

VYUŽITÍ DISKRIMINAČNÍ ANALÝZY PRO POSOUZENÍ ROZDÍLŮ PRSNÍ SVALOVINY KUŘAT KRMENÝCH ODLIŠNÝMI KRMIVY PŘI DODRŽENÍ STEJNÉHO OBSAHU ŽIVIN

USE OF DISCRIMINANT ANALYSIS TO ASSESS DIFFERENCES IN BREAST MUSCLE OF CHICKENS FED WITH DIFFERENT FEEDS WHILE MAINTAINING THE SAME NUTRIENT CONTENT

Michaela Králová¹ – Eliška Dračková² – Filip Dytrt²

William Owusu-Afriyie² – Martina Lichovnicková² – Vladimír Zmrhal²

¹ Ústav hygieny a technologie potravin živočišného původu a gastronomie, Fakulta veterinární hygieny a ekologie, Veterinární univerzita Brno, Palackého tř. 1946/1, 612 42 Brno, Česká republika

² Ústav chovu a šlechtění zvířat, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, Česká republika

<https://doi.org/10.11118/978-80-7701-100-6-0204>



ABSTRAKT

Cílem práce bylo využití diskriminační analýzy pro posouzení rozdílů ve spektrech prsní svaloviny kuřat krmených odlišnými krmivy (kontrola, 10 % a 20 % řepkový šrot, 10 % a 20 % čirok) při dodržení stejného obsahu živin, kdy byla hodnocena dvě kritéria (pohlaví, krmivo). Spektra kuřecí prsní svaloviny ($n = 60$) byla měřena metodou blízké infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací na integrační sféře v režimu reflektance s použitím kompresní kyvety ve spektrálním rozsahu $10\,000\text{--}4\,000\text{ cm}^{-1}$. Pro oba kalibrační modely bylo nalezeno 37 *Principal Component*. Při hodnocení kritéria pohlaví nebylo 15 vzorků zařazeno do správné třídy, ale třídy vedlejší. U kritéria vliv krmiva nebylo správně zařazeno vzorků 9. Výsledky Mahalanobisovy vzdálenosti naznačují, že roste mezi třídami, ale není dostatečně velká na to, aby došlo mezi třídami k nalezení variability. Zjištěné výsledky ukazují, že ve spektrech *Musculus pectoralis* nejsou patrné rozdíly mezi kohoutky a slepičkami. Tyto rozdíly nebyly zjištěny ani mezi kuřaty, která byla krmena odlišným krmivem.

Klíčová slova: FT-NIR spektrometrie, diskriminační metoda, Mahalanobisova vzdálenost, kuřecí svalovina, krmivo

ABSTRACT

The aim of the work was to use discriminant analysis to assess differences in the breast muscle spectra of chickens fed different feeds (control, 10% and 20% rapeseed meal, 10% and 20% sorghum) while maintaining the same nutrient content, where two criteria (sex, feed) were evaluated. The spectra of chicken breast muscle ($n = 60$) were measured by the method of near-infrared spectroscopy with Fourier transform on the integrating sphere in the reflectance mode using a compression cuvette in the spectral range of $10,000\text{--}4,000\text{ cm}^{-1}$. 37 Principal Components were found for both calibration models. When evaluating the sex criterion, 15 samples were not assigned to the correct class, but to the secondary class. For the feed effect criterion, 9 samples were not assigned correctly. The results of the Mahalanobis distance indicate that it increases between classes, but is not large enough, to find variability between classes. The results show that there are no noticeable differences in the *Musculus pectoralis* spectra between roosters and hens. These differences were not found even among chickens fed different diets.

Keywords: FT-NIR spectroscopy, discriminant analysis, Mahalanobis distance, chicken meat, feed

ÚVOD

Produkce drůbežího masa je nejrychleji rostoucím odvětvím živočišné výroby a v současné době je kuřecí maso, které se na produkci drůbežího masa podílí až 88 %, nejvíce spotřebovávaným i produkováným druhem masa. Podle zdrojů FAO dosáhla produkce drůbežího masa v roce 2024 hodnoty 146 milionů tun a výhled do roku 2050 předpokládá zvýšení až na více než 180 milionů tun (Tůmová a Chodová, 2025).

Vzhledem k tomu, že zdravotní nezávadnost masa je nepostradatelným požadavkem spotřebitelů, musí výzkumní pracovníci vyvíjet a zavádět nové metody pro hodnocení kvality masa ve snaze zaručit bezpečnost a kvalitu masných výrobků. Blízká infračervená reflektanční spektrometrie (NIRS) je rychlá, nedestruktivní a bezpečná technika, která je využitelná pro simultánní analýzu složek organických látek, představuje tak výborný nástroj použitelný při produkci drůbežího masa (Berzaghi et al., 2005). Rostoucí počet aplikací a různé výzkumy prokázaly výhody konvenční NIR spektrometrie jako nástroje pro hodnocení a monitorování složení a bezpečnosti potravin (Cozzolino, 2025).

Cílem práce bylo využití diskriminační analýzy pro posouzení rozdílů ve spektrech prsní svaloviny (*Musculus pectoralis*) kuřat krmných odlišnými krmivy při dodržení stejného obsahu živin. Naměřené výsledky byly posouzeny dle kritérií pohlaví (kohoutci, slepičky) a odlišných krmiv při dodržení stejného obsahu živin.

MATERIÁL A METODIKA

Vzorky

Jednodenní brojlerová kuřata Ross 308 obou pohlaví byla náhodně rozdělena do pěti krmných skupin, z nichž každá obsahovala 700 kusů. Kontrolní skupina dostávala krmnou směs s 0 % extrahovaného řepkového šrotu a čiroku, 2. a 3. experimentální skupina byly krmeny dietou obsahující 10 a 20 % extrahovaného řepkového šrotu a 4. a 5. skupina byly krmeny dietou obsahující 10 a 20 % čiroku. Kuřata byla chována za standardních mikroklimatických podmínek s volným přístupem ke krmivu a vodě. Na konci tohoto experimentu (35. den) byly z každé skupiny náhodně vybrány kusy (31 samců a 29 samic) k porážce. Celkem bylo odebráno 60 prsních svalů (*Pectoralis major*) viz tab. 1, které byly chlazeny při 4 °C po dobu 24 hodin a použity pro FT-NIR analýzu.

Tabulka 1: Analyzované vzorky

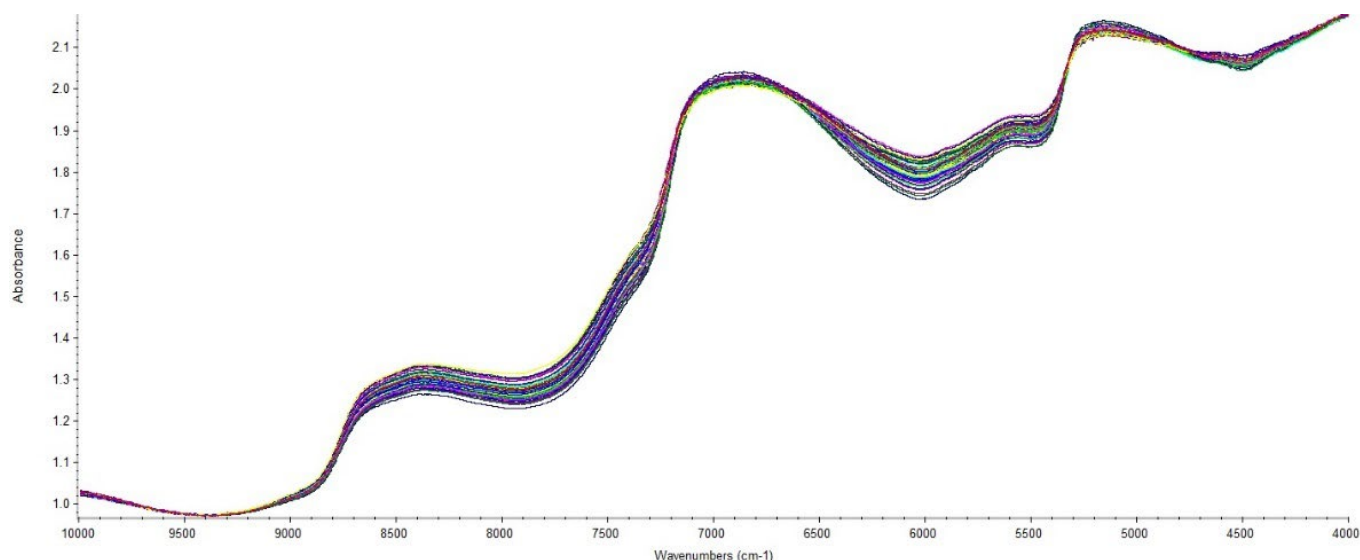
	Kontrola	Skupiny			
		Extrahovaný řepkový šrot		Čirok	
		10 %	20 %	10 %	20 %
Kohoutci	6	6	6	6	7
Slepičky	6	6	6	6	5

FT-NIR spektrometrie

Vzorky byly homogenizovány pomletím a následně proměřeny na spektrometru Nicolet Antaris Near-IR Analyzer pomocí programu Result Integration Version 1.3 (Thermo Electron Corporation, Madison, USA). Každý vzorek byl měřen ve třech paralelních stanoveních, kdy pro tvorbu kalibračního modelu bylo použito průměrné spektrum. Spektra (obr. 1) byla měřena na integrační sféře v režimu reflektance s použitím kompresní kyvety a spinneru za podmínek: spektrální rozsah 10 000–4 000 cm⁻¹, spektrální rozlišení 8 cm⁻¹ a 100 scanů. Naměřená spektra byla dále zpracována metodou diskriminační analýzy v programu TQ Analyst verze 6.2.1.509 (Thermo Electron Corporation, Madison, USA).

VÝSLEDKY A DISKUZE

Vzorky prsní kuřecí svaloviny byly hodnoceny kvalitativní metodou diskriminační analýzy (rozlišovací analýzy). Tato spektrální klasifikační technika určuje třídu (nebo třídy), které jsou nejpodobnější neznámému materiálu. V kalibračním modelu je specifikováno více tříd, přičemž každá třída je popsána libovolným počtem standardů (nejméně však dvěma) (Nicolet CZ, 2022). Byly posuzovány dvě kritéria vliv pohlaví (kohoutci a slepičky) a vliv krmení odlišnými krmivy při dodržení stejného poměru živin (kontrola, 10 % a 20 % extrahovaný řepkový šrot, 10 % a 20 % širok).



Obrázek 1: Spektra kuřecích prsních svalů (*Pectoralis major*)

Na spektrometru FT-NIR bylo proměřeno 60 vzorků svalů *Pectoralis major*. Vzhledem k tomu, že jedno ze spekter bylo příliš odlehlé, bylo z obou kalibračních modelů vyřazeno. Při definici kalibračního modelu je možno použít spektrální informace celého spektra, nebo jeho částí (Krátová et al., 2023). Kalibrační modely byly vytvořeny v rozsahu regionu 9 881,46–4 119,21 cm^{-1} bez matematické úpravy spekter. Při hodnocení kritéria pohlaví nebylo 15 vzorků zařazeno do správné třídy, ale třídy vedlejší. U kritéria vliv krmiva nebylo správně zařazeno vzorků 9. Součástí zjištěných výsledků je i tzv. Mahalanobisova vzdálenost (metrika), tj. vzdálenost hodnoceného spektra od těžiště každé třídy (Nicolet CZ, 2022). Klasická Mahalanobisova vzdálenost představuje známý nástroj v multivariační analýze s mnoha způsoby použití (Berrendero, Bueno-Larraz a Cuevas, 2020). V tabulce 2 jsou uvedeny průměrné hodnoty Mahalanobisovy vzdálenosti od aktuální třídy ve vztahu k pohlaví, v tabulce 3 jsou výsledky vztaženy z pohledu krmení odlišnými krmivy. Z výsledků vyplývá, že Mahalanobisova vzdálenost roste mezi třídami, ale není dostatečně velká na to, aby došlo mezi třídami k nalezení variability.

Tabulka 2: Mahalanobisova vzdálenost (průměrné hodnoty) od aktuální třídy ve vztahu k pohlaví

Aktuální třída	Vzdálenost k pohlaví	
	Kohoutci (n = 30)	Slepičky (n = 29)
Kohoutci	0,97	0,99
Slepičky	1,00	0,98

Legenda: n – počty vzorků použitých do kalibrace po odstranění odlehklých standardů. Červeně jsou v tabulce vyznačeny hodnoty průměrné vzdálenosti od středu shluku ke každému vzorku v aktuální třídě

Tabulka 3: Mahalanobisova vzdálenost (průměrné hodnoty) od aktuální třídy ve vztahu ke krmivu

Aktuální třída	Vzdálenost ke krmivu				
	Kontrola (n = 12)	10 % řepka (n = 12)	20 % řepka (n = 12)	10 % širok (n = 11)	20 % širok (n = 20)
Kontrola	0,85	0,93	0,98	1,43	1,42
10 % řepka	0,91	0,83	0,87	1,27	1,23
20 % řepka	1,03	0,94	0,91	1,25	1,23
10 % širok	1,58	1,46	1,39	1,09	1,19
20 % širok	1,57	1,41	1,37	1,18	1,08

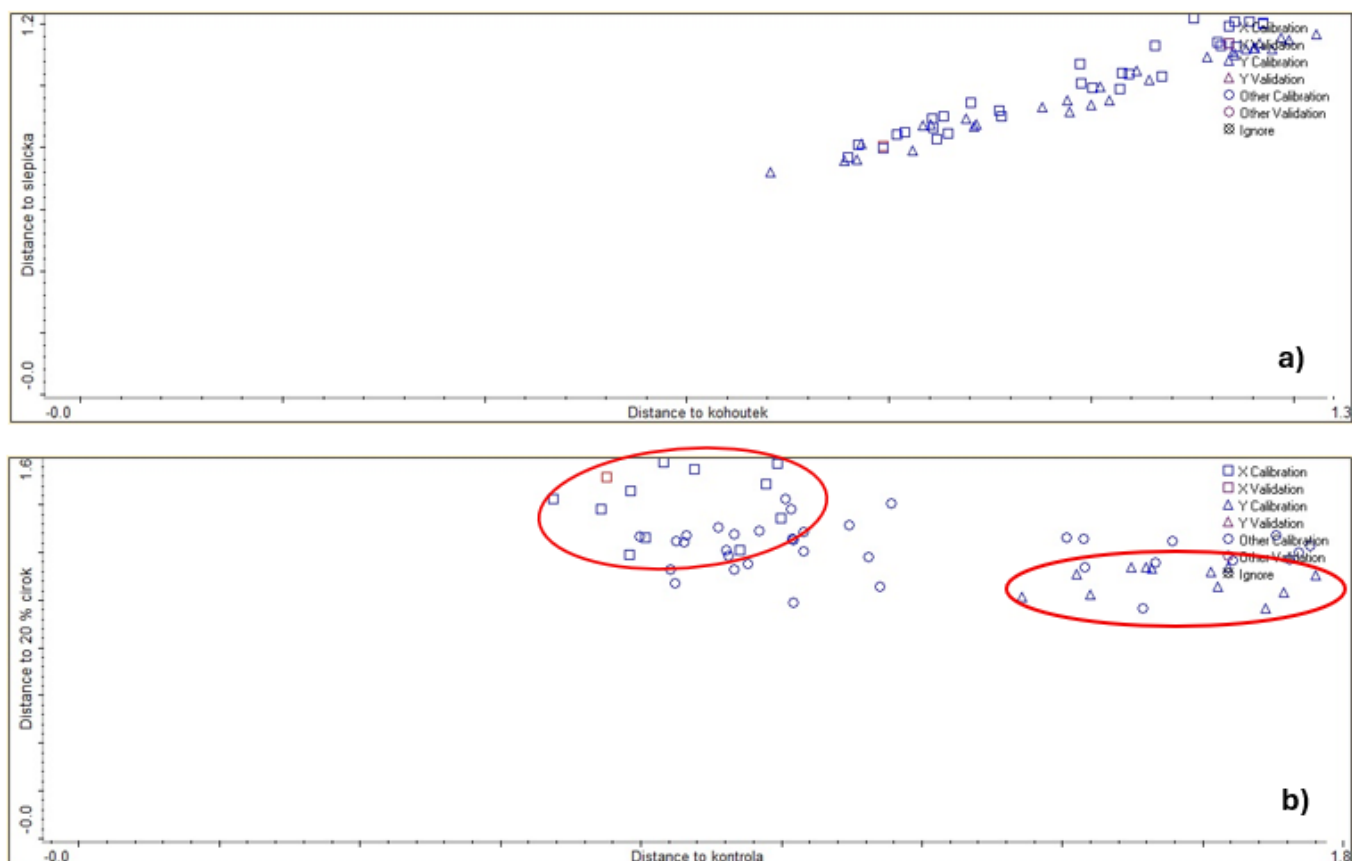
Legenda: n – počty vzorků použitých do kalibrace po odstranění odlehlých standardů. Červeně jsou v tabulce vyznačeny hodnoty průměrné vzdálenosti od středu shluku ke každému vzorku v aktuální třídě

Veškeré spektrální informace jsou při vytváření kalibračních modelů kombinovány do souboru menšího počtu nových proměnných, nazývaných hlavní komponenty (*Principal Component*, PC), které uchovávají původní informace (Králová et al., 2014; Greenacre et al., 2022). Pro oba kalibrační modely bylo použito 37 PC.

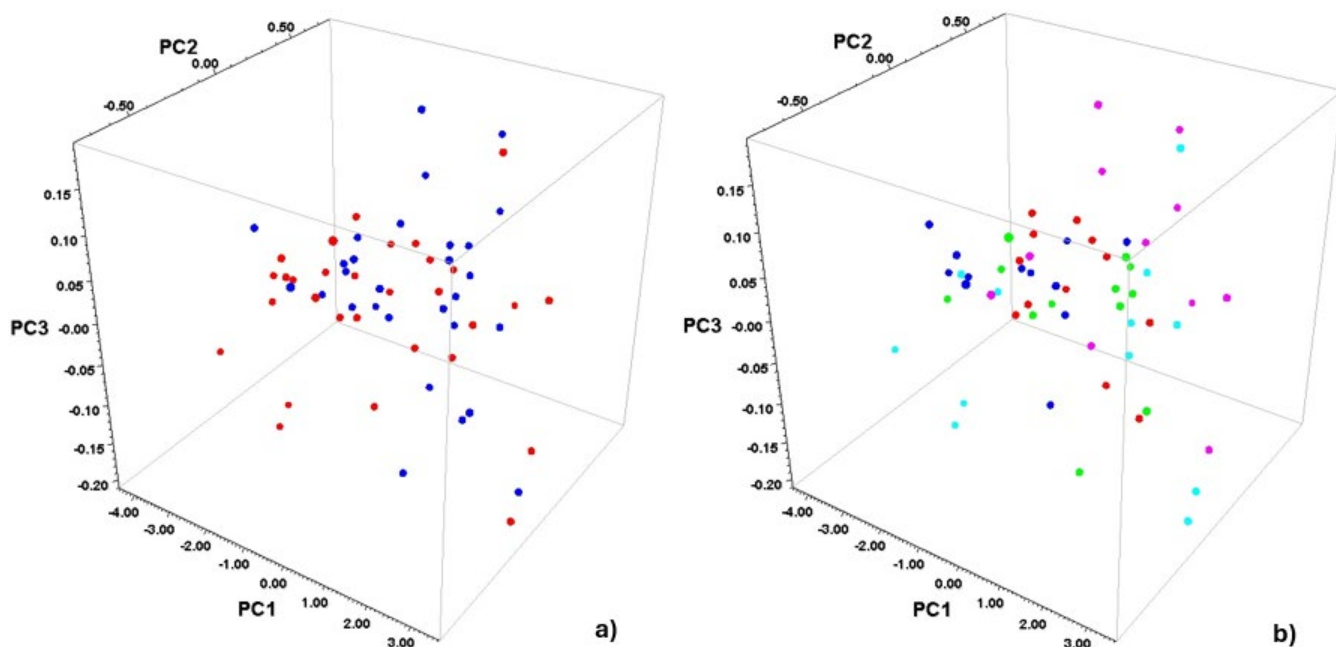
Na obrázku 2a je grafické znázornění kalibračního modelu, který znázorňuje kritérium pohlaví. Je patrné, že spektra vzorků kohoutků i slepiček se vzájemně překrývají. Na obrázku 2b je ukázka porovnání spekter prsní svaloviny kuřat, která byla krmena kontrolním krmivem a krmivem obsahujícím 20 % široku. Jsou zde vyznačeny obě porovnávané třídy, ale i přesto není možné dané třídy odlišit z důvodu nepřítomnosti diskriminačního kříže. Na stejné závěry ukazují i 3D znázornění (obr. 3a a 3b).

Diskriminační analýzu metody parciálních nejmenších čtverců NIR spekter *M. pectoralis superficialis* použili Berzaghi et al. (2005). Tato metoda úspěšně (100 %) rozlišila mezi kontrolními vzorky masa a masem slepic krmných doplňky polynenasycených mastných kyselin, zatímco rozlišení mezi různými zdroji polynenasycených mastných kyselin v potravě bylo obtížnější, kdy 8 vzorků ze 72 bylo chybně zařazeno. Podobných výsledků bylo dosaženo i v této práci.

Soumeh, Hoffman a Cozzolino (2025) použili přenosný NIR spektrometr pro klasifikaci vzorků (prsá, palička nebo noha, stehno) u kuřat krmných dietou obsahující různé krmné složky. K vyhodnocení schopnosti NIR spekter klasifikovat vzorky podle typu svalu a/nebo složení potravy vybrali analýzu hlavních komponent (PCA), lineární diskriminační analýzu a diskriminační analýzu (DA) s metodou parciálních nejmenších čtverců (PLS). Při použití všech vzorků svalů autoři dosáhli míru správné klasifikace (LDA) 79 %, zatímco při měření intaktních vzorků prsního svalu byla dosažena míra správné klasifikace 95 %. Původ vzorků svalů, hodnocený podle potravy, však byl při využití kombinace PLS-DA a NIR spektrometrie špatně predikován. Studie Soumeh, Hoffman a Cozzolino (2025) prokázala potenciál NIR spektrometrie v kombinaci s PCA k rozpoznání tří intaktních svalů. Regresní modely PLS-DA však ukázaly, že NIR nebyl schopen klasifikovat svaly podle různých složek použitých ke krmení kuřat. Stejně tak v naší studii nebylo možné prokázat rozlišení spekter svaloviny kuřat krmných odlišným krmivem.



Obrázek 2: Diskriminační analýza – a) kohoutci (□) x slepičky (Δ); b) kontrola (□) x 20 % širok (Δ); symbolem kolečka jsou vždy označeny ostatní vzorky, které nejsou zrovna v grafu mezi sebou porovnávány



Obrázek 3: Diskriminační analýza, analýza hlavních komponent (PC) 3D zobrazení – a) kohoutci x slepičky; b) kontrola x 10 % řepka x 20 % řepka x 10 % širok x 20 % širok

ZÁVĚR

Diskriminační analýza patří mezi jednu z nejstarších technik vícerozměrné analýzy dat, kterou využívá i metoda blízké infračervené spektrometrie. Touto metodou byly posuzovány rozdíly v naměřených spektrech prsní svaloviny kuřat, která byla krmena krmnou směsí s vyváženým obsahem živin o různém složení. Vytvořené kalibrační modely byly hodnoceny podle kritérií pohlaví kuřat a odlišné krmivo (kontrola, 10 % a 20 % řepkový šrot, 10 % a 20 % čirok). Pro oba kalibrační modely bylo nalezeno 37 *Principal Component*. Při hodnocení kritéria pohlaví nebylo 15 vzorků zařazeno do správné třídy, ale třídy vedlejší. U kritéria vliv krmiva nebylo správně zařazeno vzorků 9. Výsledky Mahalanobisovy vzdálenosti naznačily, že roste mezi třídami, ale není dostatečně velká na to, aby došlo mezi třídami k nalezení variability. Zjištěné výsledky ukazují, že ve spektrech *Musculus pectoralis* nejsou patrné rozdíly mezi kohoutky a slepičkami. Tyto rozdíly nebyly zjištěny ani mezi kuřaty, která byla krmena odlišným krmivem. Z naměřených výsledků vyplývá, že pokud je zajištěn vyvážený poměr živin nejsou rozdíly mezi spektry pozorovány.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji kolegům z *Ústavu chovu a šlechtění zvířat* Agronomické fakulty Mendelovy univerzity v Brně za spolupráci a možnost odběru vzorků.

LITERATURA

- Berrendero, J. R., Bueno-Larraz, B., Cuevas, A. (2020): On Mahalanobis distance in functional settings. *Journal of Machine Learning Research*, 21, 1–33. Dostupné z: <https://jmlr.csail.mit.edu/papers/volume21/18-156/18-156.pdf>
- Berzaghi, P., Dalle Zotte, A., Jansson, L. M., Andrighetto, I. (2005): Near-infrared reflectance spectroscopy as a method to predict chemical composition of breast meat and discriminate between different n-3 feeding sources. *Poultry Sciences*, 84, 128–136. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/ps/84.1.128>
- Cozzolino, D. (2025): Conventional near-infrared spectroscopy and hyperspectral imaging: Similarities, differences, advantages, and limitations. *Molecules*, 30, 2479. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/molecules30122479>
- Greenacre, M., Groenen, P. J. F., Hastie, T., d'Enza, A. I., Markos, A., Tuzhilina, E. (2022): Principal component analysis. *Nature Reviews Methods Primers*, 2(1), 100. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s43586-022-00184-w>
- Králová, M., Bartáková, K., Ježek, F., Zouharová, A., Kameník, J. (2023): Využití blízké infračervené spektrometrie pro studium průběhu zrání salámů Poličan. *Maso*. 34(3), 11–15.
- Králová, M., Procházková, Z., Svobodová, V., Mařicová, E., Janštová, B., Vorlová, L. (2014): Discriminant analysis of Olomouc curd cheese by Fourier transform near infrared spectroscopy. *Czech Journal of Food Science*, 32(1): 31–36.
- Nicolet CZ. (2022): TQ Analyst. Uživatelská příručka. Praha: Nicolet CZ. Thermo Scientific Molecular Spectroscopy, 131 s.
- Soumeh, E. A., Hoffman, L.C., Cozzolino, D. (2025): Effect of the dietary ingredient composition and type of muscle on the classification of intact chicken muscles evaluated by near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 33(1-2), 20–25. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/09670335251329542>

Tůmová, E., Chodová, D. (2025): Vliv výživy a techniky krmení na kvalitu masa kuřat kombinovaného typu. Praha: Výzkumný ústav živočišné výroby. v.v.i, 31 s. ISBN 978-80-7403-338-4. Dostupné z: https://vuzv.cz/wp-content/uploads/2025/10/Studie-VVVZ-2025-Tumova_Chodova_Vliv-vyzivy-a-techniky-krmeni.pdf

Kontaktní adresa: Ing. Eliška Dračková, Ph.D., Ústav chovu a šlechtění zvířat, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, e-mail: drackova@mendelu.cz