

TRÁVNÍČEK, J., KROUPOVÁ, V., ROHLÍK, V., TESAŘÍK, L. (1991): Titrační kyselost mléka z hlediska metabolického profilu dojnic. *Živočišná Výroba / Czech Journal of Animal Science*, 36, 4, s. 321–327.

VARVAŽOVSKÝ, V., KUKAČKA, F., MÁCHA, F., KROULÍK, J. et al. (1985): Sledování příčin výskytu nestandardního mléka v kyselosti pod 6,2 ml a s omezenými prokysávacími schopnostmi v návaznosti na úroveň výživy. ÚKZÚZ Praha, Závěrečná zpráva 1984 – 1985, s. 21.

Korespondující autor: prof. Ing. Oto Hanuš, Ph.D.

Výzkumný ústav mlékárenský s.r.o., Ke Dvoru 12a,
160 00 Praha 6, e-mail: hanus.oto@seznam.cz

Přijato do tisku: 27. 2. 2024

Lektorováno: 21. 5. 2024

VYUŽITÍ NUKLEÁRNÍ MAGNETICKÉ REZONANCE V MLÉKÁRENSKÉM VÝZKUMU

Lucie Kejdová Rysová¹, Veronika Legarová¹,
Soňa Formánková Herman¹, Andrea Nosková¹,
Šárka Altmanová¹, Hana Nejeschlebová²

¹ Katedra kvality a bezpečnosti potravin, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Česká zemědělská univerzita v Praze

² Výzkumný ústav mlékárenský s.r.o., Praha

The use of nuclear magnetic resonance in the dairy research

Abstrakt

Nukleární magnetická rezonance (NMR) se v posledních letech stala často využívanou analytickou technikou v celé řadě vědních oborů. Nejinak tomu je v mlékárenském výzkumu. Níže je uveden literární přehled vědeckých studií zaměřujících se na aplikaci NMR pro studium profilu metabolitů mléka napříč celým dodavatelským řetězcem. Pomocí nejrůznějších NMR experimentů byly zkoumány změny v mléku v závislosti na zdraví dojnic či složení krmné dávky. Rovněž bylo zjištěno, že NMR lze využít ke kontrole kvality a bezpečnosti mléka. V neposlední řadě bylo NMR široce využíváno ve vědeckých studiích zaměřujících se na sýry, přičemž se často jednalo o sýry s Chráněným označením původu.

Klíčová slova: bezpečnost, kvalita, nukleární magnetická rezonance, mléko, sýry

Abstract

In recent years, nuclear magnetic resonance (NMR) has become a frequently used analytical technique in many scientific fields as well as in the field of dairy research. Below is a literature review of scientific studies focusing

on the application of NMR to study the metabolite profile of milk across the entire supply chain. Using a variety of NMR experiments, changes in milk as a function of dairy cow health or ration composition have been investigated. It has also been found that NMR can be used to monitor milk quality and safety. Finally, NMR has been widely used in scientific studies on cheese, often involving cheeses with Protected Designations of Origin.

Key words: safety, quality, nuclear magnetic resonance, milk, cheese

Úvod

Nukleární magnetická rezonance (NMR) je výkonná analytická technika, kterou lze využít pro spektroskopii v kapalném i pevném stavu, zobrazování i relaxometrii. Pro tyto tři specializace platí stejný základní jev: absorpce energie nastane v případě, že vzorek obsahuje atomy, které mají nenulový jaderný magnetický moment a zároveň jsou umístěny do magnetického pole, kde jsou vystaveny elektromagnetické vlně o vhodné frekvenci. Z toho vyplývá, že prostřednictvím NMR jsou měřitelné jen chemické prvky, jejichž atomová jádra vykazují určité magnetické vlastnosti. To jsou jádra, která mají nenulové spinové kvantové číslo, z nichž jsou nejlépe měřitelná ta se spinovým kvantovým číslem $I = 1/2$. Do této skupiny se řadí následující izotopy ^1H , ^{13}C , ^{15}N , ^{19}F či ^{31}P . Výjimečné postavení má v NMR analýze organických sloučenin především izotop ^1H , což je dáno jeho velkým gyromagnetickým poměrem a vysokým biologickým zastoupením (99,985 %; Ralli a kol. 2018, Lambert a kol. 2019). Atraktivita ^1H NMR techniky v metabolických studiích je dána především snadnou přípravou vzorku a nedestruktivní analýzou, kdy jeden vzorek lze analyzovat v několika po sobě jdoucích NMR experimentech a lze ji použít pro necílenou analýzu. Ve srovnání s kapalinovou a plynovou chromatografií s hmotností spektrometrií (MS) je jednou z výhod NMR přímý a kvantitativní vztah mezi molární koncentrací a intenzitou rezonance. NMR má rovněž několik limitací. Z nichž lze uvést například vysoké pořizovací náklady NMR spektrometru nebo nízkou citlivost, ve které naopak MS techniky vynikají (Sundekilde a kol., 2013).

Jak uvedli Maher a Rochfort (2014), použití NMR spektroskopie v mlékárenském sektoru se datuje již od 50. let 20. století. V této době Odeblad a Westin identifikovali tři odlišné rezonanční signály v mateřském mléku, které označili jako W, T a F. Dle jejich výsledků se W a T nacházely v mléčné plazmě (pravděpodobně se jednalo o rezonanci vody a laktózy), zatímco rezonanční signál F zřejmě pocházel z mléčného tuku. Další zajímavá studie, která byla publikována v druhé polovině 20. století, se zaměřila na minoritní část mléčné tukové kapénky. Autoři této studie provedli pomocí ^1H NMR charakterizaci molekulární struktury lyofilizované membrány. Identifikovat se podařilo různé rezonanční vzorce lipidů, včetně přiřazení protonů v rámci lipidových řetězců (např. CH_3 ,

CH₂, CH=CH), a porovnat je s rezonančními vzorci aminokyselin, které pocházely z denaturovaných proteinů (Maher a Rochfort, 2014). Od této doby se citlivost a rozlišení NMR spektrometrů značně zvýšily a společně se sofistikovanějšími statistickými nástroji se dnes tato analytická technika využívá k nalezení odpovědí týkajících se celého mlékárenského sektoru.

Prvovýroba mléka

Je velmi dobře známo, že biochemický profil mléka reflektuje aktuální zdravotní stav dojnice. Řada metabolitů odrážejících metabolické onemocnění či zánět mléčné žlázy se do mléka může transportovat přes buněčnou membránu, či paracelulární cestou, a tak významně měnit metabolický profil mléka.

Prozkoumat změny ve složení mléčného metabolomu v souvislosti s onemocněním mléčné žlázy se rozhodli Bobbo a kol. (2022). Pomocí jednodimenzionálních experimentů ¹H NMR s využitím základní pulzní sekvence NOESY (Nuclear Overhauser Effect Spectroscopy) analyzovali 120 čtvrtových vzorků mléka a potvrdili, že zvýšený počet somatických buněk je spojen se změnami v mléčném metabolomu. Konkrétně se jednalo o následující metabolity, které s počtem somatických buněk nad 200 tisíc v 1 ml vykazaly nižší hladiny: riboflavin, galaktóza, galaktóza-1-fosfát, dimetylsulfon, karnitin, hippurát, orotát, lecitin, sukcinát, glukóza a laktóza. Tato zjištění by mohla být užitečná v rámci screeningu subklinických mastitid.

V další studii se autoři zabývali ketózou, což je velmi časté metabolické onemocnění, které postihuje dojnice zvláště v období ihned po otelení (Klein a kol., 2012). Cílem této studie byla identifikace prediktivních biomarkerů tohoto onemocnění. Použit byl opět jednodimenzionální experiment ¹H NMR s pulsní sekvencí NOESY, a také komplexnější dvoudimenzionální heteronukleární experimenty ¹H-¹³C HSQC (Heteronuclear Single Quantum Coherence) a ¹H-¹³C HMBC (Heteronuclear Multiple Bond Correlation), díky kterým lze studovat vazby mezi vodíkovými a uhlíkovými atomy. Výsledky ukázaly, že glycerofosfocholin a poměr glycerofosfocholinu k fosfocholinu jsou spolehlivými biomarkery výběru dojnic, které se dobře vyrovnávají s metabolickým stresem, což může být v budoucnu zhodnoceno zvláště v plemenářské práci.

Kromě zdraví dojnic se do fyziologických faktorů ovlivňujících složení mléka řadí také pořadí a fáze laktace. Jak se nízkomolekulární metabolity v mléku mění v průběhu laktace, popsali Zhu a kol. (2020). Pro tento účel použili vzorky kravského mléka získané v rané, střední a pozdní laktaci (od 41 do 286 dní). Vzorky mléka byly analyzovány pomocí ¹H NMR a hmotnostní spektrometrie ve spojení s ultra-vysokou účinnou kapalinovou chromatografií. Bylo zjištěno, že v průběhu laktace křivky se mění koncentrace hned několika metabolitů, do nichž patřily aminokyseliny a jejich deriváty, organické

kyseliny, sacharidy, vitaminy, nukleové báze či volné mastné kyseliny.

Hodnocení kvality a bezpečnosti mléka

NMR spektroskopie je také hojně využívána pro hodnocení kvality mléka. Například Sundekilde a kol. (2011) dospěli k závěru, že metabolické profily mléka získané pomocí ¹H a ¹³C NMR mohou být rychlou klasifikační metodou jeho koagulačních vlastností. Korelaci potvrdili mezi koagulačními vlastnostmi a hladinami laktózy, cholinu, karnitinu a citrátu. Několik studií se rovněž věnovalo vlivu složení krmné dávky na metabolický profil mléka. Dva různé jednodimenzionální experimenty NMR použili Tsiafoulis a kol. (2019) pro porovnání profilu metabolitů lipidové frakce kravského mléka pocházejícího z ekologického a konvenčního zemědělství. Lipidová frakce BIO mléka vykazovala výrazně vyšší zastoupení nenasycených mastných kyselin zahrnujících kyseliny konjugovanou linolovou, linolovou a α -linolenovou. Niero a kol. (2022) pak monitorovali dynamiku metabolitů v kravském mléku před a během pastevní sezony. Zjištění této studie ukázala, že zařazení pastvy do krmné dávky dojnic je spojeno s významnými změnami v mléčném metabolomu.

Kvalitu mléka může rovněž ovlivnit tepelné ošetření a podmínky skladování. Z tohoto důvodu se Edwards a kol. (2021) zabývali změnami, ke kterým dochází v pasterovaném mléku v závislosti na teplotě a době skladování. Tyto změny monitorovali pomocí cílené a necílené NMR metabolomiky s použitím jednodimenzionálních (¹H NOESY) a dvoudimenzionálních experimentů (¹H-¹³C HSQC). V průběhu skladování se několik metabolitů významně měnilo v závislosti na době a teplotě. Zvyšovaly se koncentrace etanolu, mravenčí kyseliny, mléčné kyseliny a octové kyseliny, což souviselo s trendem mikrobiálního růstu. Rostoucí trend zaznamenala i jantarová a máselná kyselina. Naproti tomu citronová kyselina byla jediným mléčným metabolitem, který během skladování trvale klesal. Autoři této studie se domnívají, že tato zjištění by v budoucnu mohla sloužit jako podklad pro stanovení indikátorů trvanlivosti mléka v reálném čase, a tak přispět k omezení plýtvání mlékem.

Po velkém incidentu s falšováním kojenecké výživy melaminem v Číně se řada vědeckých studií zaměřuje i na detekci různých nepůvodních příměsí v mléku. Nejinak tomu je v případě NMR. Například Santos a kol. (2016) demonstrovali možnost aplikace ¹H „time domain“ NMR (¹H TD-NMR, taktéž známá jako NMR relaxometrie), která sleduje protonové relaxace poskytující informace o pohyblivosti jader v molekulách, které mohou definovat nejen složení dané potraviny, ale i fyzikálně-chemické a texturní vlastnosti. Cílem studie bylo ověření využití této techniky k odhalování falšování kravského mléka vodou, syrovátkou, peroxidem vodíku, močovinou, syntetickým mlékem a močí. Z výsledků plyne, že ¹H

TD-NMR se osvědčila jako rychlá a nedestruktivní metoda pro detekci a kvantifikaci falšování kravského mléka.

Co se týče využití NMR techniky přímo v odhalování falšování mléka malých přežvýkavců, není toho doposud ve vědecké literatuře příliš mnoho k dispozici. Důvodem může být fakt, že spolehlivé zjištění mléka jiného živočišného druhu je velmi obtížné. Jedním z dostupných zdrojů je studie publikovaná autory Lamanina a kol. (2011) zaměřující se na odhalování falšování ovčího mléka kravským mlékem pomocí vodíkových spekter s využitím umělé neuronové sítě. Na základě 22 proměnných byla schopna neuronová síť spolehlivě předpovědět obsahy připravené směsi. Nicméně limitace této studie autoři shledávají v malém souboru vzorků, a také nemožnosti ověřit další zdroje variability jako jsou genetika, krmná dávka atd. Další podobnou studii provedli Li a kol. (2017), kteří využili ^1H a ^{13}C NMR v kombinaci s vícerozměrnou statistickou analýzou. Cílem bylo odhalit falšování kravského a kozího mléka sójovým nápojem a falšování kozího mléka kravským mlékem. Na základě deseti metabolitů (acetát, aminosacharidy, citrát, etanolamin, cholin, karnitin, kreatin, laktóza, lecitin, sacharóza) bylo možné identifikovat 2 % sójového nápoje v kravském a kozím mléku, a také 5 % kravského mléka v kozím mléku. Na falšování kozího mléka se rovněž zaměřili Rysová a kol. (2021). Na rozdíl od Li a kol. (2017) pracovali pouze s jedním metabolitem – aminosacharidy, které umožnily detekci 10 % kravského mléka v kozím mléku s téměř 100% přesností.

NMR a sýry

Několik studií se zaměřilo i na využití NMR pro hodnocení kvality sýrů. Potenciál NMR pro studium metabolických procesů v probiotických a symbiotických sýrech potvrdili Rodrigues a kol. (2011), kteří pomocí ^1H NMR identifikovali rozdílný metabolický profil zrajících sýrů s přidavkem probiotik (*Lactobacillus casei*-01 nebo *Bifidobacterium lactis* LAFTI B94) a prebiotik (fruktooligosacharidy nebo směs fruktooligosacharidů s inulinem). Studie Chen a kol. (2021) si kladla za cíl charakterizovat pomocí jednodimenzionálních a dvoudimenzionálních experimentů NMR metabolity měnící se v průběhu zrání sýru Cheddar. Bylo zjištěno, že citrulin společně s argininem jsou nejdůležitější ukazatelé různých zrácích fází sýra. Během zrání obsah těchto metabolitů postupně klesal. Navíc autoři této studie popsali i metabolické profily sýrů různé kvality. Testovaná šarže B, u které se předpokládalo dosažení prémiové kvality, vykázala nižší hladiny serinu a β -galaktózy v porovnání se šarží C s očekávanou nižší úrovní kvality.

Ve velké míře se také autoři zaměřují na kontrolu kvality sýrů s Chráněným označením původu (CHOP), které nesou výjimečné zemědělské produkty či potraviny vyrábějící se v určitém regionu. Například Segato a kol. (2019) se věnovali italskému sýru Asiago s CHOP pocházejícímu z vysokohorské oblasti severovýchodní

Itálie. Cílem jejich studie bylo posoudit spolehlivost ^1H NMR pro odhalení krmného systému dojníc, od kterých mléko na výrobu sýrů pocházelo. Do tohoto experimentu bylo zařazeno několik farem s dvěma odlišnými krmnými systémy. V rámci prvního krmného systému byla dojnícím zkrmována směsná krmná dávka s 45 až 50% podílem travního sena z trvalých horských luk. Druhý krmný systém pak na rozdíl od prvního umožnil dojnícím přístup na pastvu. Navíc byly analyzovány vzorky sýrů v různém čase zrání z důvodu ověření stability identifikovaných metabolitů. Výsledky této studie potvrdily, že metabolický otisk prstu získaný pomocí NMR může rozlišit sýry dle krmných systémů dojníc, přičemž mezi nejvíce informativní proměnné byly zařazeny 2,3-butandiol, cholin, lysin a tyrosin. To se týkalo pouze sýrů s nejkratší dobou zrání, sýry zrající 4 měsíce a déle nebylo možné spolehlivě rozlišit, pravděpodobně v důsledku chemických a biochemických procesů vyvolaných delším procesem zrání. Užitečnost NMR techniky pro sledování účinku výživy zvířat na metabolický profil mléka a sýrů potvrdili i Marsaglia a kol. (2013). Tato studie se zaměřila na identifikaci a charakterizaci cyklických mastných kyselin pomocí NMR i plynové chromatografie s hmotnostní spektrometrií. Cyklopropanové mastné kyseliny byly zjištěny pouze ve vzorcích mléka od dojníc krmených krmivou obsahujícími kukuřičnou siláž. Obdobné výsledky byly získány i u sýrů. Ve vzorcích sýrů Parmigiano-Reggiano nebyly na rozdíl od sýrů Grana Padano cyklopropanové mastné kyseliny detekovány. Z výsledků plyne, že cyklopropanové mastné kyseliny mohou sloužit jako potencionální molekulární biomarker pro posouzení pravosti sýrů Parmigiano-Reggiano, pro jejichž výrobu nesmí být použito mléko dojníc, kterým byla zkrmována kukuřičná siláž.

Analýza vodných extraktů sýra není jedinou možnou cestou přípravy vzorku pro NMR. Techniku „magic angle spinning“ NMR, tedy rotaci vzorku pod magickým úhlem ($54,7^\circ$), využili Mazzei a Piccolo (2012) pro posouzení geografického původu a čerstvosti sýru Mozzarella di Bufala Campana vyrobeného z buvolího mléka. Díky zvolené technice byla možná přímá analýza neporušeného vzorku sýra bez jakékoliv předchozí extrakce. Následná vícerozměrná statistická analýza správně diferenciovala vzorky sýra pocházejících ze dvou různých lokalit v Kampánii. Za diferenciaci vzorků byly zodpovědné metabolity β -laktóza, β -galaktóza či octová kyselina. Tyto rozdíly autoři přisuzovali variacím v kvalitě buvolího mléka či ve výrobních technologiích. Dále taktéž identifikovali metabolity (isobutylalkohol, mléčná a octová kyselina), jejichž koncentrace se zvyšovala se stářím těchto sýrů.

Výzkum na České zemědělské univerzitě v Praze

Na České zemědělské univerzitě v Praze nyní probíhá ve spolupráci s Výzkumným ústavem mlékárenským s.r.o. výzkum zaměřující se na odhalování uměle

redukce počtu somatických buněk v kravském mléku. Jednou z využívaných technik je právě i NMR, konkrétně spektrometr Bruker AVANCE III HD 500 MHz. Pomocí této techniky se analyzují spektra nízkomolekulárních látek s cílem najít biomarker nebo biomarkery detekující toto falšování.

Závěr

Z výše uvedeného přehledu je zřejmé, že pomocí NMR lze řešit různorodou problematiku mlékárenského odvětví, což potvrzuje sílu, ale také cenný přínos této analytické techniky při objasňování komplikovaných výzkumných otázek týkajících se nejen mléka, ale i mléčných výrobků.

Poděkování

Tato práce vznikla díky finanční podpoře Národní agentury pro zemědělský výzkum MZe ČR (NAZV QK21010212).

Literatura

- BOBBO, T., MEONI, G., NIERO, G., TENORI, L., LUCHINAT, C., CASSANDRO, M., PENASA, M. (2022): Nuclear magnetic resonance spectroscopy to investigate the association between milk metabolites and udder quarter health status in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 105(1), s. 535–548.
- CHEN, Y., MACNAUGHTAN, W., JONES, P., YANG, Q., WILLIAMS, H., FOSTER, T. (2021): Selection of potential molecular markers for cheese ripening and quality prediction by NMR spectroscopy. *LWT*, 136(P2), s. 110306.
- EDWARDS, K. M., BADIGER, A., HELDMAN, D. R., KLEIN, M. S. (2021): Metabolomic markers of storage temperature and time in pasteurized milk. *Metabolites*, 11(7), s. 1–16.
- KLEIN, M. S., BUTTCHEREIT, N., MIEMCZYK, S. P., IMMERSOLI, A. K., LOUIS, C., WIEDEMANN, S., JUNGE, W., THALLIER, G., OEFNER, P. J., GRONWALD, W. (2012): NMR metabolomic analysis of dairy cows reveals milk glycerophosphocholine to phosphocholine ratio as prognostic biomarker for risk of ketosis. *Journal of Proteome Research*, 11(2), s. 1373–1381.
- LAMANNA, R., BRACA, A., DI PAOLO, E., IMPARATO, G. (2011): Identification of milk mixtures by ¹H NMR profiling. *Magnetic Resonance in Chemistry*, 49, s. 22–26.
- LI, Q., YU, Z., ZHU, D., MEMG, X., PANG, X., LIU, Y., FREW, R., CHEN, H., CHEN, G. (2017): The application of NMR-based milk metabolite analysis in milk authenticity identification. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9), s. 2875–2882.
- MAHER, A. D., ROCHFORD, S. J. (2014): Applications of NMR in dairy research. *Metabolites*, 4(1), s. 131–141.
- MARSEGLIA, A., CALIGIANI, A., COMINO, L., RIGHI, F., QUARANTELLI, A., PALLA, G. (2013): Cyclopropyl and ω-cyclohexyl fatty acids as quality markers of cow milk and cheese. *Food Chemistry*, 140(4), s. 711–716.
- MAZZEI, P., PICCOLO, A. (2012): ¹H HRMAS-NMR metabolomic to assess quality and traceability of mozzarella cheese from Campania buffalo milk. *Food Chemistry*, 132(3), s. 1620–1627.
- NIERO, G., MEONI, G., TENORI, L., LUCHINAT, C., VISENTIN, G., CALLEGARO, S., VISENTIN, E., CASSANDRO, M., DE MARCHI, M., PENASA, M. (2022): Grazing affects metabolic pattern of individual cow milk. *Journal of Dairy Science*, 105(12), s. 9702–9712.
- RALLI, E., AMARGIANITAKI, M., MANOLOPOULOU, E., MISIAK, M., MARKAKIS, G., TACHALIDOU, S., KOLESNIKOVA, A., DAIS, P., SPYROS, A. (2018): NMR spectroscopy protocols for food metabolomics applications. *Methods in Molecular Biology*, 1738, s. 203–211.

- RODRIGUES, D., SANTOS, C. H., ROCHA-SANTOS, T. A. P., GOMES, A. M., GOODFELLOW, B. J., FRETAS, A. C. (2011): Metabolic profiling of potential probiotic or synbiotic cheeses by nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(9), s. 4955–4961.
- RYSOVÁ, L., LEGAROVÁ, V., PACÁKOVÁ, Z., HANUŠ, O., NĚMEČKOVÁ, I., KLIMĚŠOVÁ, M., HAVLÍK, J. (2021): Detection of bovine milk adulteration in caprine milk with N-acetyl carbohydrate biomarkers by using ¹H nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Journal of Dairy Science*, 104(9), s. 9583–9595.
- SANTOS, P. M., PEREIRA-FILHO, E. R., COLNAGO, L. A. (2016): Detection and quantification of milk adulteration using time domain nuclear magnetic resonance (TD-NMR). *Microchemical Journal*, 124, s. 15–19.
- SEGATO, S., CALIGIANI, A., CONTIERO, B., GALAVERNA, G., BISUTTI, V., COZZI, G. (2019): ¹H NMR Metabolic profile to discriminate pasture based alpine asiago PDO cheeses. *Animals*, 9(10), s. 1–11.
- SUNDEKILDE, U. K., FREDERIKSEN, P. D., CLAUSEN, M. R., LARSEN, L. B., BERTRAM, H. C. (2011): Relationship between the metabolite profile and technological properties of bovine milk from two dairy breeds elucidated by NMR-based metabolomics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(13), s. 7360–7367.
- SUNDEKILDE, U., LARSEN, L., BERTRAM, H. (2013): NMR-based milk metabolomics. *Metabolites*, 3(2), s. 204–222.
- TSIAFOULIS, C. G., PAPAEMMANOUIL, C., ALIVERTIS, D., TZAMALOUKAS, O., MILTIADOU, D., BALAYSSAC, S., MALET-MARTINO, M., GEROTHANASSIS, I. P. (2019): NMR-based metabolomics of the lipid fraction of organic and conventional bovine milk. *Molecules*, 24(6), s. 1–18.
- ZHU, D., KEBEDE, B., CHEN, G., MCCOMB, K., FREW, R. (2020): Changes in milk metabolome during the lactation of dairy cows based on ¹H NMR and UHPLC-QToF/MS. *International Dairy Journal*, 111:104836, s. 1–10.

Korespondující autor:

Ing. Lucie Kejdová Rysová, Ph.D.,
Katedra kvality a bezpečnosti potravin,
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů,
Česká zemědělská univerzita v Praze,
Kamýcká 129, 165 00 Praha 6 – Suchbátka,
rysoval@af.czu.cz

Přijato do tisku: 10. 4. 2024

Lektorováno: 10. 5. 2024