131,34	100,00	104,74	100,00	123,95	100,00	112,82	100,00

5 Závěr

Předložená studie řeší nutriční hodnotu biomasy larev potemníka moučného (*Tenebrio molitor*) pro potřeby jeho využití pro výživu člověka, případně pro výživu zvířat. Protože jde o proteinovou komoditu, je práce zaměřena především na obsah dusíkatých látek, zejména pak aminokyselin.

Protože biomasa larev obsahuje ve srovnání se svalovinou zvířat výrazně méně proteinu, bylo snahou zvýšit jejich obsah odstraněním tuku, pro jejich zvýšení, a tím docílit zvýšení nutriční hodnoty vzniklého produktu.

Závěry analýz lze formulovat následovně:

- sušina larev obsahuje významně nižší obsah hrubého proteinu ve srovnání se sušinou svaloviny,
- sušina larev obsahuje významně vyšší obsah tuku ve srovnání se sušinou svaloviny,
- sušina larev obsahuje nižší (ve srovnání s prsní svalovinou drůbeže) nebo srovnatelný obsah popelovin s porovnávanými druhy svaloviny (skot, stehenní svalovina drůbeže)
- sušina larev obsahuje srovnatelné množství vápníku (Ca) ve srovnání se svalovinou drůbeže,
- sušina larev obsahuje srovnatelné množství fosforu (P), vyjma prsní svaloviny drůbeže,
- sušina larev obsahuje srovnatelné množství hořčíku (Mg) ve srovnání se sušinou svaloviny,
- sušina larev obsahuje významně nižší obsah esenciálních (vyjma Met) i neesenciálních aminokyselin (vyjma Tyr, Ala a Pro),
- protein larev má odlišné aminokyselinové spektrum ve srovnání se svalovinou, přitom nejnižší zastoupení v proteinu larev měl His, nejvyšší zastoupení v larvách potemníka i u sledovaných svalovin bylo pozorováno u Glu.

Odstraněním tuku (tukuprostá sušina) lze získat produkt (moučku):

- s vyšším obsahem hrubého proteinu,
- s vyšším obsahem esenciálních i neesenciálních aminokyselin,
- z esenciálních aminokyselin byl obsah Met a Val v tukuprosté sušině výrazně vyšší u larev potemníka ve srovnání se svalovinou,
- z neesenciálních aminokyselin byl obsah Tyr, Ala a Pro vyšší, nebo srovnatelný u Gly a Ser, v tukuprosté sušině larev potemníka v porovnání se svalovinou,
- procentuální obsah dusíku vázaného v aminokyselinách, z celkového obsahu dusíku, byl v sušině larev potemníka srovnatelný s jeho procentuálním zastoupením v sušině svaloviny.

Adámková, A., L. Kouřimská, M. Borkovcová, M. Kulma and J. Mlček. 2016. Nutritional values of edible Coleoptera (*Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* and *Alphitobius diaperinus*) reared in the Czech Republic *Potravinářstvo* 10: 663-671. doi: 10.5219/609.448 *J. Entomol. Sci.* Vol. 53, No. 4 (2018).

Aguilar-Miranda, E.D., M.G. Lopez, C. Escamilla-Santana and A.P. Barba de la Rosa. 2002. Characteristics of maize flour tortilla supplemented with ground *Tenebrio molitor* larvae. *J. Agric. Food Chem.* 50: 192-195. doi: 10.1021/jf010691y.

Alves, A.V., E.J. Sanjinez-Argandona, A.M. Linzmeier, C.A.L. Cardoso and M.L.R. Macedo. 2016. Food value of mealworm grown on *Acrocomia aculeata* pulp flour. *PLoS One* 11: e0151275. doi: 10.1371/journal.pone.0151275.

Barker, D., M.P. Fitzpatrick and E.S. Dierenfeld. 1998. Nutrient composition of selected whole invertebrates. *Zoo Biol.* 17: 123-134. doi: 10.1002/(SICI)1098-2361(1998)17:2, 123: AID-ZOO7.3.0.CO;2-B.

Barroso, F.G., de Haro, M.J. Sa'nchez-Muros, E. Venegas, A. Martí'nez-Sa'nchez and C. Pe'rez-Ban'õ'n. 2014. The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture* 422-423: 193-201. doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.12.024.

Belforti M., C. Lussiana, V. Malfatto, L. Rotolo, I. Zoccarato and L. Gasco. 2014. Two rearing substrates on *Tenebrio molitor* meal composition: Issues on aquaculture and biodiesel production. *Insects to Feed the World Conference 2014*.

Birk, Y., I. Harpaz, I. Ishaaya and A. Bondi. 1962. Studies on the proteolytic activity of the beetles *Tenebrio* and *Tribolium*. *J. Insect Physiol.* 8: 417-429. doi: [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(62\)90075-6](https://doi.org/10.1016/0022-1910(62)90075-6).

Bovera, F. and G.M. Piccolo. 2015. Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, L.) as a possible alternative to soybean meal in broiler diets. *Br. Poult. Sci.* 56: 569-575.

Connat, J.L., J.P. Delbecque, I. Glitho and J. Delachambre. 1991. The onset of metamorphosis in *Tenebrio molitor* larvae (Insecta, Coleoptera) under grouped, isolated and starved conditions. *J. Insect Physiol.* 37(9): 653-657, 659-662. doi: 10.1016/0022-1910(91)90042-X.

Damborsky, M., P.S.T. Bar and M.E. Oscherov. 2000. Ciclo de vida de *Tenebrio molitor* (Coleoptera, Tenebrionidae) en condiciones experimentales. *Comun. Cient. y Tecnol. UNNE* 6: 35-38.

Davis, G. and J. Leclercq. 1969. Protein nutrition of “*Tenebrio molitor*” L. IX. Replacement caseins for the reference diet and a comparison of the nutritional values of various lactalbumins and lactalbumin hydrolysates. *Arch. Int. Physiol. Biochim.* 77: 687-693. doi: 10.3109/13813456909059780.

- Finke, M.D. 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zool. Biol.* 21: 269–285. doi: 10.1002/zoo.10031.
- Fraenkel, G. 1950. The nutrition of the mealworm, *Tenebrio molitor* L. (Tenebrionidae, Coleoptera). *Physiol. Zool.* 23: 92–108. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Fraenkel, G. and M. Blewett. 1944. The utilisation of metabolic water in insects. *Bull. Entomol. Res.* 35: 127. doi: 10.1017/S0007485300017351.
- Gasco, L., M. Henry, G. Piccolo, S. Marono, F. Gai, M. Renna, C. Lussiana, E. Antonopoulou, P. Mola and S. Chatzifotis. 2016. *Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: Growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility. *Anim. Feed Sci. Technol.* 220: 34-45. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2016.07.003.
- Ghaly, A.E.E. and F.N.N. Alkoaik. 2009. The yellow mealworm as a novel source of protein. *Am. J. Agric. Biol. Sci.* 4: 319-331. doi: 10.3844/ajabssp.2009.319.331.
- Greenberg, S. and A. Ar. 1996. Effects of chronic hypoxia, normoxia and hyperoxia on larval development in the beetle *Tenebrio molitor*. *J. Insect Physiol.* 42: 991-996. doi: 10.1016/S0022-1910(96)00071-6.
- Hardouin, J. and G. Mahoux. 2003. Zootechnie d'insectes-Elevage et utilisation au bénéfice de l'homme et de certains animaux. *Bull. Semest. d'Information sur le MiniElevage.*
- Henry, M., L. Gasco, G. Piccolo and E. Fountoulaki. 2015. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Anim. Feed Sci. Technol.* 203: 1-22.
- Hill, D.S. 2002. Pests: Class Insecta. Pp. 135–315. In *Pests of Stored Foodstuffs and Their Control*. Springer, Dordrecht, the Netherlands. doi: <https://doi.org/10.1007/0-306-48131-6-14.450> *J. Entomol. Sci.* Vol. 53, No. 4 (2018).
- Jin, X.H., P.S. Heo, J.S. Hong, N.J. Kim and Y.Y. Kim. 2016. Supplementation of dried mealworm (*Tenebrio molitor* larva) on growth performance, nutrient digestibility and blood profiles in weaning pigs. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 29: 979-986. doi: 10.5713/ajas.15.0535.
- John, A.M., G.R. Davis and F.W. Sosulski. 1979. Protein nutrition of *Tenebrio molitor* L. XX. Growth response of larvae to graded levels of amino acids. *Arch. Int. Physiol. Biochim.* 87:997-1004. doi: 10.3109/13813457909070548.
- Kim, S.Y., J. Bin Park, Y.B. Lee, H.J. Yoon, K.Y. Lee and N.J. Kim. 2015. Growth characteristics of mealworm *Tenebrio molitor*. *J. Sericultural Entomol. Sci.* 53: 1-5. doi: 10.7852/jses.2015.53.1.1.
- Klasing, K.C., P. Thacker, M.A. Lopez and C.C. Calvert. 2000. Increasing the calcium content of mealworms (*Tenebrio molitor*) to improve their nutritional value for bone mineralization of growing chicks. *J. Zoo Wildl. Med.* 31: 512–517.
- Koo, H., S. Kim, H. Oh, J. Kim, D. Choi, D. Kim and I. Kim. 2013. Temperature-dependent development model of larvae of mealworm beetle, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera:

Tenebrionidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 52: 387-394. doi: 10.5656/KSAE.2013.11.0.066.

Leclercq, J. 1948. Sur les besoins nutritifs de la larve de *Tenebrio molitor* L. *Biochim. Biophys. Acta* 2: 2-5. doi: 10.1016/0006-3002(48)90046-8.

Loudon, C. 1988. Development of *Tenebrio molitor* in low oxygen levels. *J. Insect Physiol.* 34: 97-103. doi: 10.1016/0022-1910(88)90160-6.

Manojlovic, B. 1987. A contribution of the study of the influence of the feeding of imagos and of climatic factors on the dynamics of oviposition and on the embryonal development of yellow mealworm *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). *Zas̃tita bilja* 38: 337-348. doi: 10.7852/jses.2012.50.2.126.

Martin, H.E. and L. Hare. 1942. The nutritive requirements of *Tenebrio molitor* larvae. *Biol. Bull.* 83: 428-437. doi: 10.2307/1538240.

Morales-Ramos, J.A. and M.G. Rojas. 2015. Effect of larval density on food utilization efficiency of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *J. Econ. Entomol.* 108: 2259-2267. doi: 10.1093/jee/fov208.

Morales-Ramos, J.A., S. Kay, M.G. Rojas, D.I. Shapiro-Ilan and W.L. Tedders. 2015. Morphometric analysis of instar variation in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 108: 146–159. doi: 10.1093/aesa/sau049.

Morales-Ramos, J.A., M.G. Rojas, S. Kay, D.I. Shapiro-Ilan and W.L. Tedders. 2012. Impact of adult weight, density, and age on reproduction of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *J. Entomol. Sci.* 47: 208–220. doi: 10.18474/0749-8004-47.3.208.

Morales-Ramos, J.A., M.G. Rojas, D.I. Shapiro-Ilan and W.L. Tedders. 2011. Selfselection of two diet components by *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae and its impact on fitness. *Environ. Entomol.* 40: 1285-94. doi: 10.1603/EN10239.

Morales-Ramos, J.A., M.G. Rojas, D.I. Shapiro-Ilan and W.L. Tedders. 2010. Developmental plasticity in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae): Analysis of instar variation in number and development time under different diets. *J. Entomol. Sci.* 45: 75-90. doi: 10.18474/0749-8004-45.2.75.

Ng, W.-K. Liew, F.-L. L.-P. Ang and K.-W. Wong. 2001. Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquac. Res.* 32: 273–280. doi: 10.1046/j.1355-557x.2001.00024.x. 452 *J. Entomol. Sci.* Vol. 53, No. 4 (2018).

Oonincx, D.G.A.B., S. Van Broekhoven, A. Van Huis and J.J.A. Van Loon. 2015. Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS One* 10: e0144601. doi: 10.1371/journal.pone.0144601.

Punzo, F. and J.A. Mutchmor. 1980. Effects of temperature, relative humidity and period of exposure on the survival capacity of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *J. Kansas Entomol. Soc.* 53: 260-270. doi: 10.2307/25084029.

- Ramos-Elorduy, J., E.A. Gonza'lez, A.R. Herna'ndez and J.M. Pino. 2002. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. *J. Econ. Entomol.* 95: 214-20. doi: 10.1603/0022-0493-95.1.214.
- Rho, M.S. and K.P. Lee. 2014. Geometric analysis of nutrient balancing in the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). *J. Insect Physiol.* 71: 37-45. doi: 10.1016/j.jinsphys.2014.10.001.
- Rho, M.S. and K.P. Lee. 2016. Balanced intake of protein and carbohydrate maximizes lifetime reproductive success in the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *J. Insect Physiol.* 91-92: 93–99. doi: 10.1016/j.jinsphys.2016.07.002.
- Siemianowska, E., A. Kosewska, M. Aljewicz, K.A. Skibniewska, L. Polak-Juszczak, A. Jarocki and M. Je'dras. 2013. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. *Agric. Sci.* 4: 287–291. doi: 10.4236/as.2013.46041.
- Simon, E., E. Baranyai, M. Braun, I. Fa'bia'n and B. To'thme're'sz. 2013. Elemental concentration in mealworm beetle (*Tenebrio molitor* L.) during metamorphosis. *Biol. Trace Elem. Res.* 154: 81-87. doi: 10.1007/s12011-013-9700-1.
- Spencer, W. and J. Spencer. 2006. Management guideline manual for invertebrate live food species. *EAZA Terr. Invertebr. TAG.* 1-54.
- Urrejola, S., R. Nespolo and M.A. Lardies. 2011. Diet-induced developmental plasticity in life histories and energy metabolism in a beetle. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 84: 523–533. doi: 10.4067/S0716-078X2011000400005.
- Urs, K.C.D. and T.L. Hopkins. 1973a. Effect of moisture on the lipid content and composition of two strains of *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera, Tenebrionidae). *J. Stored Prod. Res.* 8: 299-305. doi: 10.1016/0022-474X(73)90046-5.
- Urs, K.C.D. and T.L. Hopkins. 1973b. Effect of moisture on growth rate and development of two strains of *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera, Tenebrionidae). *J. Stored Prod. Res.* 8: 291-297. doi: 10.1016/0022-474X(73)90045-3.
- van Broekhoven, S., D.G.A.B. Oonincx, A. van Huis and J.J.A. van Loon. 2015. Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *J. Insect Physiol.* 73: 1-10. doi: 10.1016/j.jinsphys.2014.12.005.
- van Huis, A. 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annu. Rev. Entomol.* 58: 563-586. doi: 10.1146/annurev-ento-120811-153704.
- van Huis, A., J. van Itterbeeck, H. Klunder and P. Vantomme. 2013. Edible insects. Future prospects for food and feed security. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome.
- Veldkamp, T., G. van Duinkerken, A. van Huis, C.M.M. Lakemond, E. Ottevanger, G. Bosh and M.A.J.S. van Boekel. 2012. Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets-A feasibility study. *Wageningen UR Livest. Res. Report* 63: 62. doi: ISSN 1570-8616.

Weaver, D.K. and J.E. McFarlane. 1990. The effect of larval density on growth and development of *Tenebrio molitor*. *J. Insect Physiol.* 36: 531-536. doi: 10.1016/0022-1910(90)90105-O.

Zhao, X., J.L. Va'zquez-Gutie'rrez, D.P. Johansson, R. Landberg and M. Langton. 2016. Yellow mealworm protein for food purposes-Extraction and functional properties. *PLoS One* 11: 1-17. doi: 10.1371/journal.pone.0147791.

Nutriční hodnota larev potemníka moučného (*Tenebrio molitor*), jeho chov a jeho perspektivní využití ve výživě

prof. MVDr. Ing. Pavel Suchý, CSc., prof. Ing. Eva Straková, Ph.D.

Zajištění proteinové výživy lidské populace, ale i hospodářsky významných zvířat, je úzce spjato s hledáním nových bílkovinných zdrojů určených pro výrobu potravin a krmiv. Proteiny po stránce nejen kvantitativní, ale i kvalitativní, jsou jednou ze základních složek pro výživu člověka, ale i pro výživu hospodářských zvířat. V evropských podmínkách je nedostatečná produkce proteinových surovin, především těch, které jsou určeny k výživě hospodářských zvířat. Proto je i evropská zemědělská politika zaměřena na hledání a produkci netradičních proteinových komponent tuzemské provenience. Jednou z možností produkce živočišného proteinu je produkce proteinů bezobratlých živočichů. V současné době existuje řada taxonů bezobratlých živočichů, které lze využít ve výživě člověka nebo zvířat, jak uvádíme ve studii z roku 2017 „*Nutriční hodnota bezobratlých živočichů a jejich využití ve výživě (současnost a perspektivy)*“. V současné době se z perspektivního hlediska a rychlého využití jeví larvální stádium druhu potemník moučný (*Tenebrio molitor*). V předložené studii se zabýváme jeho chovem, výživou a především nutriční hodnotou vyprodukované biomasy a produkty, které lze získat z vyprodukované suroviny, případně jak zlepšit jejich nutriční hodnotu.

Klíčová slova: proteinová výživa; bezobratlí živočichové; potemník moučný

8 Summary

The Nutritional Value of Mealworm (*Tenebrio molitor*), its Breeding and its Perspective Application in Nutrition

prof. MVDr. Ing. Pavel Suchý, CSc., prof. Ing. Eva Straková, Ph.D.

Ensuring a high-protein diet in the human population and important farm animals is closely related to looking for new protein sources intended for food and feed production. Quantitative and qualitative proteins are one of the basic components for human nutrition and farm animal nutrition. Under European conditions, there is a lack of production of protein raw material, especially those intended for livestock nutrition. Therefore, the European Agriculture policy also focuses on looking for and producing local non-traditional protein components. One possibility for animal protein production is producing invertebrate proteins. There are currently a number of invertebrate taxa that can be used in human and animal nutrition, as illustrated by the study conducted in 2017 on the “Nutritional Value of Invertebrates and Their Application in Nutrition (present and perspectives)”. Currently, the larval stage of the *Tenebrio molitor* species seems to be promising, with fast use time. The presented study deals with the nutrition values of the produced biomass of *Tenebrio molitor*.

Key words: protein nutrition; invertebrates; *Tenebrio molitor*