

MOŽNOSTI VYUŽITÍ AI A IOT V PRODUKCI JEDLÉHO HMYZU

APPLICATIONS OF AI AND IOT IN EDIBLE INSECT PRODUCTION

Šárka Nedomová¹ – Vlastimil Slaný² – Ondřej Št'astník³ – Andrea Roztočilová¹ – Vladimír Palupa⁴
Jiří Plachý⁴ – Adam Kovál¹ – Barbora Odehnalová¹ – Vojtěch Kumbár⁵

¹ Ústav technologie potravin, Agronomická fakulta,
Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, Česká republika

² Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky, Agronomická fakulta,
Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, Česká republika

³ Ústav výživy zvířat a pícninářství, Agronomická fakulta,
Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, Česká republika

⁴ Tecpa s.r.o., Tyršova 1132, 664 42 Modřice, Česká republika

⁵ Ústav techniky a automobilové dopravy, Agronomická fakulta,
Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, Česká republika

<https://doi.org/10.11118/978-80-7701-100-6-0263>



ABSTRAKT

Produkce jedlého hmyzu představuje dynamicky se rozvíjející odvětví zemědělství reagující na rostoucí globální poptávku po udržitelných zdrojích proteinů pro krmivářské i potravinářské využití. S objemem produkce vznikají požadavky na standardizaci kvality, welfare a ekonomickou efektivitu, přičemž roste význam technologických nástrojů umožňujících automatizaci a digitalizaci chovných procesů (např. pomocí technologie Internetu věcí a algoritmů umělé inteligence). Cílem příspěvku je popsat současné možnosti využití IoT a AI v produkci jedlého hmyzu a technologické přístupy k senzorickému monitoringu chovného prostředí, sledování biologických parametrů produkce a automatizovanému řízení mikroklimatických podmínek, dále využití algoritmů umělé inteligence v oblasti obrazové analýzy a predikci produkčních ukazatelů ve vztahu ke kvalitě výsledných produktů.

Klíčová slova: jedlý hmyz, umělá inteligence, kvalita, automatizace produkce

ABSTRACT

The production of edible insects represents a dynamically developing sector of agriculture responding to the growing global demand for sustainable protein sources for both feed and food applications. With increasing production volumes, requirements arise for quality standardization, welfare, and economic efficiency, while the importance of technological tools enabling the automation and digitalization of rearing processes is growing (e.g., Internet of Things technologies and artificial intelligence methods). The aim of this contribution is to describe current possibilities for the use of IoT and AI in edible insect production and technological approaches to sensor-based monitoring of the rearing environment, tracking biological production parameters, and automated control of microclimatic conditions, as well as the application of artificial intelligence algorithms in image analysis and the prediction of production indicators in relation to the quality of final products.

Keywords: edible insects, artificial intelligence, quality, production automation

ÚVOD

Mezi nejčastěji využívaný druh hmyzu v potravinářství v našich podmínkách patří larvy potměnky moučného (*Tenebrio molitor*). Ty byly zařazeny mezi takzvané nové potraviny prostřednictvím Evropského úřadu pro bezpečnost potravin v roce 2021. Mohou se prodávat v celku v sušené podobě jako pochoutkový snack, nebo jsou součástí výrobků jako například těstoviny, sušenky, tyčinky a další (Majewski et al., 2022). Hmyz určený pro využití v potravinářství je chován na specializovaných farmách s povolením produkce hmyzu pro potravinářské účely. Většina chovů dosud nevyužívá významnější míru automatizace, přičemž chovatelské úkony, jako jsou zakrmení a třídění, jsou stále zajišťovány převážně manuálně zaměstnanci za využití pouze základních technologických prostředků a tyto činnosti představují významnou časovou i personální zátěž. Chovatelé hmyzu často naráží na skutečnost, že v oblasti svého provozu nemají dostatečný lidský kapitál. Významnou roli zde současně sehrává lidský faktor, jenž může negativně ovlivňovat míru standardizace produkce a vést k jakostním rozdílům mezi jednotlivými šaržemi vyprodukovaného hmyzu. S ohledem na vysoké požadavky na jakost produkce pro potravinářské využití představují automatizace a implementace chytrých technologií v chovech nezbytný krok k zajištění efektivní, standardizované a konkurenceschopné produkce. Prostřednictvím automatizace lze snížit časovou a manuální náročnost chovu, eliminovat vliv lidského faktoru, což přispívá ke zvýšení produkce hmyzu a vyřešení nedostatku pracovních sil v daném sektoru (Oluwatosin et al., 2025). Automatizace v chovu jedlého hmyzu se za poslední dobu významně posunula od základních technologií – např. separátorů v podobě vibračních sít a dalších, k celostním systémům chytrého digitálního dohledu nad chovem. Aktuálně dochází ke snahám propojovat multioborové disciplíny a jejich technické prostředky. Kombinují se například chytré senzory, počítačové vidění, spektrální zobrazovací metody a řídicí moduly regulující například mikroklimatické prostředí chovu. Aby byl chov hmyzu ekonomicky rentabilní, je nezbytné zajistit produkci dostatečného množství larev odpovídající jakosti. Dosažení požadované úrovně jakosti produkce předpokládá efektivní řízení jednotlivých fází chovu. Pro nastavení optimálních podmínek je přitom nutné sledovat široké spektrum parametrů, zahrnujících mikroklimatické podmínky, růst jedinců, spotřebu krmiva, pohlaví a další ukazatele. V současné praxi je značná část těchto dat získávána manuálně s využitím dataloggerů, pravítek, vah, digitálních posuvných měřidel a dalších měřicích prostředků. Manuální měření je však časově náročné a současně může představovat invazivní zásah do chovu. Jednu z perspektivních cest k automatizaci a zefektivnění chovu, při současném respektování welfare jedinců, představuje využití strojového vidění v kombinaci s metodami umělé inteligence (Majewski et al., 2022).

Využití IoT, strojového vidění a AI v produkci hmyzu

Pro zvýšení efektivity celého managementu chovu může pomoci zavedení automatizace v podobě využití IoT (Internet of Things) a umělé inteligence (AI) (Nawoya et al., 2025). Právě technologie založené na principu IoT, počítačového vidění a AI umožňují interdisciplinární propojení, a tím efektivně napomáhají zjednodušit složité úkony spojené s vlastním chovem a vývojem hmyzu. Dokáží v krátkém čase analyzovat rozsáhlé datové sady a na jejich základě predikovat vývoje sledovaného jevu (Smith, 2018; Romano, 2025). Ke strojovému vidění v chovech se využívají kamery. Příkladem využívaných kamer jsou bispektrální kamery, hyperspektrální zobrazování či kamery mimo viditelné spektrum (UV, IR). Ačkoliv je výběr různých kamer na trhu poměrně široký, stále chybí dostatek ověřených informací, metodických postupů a přesně definovaných algoritmů, které by spolehlivě dokázaly relevantní parametry chovu (Majewski et al., 2022). Besson et al. (2022) uvádí, že počítačové vidění (CV) a hluboké učení (DL) umožňují zachycování, extrakci a interpretaci dat z obrazů a videí v reálném čase. Tyto techniky slouží jako stavební kameny v inteligentních automatizačních systémech. Strojové učení se již osvědčilo v praxi například v chovech skotu, kde napomáhá k detekci kulhání a hodnocení tělesné kondice u dojníc, nebo v chovu prasat. Roste zájem o tvorbu specializovaných datových sad v oblasti živočišné výroby. Příkladem datové sady je sada Animal Kingdom

zahrnující 850 druhů živočichů (Ni et al., 2022). Praktické využití chytrých kamer a algoritmů umělé inteligence v chovu hmyzu uvádí ve svých studiích například Migliozi et al. (2019); Sumriddetchkajorn et al. (2015); Agarwal et al. (2020); Tao et al. (2019) a další. Již existují datové sady určené pro analýzu hmyzu, většinou však v oblasti zemědělství, zejména ve vztahu ke škůdcům a používaným pesticidům. V případě potměníka moučného představuje využití počítačového vidění v kombinaci s AI relativně nový směr výzkumu. Baur et al. (2022) pomocí klasického zpracování obrazu a neuronových sítí stanovovali velikost larev potměníka moučného (*Tenebrio molitor*). Vznikají rozsáhlé datové soubory označené jako “TenebrioVision“ získané pomocí systémů vidění (Papadopoulos et al., 2024). Majewski et al. (2022) uvádí, že tohoto druhu pomocí inteligentních systémů vidění je poměrně náročné, neboť larvy se neustále pohybují, vzájemně se překrývají, bývají zakryty krmivem či fraasem a struktura i zbarvení jejich těl jsou velmi podobné. Tao et al. (2019) popisuje hyperspektrálního zobrazování k identifikaci pohlaví kukel bource morušového. Ve studii Nawoya et al. (2025) se zabývají potenciálem využití počítačového vidění v predikci pohlaví larev a morfologických znaků bráněnky jako rychlé neinvazivní metody. Studie posuzuje schopnost modelů určit hmotnost larev ze snímků pomocí morfometrického přístupu. Při analýze predikce hmotnosti larev bylo dosaženo koeficientu determinace R^2 až 0,80 mezi naměřenou a predikovanou hmotností pomocí morfometrické predikce hmotnosti. Tyto výsledky potvrzují proveditelnost využití CV technik pro predikci pohlaví a tělesných znaků larev (Nawoya et al., 2025). Další oblast využití umělé inteligence představuje monitoring a řízení podmínek prostředí v chovu hmyzu na základě senzorových dat, včetně možnosti jejich okamžité úpravy.

Monitoring mikroklimatu a automatizace procesů v chovu

Produkci hmyzu lze rozdělit na primární produkci, která zahrnuje získávání hmyzu, jeho usmrcení, následné zpracování a skladování (IPIFF, 2024). Jednou z oblastí, kde lze uplatnit chytré systémy je vlastní řízení chovu a regulace mikroklimatu. Hmyz má poměrně vysoké nároky na teplotu a vlhkost, přičemž ideální podmínky pro potměníka moučného jsou v rozmezí 25–28 °C a relativní vlhkost prostředí činí 60–75 %. Například Hansen et al. (2022) prezentují nízkonákladové zařízení „Insecto“ pro IoT, které umožňuje monitorování podmínek prostředí, jako je teplota, vlhkost, CO₂, tlak vzduchu a hladiny těkavých organických látek, spolu se snímáním obrazu ve vysokém rozlišení. Pro získání kvalitního výsledného produktu je velmi důležitý i vlastní metabolismus hmyzu. Metabolické pochody lze hodnotit více způsoby, jedním z nich je měření spotřeby O₂ a produkce CO₂. Technologie určené k hodnocení těchto jevů byly dosud poměrně drahé a náročné na použití. Velký posun přináší zavádění kompaktních elektronických senzorů. Vhodná kombinace senzorů a dalších technologií umožňuje získávat cenná souběžná data o tlaku, teplotě a vlhkosti v monitorovaném prostoru. Například Sandstrom a Offord (2022) ve své publikaci popisují využití mikrorespirometru pro měření objemu O₂ u larev a dospělců potměníka moučného. Zařízení umožňuje měřit současně více proměnných současně. Autoři uvádějí například hodnocení vlivu teploty na objem O₂ (Sandstrom a Offord, 2022). Pro správný vývoj jedinců jedlého hmyzu je zásadní i dosažení požadované vlhkosti prostředí. Nevhodná je příliš vysoká vlhkost, která může způsobovat vznik plísní v substrátu a napomáhat šíření nežádoucích mikroorganismů. Naopak nedostatečná vlhkost vede ke zvýšení prašnosti prostředí a vývojovým deformacím. Senzory mají poměrně široký rozsah detekce vlhkosti, a to od 0 do 100 % RH. Vhodné nastavení senzorů a dalších technologií umožňuje chovateli vzdálený monitoring chovu. Systémy reagují na odchylky z předem nastavených hodnot a vyšlou chovateli výstražný alert nebo spustí alarm. Chytré technologie a automatizace se v chovech uplatňují i ve vztahu přímo k jedincům hmyzu. Například Kröncke et al. (2020) popisují zařazení pneumatického systému do chovu, který zajišťuje separaci larev potměníka moučného od zbytků krmiva a fraasu. Ve své studii také definovali obrazové segmenty pro monitoring zdravotního a vývojového stavu larev pomocí systému vidění. Majewski et al. (2022) ve své studii uvádí tři moduly automatizace v chovu, a to segmentace jednotlivých vývojových stádií (larva, kukla, brouk), segmentace

vrstev pro následné vypočtení množství krmiva, fraasu, hmyzu a fenotypizaci larev na úrovni jedinců (výpočet délky, tvaru, hmotnosti jedinců). Ve studii Nawoya et al. (2025) jsou popsány dva přístupy k predikci hmotnosti larev. V prvním z nich využívají segmentační model založený na hlubokém učení a techniky analýzy obrazu k extrakci velikostních znaků, což se označuje jako „morfometrická predikce“. Ve druhém přístupu používají detekční model k předzpracování snímků jako vstupu do předtrénovaného modelu ResNet pro predikci hmotnosti jednotlivých larev, což se označuje jako CNN-regresní přístup. Hansen et al. (2022) popisuje schopnost měřit velikost larev bráněnky (*Hermetia illucens*) a také klasifikovat pohlaví cvrčků domácích (*Acheta domesticus*) detekcí přítomnosti kladélka. Dosavadní výsledky poukazují na možnost budoucí automatizace výběru žádoucích fenotypů pro následující generace, avšak Hansen et al. (2022) uvádí, že zvolené modely detekce v určitém procentu případů stále chybují. Většinou šlo o situaci, kdy se cvrčci překrývali nebo byli pod listy. Další možnost využití představují přenosné spektrometry, které nabízejí široké spektrum aplikací. Umožňují analýzu *in situ*, což je obzvláště užitečné pro monitorování v reálném čase během fázi vlastního chovu a následného zpracování (Mendez-Sanchez et al., 2025; Cruz-Tirado et al., 2025).

Využití AI při zpracování hmyzu a detekci hmyzu v potravinách

Na výslednou kvalitu hmyzích produktů má významný vliv i následné zpracování, přičemž volba vhodného způsobu úpravy je důležitá nejen z hlediska nutričních parametrů, ale také z hlediska bezpečnosti potravinové suroviny. Na druhou stranu se zpracováním mohou odstranit antinutriční složky a prodloužit trvanlivost hmyzího produktu (Meyer-Rochow et al., 2021). Umělá inteligence (AI) by v tomto případě mohla být schopna stanovit optimální metodu a parametry pro zpracování hmyzu na základě množství hmyzí biomasy, obsahu nutričních složek a dalších parametrů definovaných provozovatelem. Na základě dat, která bude mít AI k dispozici tak může navrhnout podmínky zpracování, které nutriční kvalitu nesníží, případně ji sníží pouze minimálně a zároveň zajistí bezpečnost výsledného produktu (Hoque, 2024). „Chytré technologie“ se v oblasti jedlého hmyzu uplatňují nejen v procesu chovu a následného zpracování, ale také při detekci přítomnosti a identifikaci druhů jedlého hmyzu v potravinách. Řada metod pro hodnocení obsahu složení hmyzu je časově velmi náročných, jsou pracné a mohou představovat i zdravotní riziko, například z důvodu používání různých rozpouštědel při analýze. Se zvyšujícím se zastoupením produktů obsahujících jedlý hmyz stoupá potřeba využívat k hodnocení rychlejší, bezpečnější a jednodušší metody. Jednou z metod, které lze kombinovat se strojovým učením je dle publikací metoda vibrační spektroskopie, zejména blízká infračervená spektroskopie (NIR) a střední infračervená spektroskopie (MIR). Uvedené metody dokáží stanovit obsah bílkovin, lipidů a sacharidů, rozlišit druhy hmyzu a detekovat příměsi v hmyzích práscích (Mellado-Carretero et al., 2020; García-Gutiérrez et al., 2021; Ni et al., 2024; Hou et al., 2022).

ZÁVĚR

Z uvedených poznatků vyplývá, že využití počítačového vidění, metod strojového učení, umělé inteligence a pokročilých senzorických systémů představuje perspektivní nástroj pro zefektivnění chovu jedlého hmyzu, sledování biologických parametrů jedinců i optimalizaci navazujícího zpracování. Současně se ukazuje, že další rozvoj této oblasti bude vyžadovat ověření navržených přístupů v podmínkách praktického provozu, tvorbu rozsáhlejších datových souborů a zpřesnění použitých modelů. Tyto potřeby jsou součástí projektu „InsectTech 4.0: Automatizace chovu hmyzu za využití IoT a AI“, jehož cílem je přispět k rozvoji a praktickému ověření moderních digitálních nástrojů v oblasti chovu hmyzu.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce vznikla za podpory projektu InsectTech 4.0: Automatizace chovu hmyzu za využití IoT a AI (CZ.01.01.01/01/24_063/0006749; MPO, Aplikace – Deep Tech III).

LITERATURA

- Agarwal, M., Al-Shuwaili, T., Nugaliyadde, A., Wang, P., Wong, K. W., Ren, Y. (2020): Identification and diagnosis of whole body and fragments of *Trogoderma granarium* and *Trogoderma variabile* using visible near infrared hyperspectral imaging technique coupled with deep learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105438. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105438>
- Baur, A., Koch, D., Gatternig, B., Delgado, A. (2022): Noninvasive monitoring system for *Tenebrio molitor* larvae based on image processing with a watershed algorithm and a neural net approach. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(8), 913–920. Dostupné z: <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0185>
- Besson, M., Alison, J., Bjerger, K., Gorochowski, T. E., Høye, T. T., Jucker, T., Mann, H. M. R., Clements, C. F. (2022): Towards the fully automated monitoring of ecological communities. *Ecology Letters*, 25(12), 2753–2775. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/ele.14123>
- Cruz-Tirado, J. P., dos Santos Vieira, M. S., Ferreira, R. S. B., Amigo, J. M., Batista, E. A. C., Barbin, D. F. (2025): Prediction of total lipids and fatty acids in black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) dried larvae by NIR-hyperspectral imaging and chemometrics. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 329, 125646. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.125646>
- García-Gutiérrez, N., Mellado-Carretero, J., Bengoa, C., Salvador, A., Sanz, T., Wang, J., Ferrando, M., Güell, C., de Lamo-Castellví, S. (2021): ATR-FTIR spectroscopy combined with multivariate analysis successfully discriminates raw doughs and baked 3D-printed snacks enriched with edible insect powder. *Foods*, 10(8), 1806. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods10081806>
- Hansen, M. F., Oparaake, A., Gallagher, R., Karimi, A., Tariq, F., Smith, M. L. (2022): Towards machine vision for insect welfare monitoring and behavioural insights. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 835529. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.835529>
- Hoque, A. (2024): Artificial intelligence in post-harvest drying technologies: A comprehensive review on optimization, quality enhancement, and energy efficiency. *International Journal of Science and Research*, 13, 493–502. Dostupné z: <https://doi.org/10.21275/SR241107163717>
- Hou, Y., Zhao, P., Zhang, F., Yang, S., Rady, A., Wijewardane, N. K., Huang, J., Li, M. (2022): Fourier-transform infrared spectroscopy and machine learning to predict amino acid content of nine commercial insects. *Food Science and Technology*, 42, e100821. Dostupné z: <https://doi.org/10.1590/fst.100821>
- Ibitoye, O., Ayeni, O., Ayanniyi, O., Wealth, A., Kolejo, O., Adenika, O. A., Murtala, M., Oyedijii, O., Aremu, A., Muritala, D. (2025): Advancing urban insect farming: Integrating automation, vertical farming, and sustainable waste management systems. *Discover Agriculture*, 3, 37. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s44279-025-00194-8>
- International Platform of Insects for Food and Feed. (2024, February). *IPIFF guide on good hygiene practices for European Union (EU) producers of insects as food and feed*. Dostupné z: https://ipiff.org/wp-content/uploads/2024/02/Folder-IPIFF_Guide_A4_19.02.2024_black-colour.pdf
- Kröncke, N., Baur, A., Bösch, V., Demtröder, S., Benning, R., Delgado, A. (2020): Automation of insect mass rearing and processing technologies of mealworms (*Tenebrio molitor*). In A. A. Mariod (Ed.), *African edible insects as alternative source of food, oil, protein and bioactive components*, 123–139. Springer. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5_8

- Majewski, P., Zapotoczny, P., Lampa, P., Burduk, R., Reiner, J. (2022): Multipurpose monitoring system for edible insect breeding based on machine learning. *Scientific Reports*, 12, 7892. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11794-5>
- Mellado-Carretero, J., García-Gutiérrez, N., Ferrando, M., Güell, C., García-Gonzalo, D., de Lamo-Castellví, S. (2020): Rapid discrimination and classification of edible insect powders using ATR-FTIR spectroscopy combined with multivariate analysis. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(2), 141–148. Dostupné z: <https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0032>
- Meyer-Rochow, V. B., Gahukar, R. T., Ghosh, S., Jung, C. (2021): Chemical composition, nutrient quality and acceptability of edible insects are affected by species, developmental stage, gender, diet, and processing method. *Foods*, 10(5), 1036. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/foods10051036>
- Migliozzi, D., Cornaglia, M., Mouchiroud, L., Uhlmann, V., Unser, M. A., Auwerx, J., Gijs, M. A. M. (2018): Multimodal imaging and high-throughput image-processing for drug screening on living organisms on-chip. *Journal of Biomedical Optics*, 24(2), 021205. Dostupné z: <https://doi.org/10.1117/1.JBO.24.2.021205>
- Nawoya, S., Geissmann, Q., Karstoft, H., Bjerger, K., Akol, R., Katumba, A., Mwikirize, C., Gebreyesus, G. (2025): Prediction of black soldier fly larval sex and morphological traits using computer vision and deep learning. *Smart Agricultural Technology*, 11, 100953. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100953>
- Ng, X. L., Ong, K. E., Zheng, Q., Ni, Y., Yeo, S. Y., Liu, J. (2022): *Animal Kingdom: A large and diverse dataset for animal behavior understanding*. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 19023–19034. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/CVPR52688.2022.01844>
- Ni, D., Nelis, J. L. D., Dawson, A. L., Bourne, N., Juliano, P., Colgrave, M. L., Juhász, A., Bose, U. (2024): Application of near-infrared spectroscopy and chemometrics for the rapid detection of insect protein adulteration from a simulated matrix. *Food Control*, 159, 110268. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110268>
- Papadopoulos, A.-M., Melissas, P., Kastellos, A., Katranitsiotis, P., Zaparas, P., Stavridis, K., Daras, P. (2024): TenebrioVision: A fully annotated dataset of *Tenebrio molitor* larvae worms in a controlled environment for accurate small object detection and segmentation. In *Proceedings of the 13th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods*, 187–196. Dostupné z: <https://doi.org/10.5220/0012295900003654>
- Qu, J.-H., Liu, D., Cheng, J.-H., Sun, D.-W., Ma, J., Pu, H., Zeng, X.-A. (2015): Applications of near-infrared spectroscopy in food safety evaluation and control: A review of recent research advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(13), 1939–1954. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.871693>
- Romano, D. (2025): Novel automation, artificial intelligence, and biomimetic engineering advancements for insect studies and management. *Current Opinion in Insect Science*, 68, 101337. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2025.101337>
- Sandstrom, D. J., Offord, B. W. (2022): Measurement of oxygen consumption in *Tenebrio molitor* using a sensitive, inexpensive, sensor-based coulometric microrespirometer. *Journal of Experimental Biology*, 225(9), jeb243966. Dostupné z: <https://doi.org/10.1242/jeb.243966>
- Smith, M. J. (2019): Getting value from artificial intelligence in agriculture. *Animal Production Science*, 60(1), 46–54. Dostupné z: <https://doi.org/10.1071/AN18522>

Sumriddetchkajorn, S., Kamtongdee, C., Chanhorm, S. (2015): Fault-tolerant optical-penetration-based silkworm gender identification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 119, 201–208. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.10.004>

Tao, D., Wang, Z., Li, G., Xie, L. (2019): Sex determination of silkworm pupae using VIS-NIR hyperspectral imaging combined with chemometrics. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 208, 7–12. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.09.049>

Kontaktní adresa: doc. Ing. Šárka Nedomová, Ph.D., Ústav technologie potravin, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, e-mail: sarka.nedomova@mendelu.cz