

**VLIV PŘÍDAVKU SPIRULINY (*ARTHROSPIRA PLATENSIS*)
NA JAKOSTNÍ PARAMETRY JOGURTU**

**EFFECT OF SPIRULINA (*ARTHROSPIRA PLATENSIS*) ADDITION
ON YOGHURT QUALITY PARAMETERS**

**Aneta Kocandová¹ – Jan Slováček¹ – Šárka Nedomová¹ – Barbora Odehnalová¹
Veronika Božena Hendrychová¹ – Adam Kovál¹ – Vojtěch Kumbár² – Andrea Roztočilová¹**

¹Ústav technologie potravin, Agronomická fakulta,
MENDELU, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno

²Ústav techniky a automobilové dopravy, Agronomická fakulta,
MENDELU, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno

<https://doi.org/10.11118/978-80-7701-048-1-0099>



ABSTRAKT

Spirulina (*Arthrospira platensis*), sinice bohatá zejména na bílkoviny a biologicky aktivní látky, získává stále větší oblibu jako doplněk stravy díky svému nutričně bohatému profilu a pozitivnímu vlivu na lidské zdraví. Kombinací jogurtu a spiruliny se tak nabízí možnost vzniku funkční potraviny, která spojuje výživovou hodnotu obou složek. Tato studie analyzuje chemické složení, viskozitu, pH a senzorické vlastnosti jogurtů s přídavkem spiruliny. Jogurt s přídavkem 3 % spiruliny obsahoval nejvyšší množství sušiny $19,93 \pm 0,21 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ a bílkovin $7,78 \pm 0,61 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ ($p < 0,05$). S přídavkem spiruliny se zvýšila viskozita vzorků ($p < 0,05$). Spirulina neměla vliv na pH výrobků ($p > 0,05$). Přídavek spiruliny negativně ovlivnil všechny hédonické deskriptory ($p < 0,05$). Jogurty s 3% přídavkem spiruliny jsou tedy senzoricky nepřijatelné.

Klíčová slova: chemické složení, viskozita, funkční potravina

ABSTRACT

Spirulina (*Arthrospira platensis*), a cyanobacteria rich mainly in protein and biologically active substances, is gaining more and more popularity as a dietary supplement due to its nutritional profile and positive effect on human health. The combination of yoghurt and spirulina offers the possibility of creating a functional food that combines the nutritional value of both ingredients. This study analyses the chemical composition, viscosity, pH and sensory properties of yoghurt with spirulina. Yogurt with 3% spirulina addition contained the highest amount of dry matter 19.93 ± 0.21 and protein 7.78 ± 0.61 ($p < 0.05$). The viscosity of the samples increased with spirulina addition ($p < 0.05$). Spirulina did not affect the pH of the products ($p > 0.05$). Spirulina addition negatively affected all hedonic descriptors ($p < 0.05$). Thus, yogurts with a 3% spirulina addition are almost sensory unacceptable.

Keywords: chemical composition, viscosity, functional food

ÚVOD

Rostoucí zájem o zdravý životní styl přivádí stále větší pozornost k funkčním potravinám a jejich významu pro lidské zdraví (Essa et al., 2023). Dnešní spotřebitelé kladou zvýšený důraz na zdravotní přínosy potravin, přičemž se zaměřují především na jejich nutriční a bioaktivní vlastnosti (Yagmur, Sahin, Ersan, 2024). Fermentované produkty jsou v tomto ohledu velmi oblíbené vzhledem k jejich pozitivnímu vlivu na střevní mikroflóru, a to díky působení prospěšných mikroorganismů (Jena, Choudhury, 2024).

Fermentované mléčné výrobky mají dlouholetou tradici v mnoha kulturách a jsou oblíbené díky své výživové hodnotě a pozitivním účinkům na lidské zdraví (Shakya, Verma, Sandhu, 2022). Obsahují prospěšné mikroorganismy, především bakterie mléčného kvašení, které přeměňují laktózu na kyselinu mléčnou, což zásadním způsobem ovlivňuje chuť a texturu výsledného výrobku (Joshi et al., 2024). Kromě bakterií mohou obsahovat také kvasinky, které přispívají k tvorbě oxidu uhličitého (Saygili, Yerlikaya, Akpınar, 2023). Fermentace nejenom zlepšuje chuť a prodlužuje trvanlivost, ale vzniklé produkty podporují trávení a napomáhají udržovat zdravou střevní mikrobiotu (Joshi et al., 2024). Mezi nejznámější fermentované mléčné výrobky patří jogurt. Princip jeho výroby spočívá ve fermentaci mléka dvěma druhy bakterií, a to *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* a *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (Savaiano, Hutkins, 2021).

Sinice jsou drobné jednobuněčné organismy, konkrétně se jedná o bakterie, které jsou schopné fotosyntézy. Patří mezi jedny z hlavních producentů kyslíku na planetě Zemi a řadí se tak mezi dominantní prvky celkového ekosystému (Jin et al., 2025). Díky obsahu cenných makro- i mikroživin, schopnosti vytvářet široké spektrum bioaktivních látek a rychlé produkci biomasy pomocí sluneční energie jsou považovány za velmi udržitelný zdroj pro budoucnost (Ramírez-Rodrigues et al., 2021). Jedna z nejznámějších sinic využívaných v lidské výživě je spirulina (*Arthrospira platensis*) (Nabti et al., 2023). Spirulina je ceněna pro své jedinečné složení, zahrnující vysoký obsah bílkovin (až 70 %), které obsahují významný podíl modrého barviva fykocyaninu známého svými silnými antioxidačními vlastnostmi (Lin et al., 2025). Kromě toho představuje spirulina cenný zdroj esenciálních aminokyselin, nenasycených mastných kyselin, vitamínů, minerálů (zejména železa, vápníku a draslíku) a dalších antioxidantů, které pomáhají chránit buňky před oxidačním stresem (Priyanka S et al., 2023; Ramírez-Rodrigues et al., 2021). Přídavek spiruliny do jogurtu jej obohacuje o cenné makro- a mikroživiny, posiluje předpoklad vyšší antioxidační aktivity a otevírá tak cestu k výživově vylepšené alternativě běžných mléčných produktů. Hlavním cílem této studie je, zda 1% a 3% přídavek spiruliny při výrobě jogurtu nebude mít příliš negativní dopad na fyzikální, a především senzorické vlastnosti konečných mléčných výrobků s vyšším obsahem spiruliny.

MATERIÁL A METODIKA

Výroba jogurtů

Jogurty byly vyrobeny ve dvou šaržích dle níže popsané receptury dle metodiky (Yagmur, et al., 2014). Ve 100 ml polotučného mléka (Pragolaktos, Česká republika) bylo rozmícháno 180 g sušeného polotučného

mléka (Bohemilk, Česká republika) pro zvýšení sušiny výsledného výrobku. Následně byla tato část rozmíchána ve zbytku z celkově 3 l mléka, celý objem byl přiveden k 92 °C a při této teplotě držen přibližně 3 minuty. Mléko bylo dále ochlazeno ve vodní lázni na 43 °C, ke každé části přidány 3 g jogurtové kultury Laktoflora (MILCOM a.s., Česká republika), k jednomu dílu 1 % hmotnostní spiruliny (Zdraví s chutí, Česká republika) a k druhému 3 % hmotnostní spiruliny. Po důkladném promíchání byla směs ručně plněna do předem vysterilovaných oválných sklenic o objemu 250 ml a uzavřena. Následně byly všechny sklenice ponechány v inkubátoru (Friocell 55 – ECO line, Německo) po dobu 4 hodin při teplotě 43 °C. Po skončení fermentace byly jogurty přeneseny do lednice a uchovány při teplotě 5 °C. Analýzy byly provedeny po 1 a po 21 dnech skladování (konec minimální trvanlivosti).

Chemické složení

U výrobků byl po 1 dni skladování analyzován obsah bílkovin ($\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), tuku ($\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) a sušiny ($\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$). Každý vzorek byl homogenizován a stanovení proběhlo ve třech opakováních pro každý vzorek. Pro analýzu celkového množství dusíku byla použita Kjeldahlova metoda (AOAC, 2002). Na základě zjištěných hodnot dusíku byl následně vypočten celkový obsah bílkovin s použitím přepočítávacího faktoru 6,38. Celkový obsah tuku byl stanoven pomocí Soxhletovy extrakce dle podmínek metody (AOAC, 1996), obsah sušiny byl stanoven gravimetricky (AOAC, 2005).

Viskozita

Viskozita vzorků jogurtu byla analyzována pomocí rotačního viskozimetru DV2T (Brookfield, USA). Při testování se pracovalo s přibližně 50 ml jogurtu, který byl umístěn do kádinky o objemu 50 ml. Měření viskozity bylo provedeno při pokojové teplotě (20 °C) s využitím standardizovaného vřetene č. 64 (dle Brookfielda) a 10 otáček za minutu (Bchir et al., 2019). Každý vzorek byl analyzován v 10 opakováních, a to po 1 a 21 dnech skladování.

pH

Měření aktivní kyselosti neboli pH bylo provedeno pomocí laboratorního přístroje inoLab® pH 7110 (Xylem Analytics, Německo). Vzorky jogurtů byly důkladně promíchány, následně do nich byla vložena elektroda a byla odečtena hodnota pH. Každý vzorek byl měřen ve 3 opakování po 1 a 21 dnech skladování.

Senzorická analýza

Senzorická analýza byla provedena po 1 dni skladování v senzorické laboratoři Mendelovy univerzity v Brně, která splňuje normy ISO 8589. Vzorky byly každému hodnotiteli předloženy v původních skleněných nádobách ve vychlazeném stavu, byly označeny náhodně vygenerovanými čtyřčíselnými kódy. Nejprve se hodnotil celkový vzhled ve sklenici, následně byl jogurt promíchán a proběhlo hodnocení zbylých deskriptorů. K neutralizaci byla k dispozici čistá voda. Vzorky hodnotila skupina 10 proškolených hodnotitelů (5 mužů a 5 žen). Pro všechny deskriptory byla použita nestrukturovaná 100mm stupnice s referenčními body na obou koncích. Hédonicky byly hodnoceny tyto vlastnosti: celkový vzhled, celková přijatelnost, barva, vůně, chuť, kyselost a konzistence – hustota (0 bodů zcela nepříjemné, 100 bodů zcela přijatelné).

Statistické zpracování

Data byla statisticky zpracována pomocí programu STATISTICA 14 (TIBCO Software Inc., USA). Normální rozdělení dat bylo ověřeno Shapirovým-Wilkovým testem. K analýze byla použita jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA) a pro porovnání skupin vzorků byl aplikován Tukeyho HSD test. Rozdíly byly považovány za statisticky významné při hladině významnosti 95 % ($p < 0,05$).

VÝSLEDKY A DISKUZE

Chemické složení jogurtů je prezentováno v Tabulce 1.

Tabulka 1: Chemické složení jogurtů ($\text{g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$)

	Jogurt bez přídavku spiruliny ($\bar{x} \pm \text{SD}$)	Jogurt s přídavkem 1 % spiruliny ($\bar{x} \pm \text{SD}$)	Jogurt s přídavkem 3 % spiruliny ($\bar{x} \pm \text{SD}$)
Bílkoviny	$5,76 \pm 0,53^c$	$6,40 \pm 0,36^b$	$7,78 \pm 0,61^a$
Tuk	$2,66 \pm 0,32^a$	$2,29 \pm 0,89^b$	$2,09 \pm 0,78^c$
Sušina	$17,57 \pm 0,39^c$	$18,12 \pm 0,40^b$	$19,93 \pm 0,21^a$

Legenda: Rozdílné horní indexy ve stejném řádku ukazují statisticky významné rozdíly ($p < 0,05$).

Dle předpokladu, přídavek spiruliny ovlivnil chemické složení jogurtů. U variant se spirulinou byl zjištěn vyšší obsah sušiny, bílkovin a totéž tuku ($p < 0,05$). U varianty s přídavkem 3 % spiruliny byl dokonce obsah bílkovin vyšší o $2 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. Což odpovídá výsledkům Lin et al. (2025), kteří uvádí, že spirulina obsahuje až 70 % bílkovin v sušině.

Výsledky měření viskozity jogurtů (Tabulka 2) prokázaly statisticky významné rozdíly ($p < 0,05$) mezi jednotlivými vzorky.

Tabulka 2: Viskozita ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)

	Jogurt bez přídavku spiruliny ($\bar{x} \pm \text{SD}$)	Jogurt s přídavkem 1 % spiruliny ($\bar{x} \pm \text{SD}$)	Jogurt s přídavkem 3 % spiruliny ($\bar{x} \pm \text{SD}$)
1 den skladování	$8,46 \pm 0,73^b$	$12,46 \pm 1,18^a$	$12,88 \pm 0,98^a$
21 dnů skladování	$17,44 \pm 3,61^b$	$18,66 \pm 4,25^a$	$19,23 \pm 2,47^a$

Legenda: Rozdílné horní indexy ve stejném řádku ukazují statisticky významné rozdíly ($p < 0,05$).

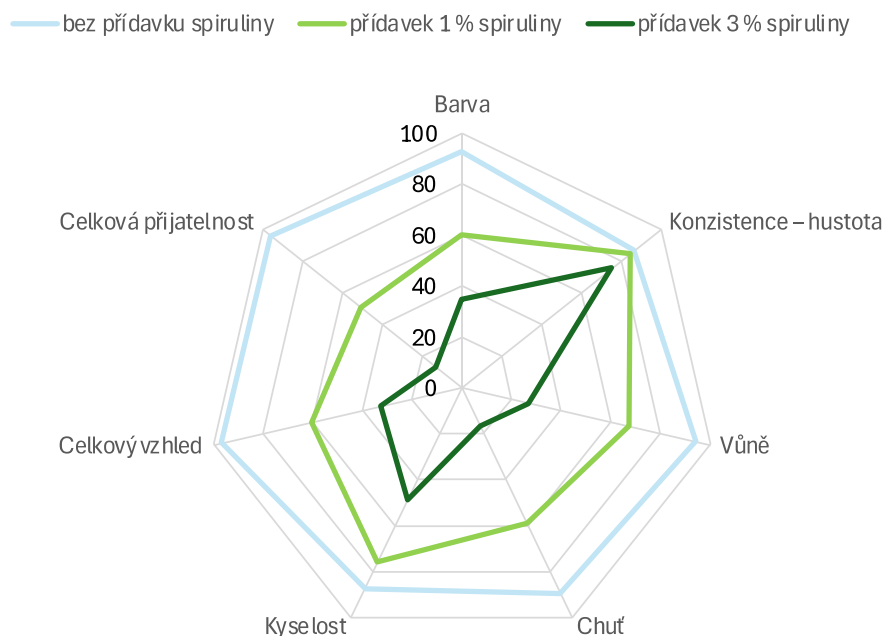
Nejnižší hodnoty byly zaznamenány u jogurtu bez spiruliny, zatímco vyšší viskozitu měly vzorky se spirulinou. Studie Bchir et al. (2019) uvádí, že zvýšení viskozity lze přičíst zejména interakcím mezi složkami spiruliny s jogurtem, přičemž klíčovou roli hrají bílkoviny, u kterých dle chemické analýzy došlo u variant se spirulinou k průkaznému nárůstu ($p < 0,05$). Přídavek spiruliny také přispěl ke zvýšení celkového obsahu sušiny v jogurtu, tím i k vyšší viskozitě výsledného produktu. Ke zvýšení viskozity během skladování může docházet v důsledku postupné absorpce vody jednotlivými složkami spiruliny. Dalším faktorem může být zesílení bílkovinné struktury mezi spirulinou a jogurtem, což může přispět ke zpevnění textury (Bchir et al., 2019).

Tabulka 3: Aktivní kyselost – pH

	Jogurt bez přídavku spiruliny ($\bar{x} \pm SD$)	Jogurt s přídavkem 1 % spiruliny ($\bar{x} \pm SD$)	Jogurt s přídavkem 3 % spiruliny ($\bar{x} \pm SD$)
1 den skladování	4,31 ± 0,04	4,24 ± 0,01	4,23 ± 0,03
21 dnů skladování	4,19 ± 0,03	4,20 ± 0,02	4,16 ± 0,01

Rozdíl v hodnotách pH (Tabulka 3) nebyl statisticky průkazný ($p > 0,05$). Aktivní kyselost nebyla přídavky spiruliny u vzorků jogurtů ovlivněna. Tyto výsledky naznačují, že spirulina neměla významný vliv na průběh fermentace. V průběhu skladování se pH ve všech vzorcích postupně nepatrně snižovalo, což je běžné v důsledku nárůstu počtu bakterií mléčného kvašení. Tyto výsledky jsou v souladu se závěry studie Rose et al. (2023), kteří uvádí že spirulina má schopnost podpořit růst bakterií mléčného kvašení během fermentace. I přesto však rozdíl v pH jednotlivých vzorků není průkazný ($p > 0,05$).

Výsledky senzoričké analýzy (Obrázek 1) prokázaly rozdíly ve všech deskriptorech s výjimkou konzistence mezi jogurtem bez spiruliny a s přídavkem 1 % spiruliny. Jogurt bez přídavku spiruliny byl v každém parametru hodnocen nejlépe a hodnotitelé jej považovali již na první pohled za výrazně atraktivnější než zbývající dva vzorky. Naopak charakteristiky jogurtu s přídavkem 3 % spiruliny byly vyhodnoceny nejhůře a pro hodnotitele byl tedy nejméně přijatelný. Naše výsledky tak potvrzují závěry studie Bchir et al. (2019), která uvádí, že již 0,5% přídavek spiruliny do jogurtu byl hodnocen negativně a získal nejnižší skóre u všech senzoričkých deskriptorů.

**Obrázek 1:** Pavučinový graf senzoričkého hodnocení jogurtů s přídavkem spiruliny

ZÁVĚR

Jogurt s přídavkem spiruliny může být skvělou volbou pro obohacení každodenní stravy cennými makro- a mikroživinami. Nicméně je důležité pečlivě zvažovat celkový přídavek spiruliny do jogurtu, aby nedošlo

k negativnímu ovlivnění senzorických vlastností. Výsledky ukázaly, že v rámci chemického složení došlo s vyšším přídatkem spiruliny ke zvýšení množství sušiny a bílkovin, avšak senzorická přijatelnost s rostoucím přídatkem spiruliny významně klesala. Výsledky naznačují, že přídatek 1 % a 3 % spiruliny do jogurtu je senzoricky prakticky nepřijatelný. Pro následující studie zkoumání je třeba zvolit přídatek nižší než 1 %, aby byly jogurty s přídatkem spiruliny senzoricky přijatelné. Optimální dávkování je tedy rozhodující k vytvoření obohaceného a chutného finálního výrobku.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji kolegům z Ústavu technologie potravin Agronomické fakulty Mendelovy univerzity v Brně za spolupráci při analýzách jogurtů s přídatkem spiruliny.

LITERATURA

AOAC (1996): In Fat in meat. 991.36. In W. Horwitz (Ed.), Official methods of analysis. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists.

AOAC (2002): In Crude protein in meat. 928.08 (7th edition). In W. Horwitz (Ed.), Official methods of analysis. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists.

AOAC (2005): In Moisture in meat. 950.46 (18th edition). In W. Horwitz (Ed.), Official methods of analysis. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists.

Bchir, B., Felfoul, I., Bouaziz, M. A., Gharred, T., Yaich, H., Noumi, E., Snoussi, M., Bejaoui, H., Kenzali, Y., Blecker, C., Attia, H. (2019): *Investigation of physicochemical, nutritional, textural, and sensory properties of yoghurt fortified with fresh and dried Spirulina (Arthrospira platensis)*. | EBSCOhost [online]. Dostupné z:

<https://openurl.ebsco.com/contentitem/gcd:141523351?sid=ebsco:plink:crawler&id=ebsco:gcd:141523351>

Jin, W., Wang, F., Chen, L., Zhang, W. (2025): Machine learning-assisted synthetic biology of cyanobacteria and microalgae. *Algal Research* [online]. 86, 103911. ISSN 2211-9264.

Dostupné z: doi:10.1016/j.algal.2025.103911

Essa, M. M., Bishir, M., Bhat, A., Chidambaram, S. B., Al-Balushi, B., Hamdan, H., Govindarajan, N., Freidland, R. P., Qoronfleh, M. W. (2023): Functional foods and their impact on health. *Journal of Food Science and Technology* [online]. 60(3), 820–834. ISSN 0975-8402. Dostupné z: doi:10.1007/s13197-021-05193-3

Yagmur, N., Sahin S., Yilmaz Ersan, L. (2024): Bio-yoghurt enriched with Spirulina-encapsulated pomegranate peel: Impact on some metabolomics, antioxidative, textural and colour properties. *International Journal of Dairy Technology* [online]. 77(3), 724–734. ISSN 1471-0307. Dostupné z: doi:10.1111/1471-0307.13105

- Jena, R., Choudhury, P. K. (2024): Lactic acid bacteria in fermented dairy foods: Gamma-aminobutyric acid (GABA) production and its therapeutic implications. *Food Bioscience* [online]. 62, 105276. ISSN 2212-4292. Dostupné z: doi:10.1016/j.fbio.2024.105276
- Shakya, M., Verma, P., Sandhu, S. S. (2022): Chapter 2 - Recent advances in microbial diversity usage in fermented dairy microbial products. In: Joginder Singh a Ashish Vyas, ed. *Advances in Dairy Microbial Products* [online]. B.m.: Woodhead Publishing, s. 19–39 [vid. 2025-01-21]. ISBN 978-0-323-85793-2. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-323-85793-2.00020-5
- Jayasree Joshi, T., Salini S. V., Mohan, L., Nandagopal, P., Arakal, J. J. (2024): Functional metabolites of probiotic lactic acid bacteria in fermented dairy products. *Food and Humanity* [online]. 3, 100341. ISSN 2949-8244. Dostupné z: doi:10.1016/j.foohum.2024.100341
- Saygili, D., Yerlikaya, O., Akpinar, A. (2023): The effect of using different yeast species on the composition of carbohydrates and volatile aroma compounds in kefir drinks. *Food Bioscience* [online]. 54, 102867. ISSN 2212-4292. Dostupné z: doi:10.1016/j.fbio.2023.102867
- Savaiano, D. A., Hutkins, R. W. (2021): Yogurt, cultured fermented milk, and health: a systematic review. *Nutrition Reviews* [online]. 79(5), 599–614. ISSN 0029-6643. Dostupné z: doi:10.1093/nutrit/nuaa013
- Ramírez-Rodrigues, M. M., Estrada-Beristain, C., Metri-Ojeda, J., Pérez-Alva, A., Baigts-Allende, D. K. (2021): Spirulina platensis Protein as Sustainable Ingredient for Nutritional Food Products Development. *Sustainability* [online]. 13(12), 6849. ISSN 2071-1050. Dostupné z: doi:10.3390/su13126849
- Nabti, B., Bammoune, N., Meliani, H., Stambouli, B. (2023): Antioxidant and antimicrobial activities of Spirulina from the region of Tamanrasset, Algeria. *Journal of Herbal Medicine* [online]. 41, 100748. ISSN 2210-8033. Dostupné z: doi:10.1016/j.hermed.2023.100748
- Priyanka, S., Varsha, R., Verma, R., Ayenampudi, S. B. (2023): Spirulina: a spotlight on its nutraceutical properties and food processing applications. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences* [online]. 12(6), e4785–e4785. ISSN 1338-5178. Dostupné z: doi:10.55251/jmbfs.4785
- Rose, H., Bakshi, S., Kanetkar, P., Lukose, S. J., Felix, J., Yadav, S. P., Gupta P. K., Paswan, V. K. (2023): Development and Characterization of Cultured Buttermilk Fortified with Spirulina plantensis and Its Physico-Chemical and Functional Characteristics. *Dairy* [online]. 4(2), 271–284. ISSN 2624-862X. Dostupné z: doi:10.3390/dairy4020019
- Lin, J., Pang, Y., Huo, Y., Jiang, J., Zhou, B., Shang, Ch. (2025): Extraction, purification and characterization of *Spirulina* phycocyanin. *Algal Research* [online]. 85, 103861. ISSN 2211-9264. Dostupné z: doi:10.1016/j.algal.2024.103861

Kontaktní adresa: Ing. Jan Slováček, Ph.D., Ústav technologie potravin, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, e-mail: jan.slovacek@mendelu.cz