应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2022, 59(4): 703−709. DOI: 10.7679/j.issn.2095−1353.2022.074

前沿与综述

黄粉虫开发利用研究进展*

王圣朝** 王 敦***

（西北农林科技大学昆虫研究所，杨凌 712100）

摘　要　本文综述了近年来黄粉虫 *Tenebrio molitor* 在国内外的利用研究进展。对黄粉虫在动物生产、食品应用、营养开发与利用、环境保护及农业生产等方面研究成果进行归纳总结。以期为同领域的深入研究和未来产业化发展提供参考。

关键词　黄粉虫；动物生产；食品应用；营养开发；环境保护；农业生产

Advances in the development and utilization of the yellow mealworm

WANG Sheng-Chao** WANG Dun***

(Institute of Entomology Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract This paper reviews the commercial utilization of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*, both domestically and internationally, over recent years. It summarizes advances in mealworm production, nutrition, utilization in animal feed and environmental protection, providing a reference for future research in this field.

Key words *Tenebrio molitor*; animal production; food applications; nutrition development; environmental protection; agricultural production

随着全球人口稳步增长和平均生活水平不断提高，人类饮食中动物蛋白比例不断增大；而全球耕地资源和水资源的不断消耗却导致传统蛋白资源日益匮乏（Sandra *et al.*，2020）。人类迫切需要开发新兴蛋白资源以脱离困境（Arnold *et al.*，2017）。昆虫作为地球上数量最多、分布最广、种类最丰富的物种，蕴含的生物资源超乎想象。直到 21 世纪初，人类已知昆虫种类依旧非常有限，昆虫对人类健康以及农业生产的影响超乎想象（陈瑜和马春森，2010）。黄粉虫属鞘翅目，是一种仓储昆虫，俗称面包虫。黄粉虫因其独特营养学特性而成为昆虫蛋白资源中的佼佼者（杨兆芬等，1999），故近年来关于黄粉虫资源利用研究成果不断涌现。本文综合介绍了黄粉虫近年来在国内外利用研究的进展，对黄粉虫在动物生产、食品应用、环境保护、营养开发及农业生产等方面研究成果进行归纳总结，同时对研究过程中发现的问题进行客观评述，以期为同领域研究开拓视野，推动昆虫相关产业发展。

1　动物生产行业的应用

1.1　黄粉虫在渔业上的应用

鱼粉（Fish meal，FM）是水产饲料中最重要的组成部分，但随着 FM 需求不断增加和供给不断减少，水产饲养成本不断上升（Sandra *et al.*，2020）。世界渔业急需优质替代品替代 FM 以解决资源紧张的难题。黄粉虫作为价格低廉且富含蛋白质的高性价比昆虫资源自然而然进入了科研人员的视野。

*资助项目 Supported projects：陕西省农业科技创新转化项目（NYKJ-2019-YL37）

**第一作者 First author，E-mail：a1623965458@sina.cn

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：dunwang@foxmail.com

收稿日期 Received：2022-01-01；接受日期 Accepted：2022-06-01

Piccolo 等（2017）将传统商业饲料（Traditional commercefeed，TCF）中 25%FM 替换成黄粉虫虫粉（Yellow mealworm meal，YMM）饲喂金头鲷 *Sparus aurata* 后提高了饲料转化率和蛋白效率比，当替换比从 25%增至 50%时，金头鲷营养物质消化率较于前者显著降低。斑鳜 *Siniperca scherzeri* 生长速率和饲料利用率随 FM 对 YMM 替代比提升有上升趋势，但仅限 20%以内，超 20%后生长速率和饲料利用率下降（Sankian *et al*.，2018）。40%FM 被 YMM 替代后的 TCF（60%TCF，其他比例依此类推）最有利于锦鲤 *Cyprinus carpio haematopterus* 幼鱼生长（任顺等，2020）。用 50%TCF 饲喂窄爪螯虾 *Pontastacus leptodactylus* 后其特定生长速率、蛋白质效率比、蜕皮频率和饲料转化率均有提升，但存活率降低（Mazlum *et al*.，2021）。

鱼虾个体饲喂混有黄粉虫粉的传统商业饲料（Traditional commercial feed mixed with yellow mealworm meal，TMY）后个体脂肪、氨基酸等营养物质变化也备受关注。用 75%TCF 饲喂黑斑鲷 *Pagellus bogaraveo*，发现鱼肉亚油酸含量随 YMM 加入显著提高；但替换率增至 50%时，黑斑鲷动脉粥样硬化值和血栓指标显著升高（Iaconisi *et al*.，2017a）。用 TMY 饲喂虹鳟 *Oncorhynchus mykiss* 后虹鳟饱和脂肪酸含量上升而二十碳五烯酸和二十二碳六烯酸等不饱和脂肪酸含量降低，影响程度与替换比有关（Iaconisi *et al*.，2017b）。直接饲喂鲜黄粉虫能提高大鲵 *Andrias davidianus* 肌肉脂肪含量，但抑制大鲵生长（冯麒凤等，2021）。用 TMY 饲喂金头鲷和虹鳟后二者肌肉氨基酸谱发生明显变化（Iaconisi *et al*.，2019），人体必需氨基酸含量变化尤其值得关注。

鱼虾终产量和肉质与其整体健康状况密切相关，鱼虾饲喂 TMY 后机体免疫力、肠道微生物群及配子质量等生理变化研究也有报道。Henry 等（2018）研究发现用 TMY 饲喂欧洲鲈鱼 *Dicentrarchus labrax* 能提高鲈鱼血清溶菌酶活性。Peng 等（2019）在 TCF 中添加 4%、8%、12%和 16%的 YMM，发现前 3 种比例能够显著提高罗氏沼虾 *Macrobrachium rosenbergii* 日生长率及蛋白质效率比，且所有实验组沼虾体内超氧化物歧化酶、酚氧化酶及溶菌酶活性提高，表明沼虾在食用 TMY 后免疫力得到强化。用 TMY 饲喂锦鲤后锦鲤血清及肝脏中碱性磷酸酶、酸性磷酸酶和谷丙转氨酶等酶活性与对照相比变化明显，当替换比在 20%至 40%时锦鲤综合生理状况最佳（任顺等，2021）。Gelinçek 和 Gunes̨（2020）研究发现饲喂 TMY 能够提高黑海鳟鱼 *Salmo trutta labrax* 精子和卵子质量，从而在繁育中形成更优质个体。Antonopoulou 等（2019）认为鱼类肠道微生物菌群健康状况与鱼类生长密切相关，饲喂 50%TCF 可正向调节金头鲷、欧洲鲈鱼和虹鳟 3 种鱼肠道微生物菌群。此外，TMY 还能增加鲤鱼 *Cyprinus carpio* 长度，改变鲤鱼肠道微生物群（Mamuad，2021）。

值得一提的是，多项研究都指向一个共同论点，即 YMM 替代 FM 只在一定比例内起积极作用，超出一定比例后效益变差，过高甚至不如 TCF，且不同物种最适比例不尽相同。这个结论虽然对实际生产有积极意义，但显然美中不足。Ido 等（2019）发现 YMM 用作饲料时，其脂含量高低对饲养效果影响显著，脱脂 YMM 完全替代 FM 喂食红海鲷 *Pargus major*，可显著提高其生长速率，同时提高其对爱德华氏菌 *Edwardsiella tarda* 抵抗力。利用从 YMM 中提取的昆虫蛋白粉完全替代 FM 喂食虹鳟能提高虹鳟生长性能且无副作用（Rema *et al*.，2019；Chemello *et al*.，2020；Terova *et al*.，2021）。

1.2 黄粉虫在畜牧业上的应用

自建国以来，我国畜牧业发展迅猛，规模和产值不断扩大。但随着自然资源和生物资源不断消耗，畜牧 TCF 主要成分（鱼粉、豆粕和肉骨粉等）生产成本愈发昂贵。在此背景下黄粉虫作为优质昆虫资源，近年在畜牧养殖方面的研究成果如雨后春笋般不断涌现。

孔春梅等（2017）研究表明 TMY 不会引起肉鸡体内氨基脲（呋喃西林代谢物）残留，可安全用于肉鸡养殖。在肉鸡 TCF 中添加 5%比例

YMM后发现肉鸡肠道微生物群特征利于肉鸡对饲料消化吸收；但当比例提至10%和15%时则对其生长不利（Biasato *et al.*, 2019；Dalmoro *et al.*, 2021）。TCF中添加5%YMM可增加肉鸡体重增长率和饲料转化率；降低血清白蛋白与球蛋白比值并降低肉鸡肠道大肠杆菌含量（Sedgh *et al.*, 2021）。在TCF中添加少量YMM能够减少肉鸡肠道致病菌丰度（Benzertiha，2019）。TMY能改善火鸡肠道菌群并提高机体抗氧化能力（Kozłowski *et al.*, 2021）。TCF中适当添入YMM和小麦胚芽能提高蛋鸡蛋品质和蛋抗氧化能力，且不会影响蛋鸡健康（Stastnik *et al.*，2021；郑紫薇等，2021）。家兔膳食中用黄粉虫虫油替代大豆油后家兔健康状况与对照相比无异，说明黄粉虫虫油是兔饲料合适脂肪来源（Gasco *et al.*, 2019）。通过对关键代谢组织代谢组、转录组、脂质组综合分析，Sandra 等（2020）发现饲喂TMY对猪影响较小；另外Ringseis等（2021）研究表明饲喂TMY既不会引起猪氧化应激反应，也不会激活猪生长关键代谢组织中氧化应激敏感信号通路，因此YMM可作为猪饲料来源。饲喂TMY有助于提高北非石鸡 *Alectoris barbara* 生重与熟重且鸡肉脂肪酸谱发生明显变化，油酸含量上升而软脂酸含量下降（Secci *et al.*, 2018）。Zahra等（2020）发现在日本鹌鹑 *Coturnix japonica* TCF中适当添加YMM能促进日本鹌鹑每日进食。

除本身直接加工成饲料外，饲养黄粉虫幼虫（Yellow mealworm，YM）过程中产生的副产品（养殖过程中死亡虫体，黄粉虫虫皮及黄粉虫虫粪等）也能加工后添入饲料。陈耀等（2021）发现在不影响肉鹅生长前提下，在TCF中添加虫粪可降低饲料成本，提高经济效益。在海兰褐蛋鸡日粮中添加4%和6%黄粉虫副产品能加深鸡蛋色泽，降低蛋黄中胆固醇含量，从而提高蛋的品质（郭志有等，2020）。在TCF中添加20%-30%虫粪可提高鹅营养物质消化率（韦毅等，2021）。

YMM及其副产品加工后部分替代TCF主要成分（鱼粉及豆粕等）能够促进部分物种生长发育以及提高农副产品品质；与鱼虾相比，畜牧TCF添加YMM后对牲畜产生副作用的报道较少，推测是因为海洋生物和陆地生物对脂肪需求和代谢能力不同。

2 黄粉虫在食品行业上的应用

2.1 食品加工

包括黄粉虫在内的多种昆虫都具有较高食用价值，Son等（2020）对脱脂YMM和虫油的营养价值进行综合评估，认为脱脂YMM和虫油可作为出色的食品原料加入食品生产，但人们普遍不愿食用昆虫，这是对昆虫资源的浪费。故改进昆虫食品加工工艺和技术以提升其可食用性一直是个热门话题。De 等（2019）利用工业设备成功制成以YMM为原料的黄粉虫面团（Mealworm paste，MP），MP在低温下短期储存不易变质，且MP也被证明适用于发酵。田晶（2020）利用响应面法改进了YMM饼干加工工艺，使YMM饼干食用效果更佳。

2.2 食品安全

近年也有学者针对YMM加工食品的安全性进行评价。Belleggia等（2020）研究发现即使饲养环境出现较低水平李斯特菌 *Listeria innocua* 污染，李斯特菌也会在黄粉虫肠道中繁殖，进而对食用者健康产生潜在威胁；饲喂昆虫的饲料和产生的虫粪被证明是李斯特菌污染潜在来源。

3 黄粉虫与营养开发

3.1 营养富集

Dong等（2021）在TCF中添加20 μg/g亚硒酸钠后饲喂黄粉虫，发现黄粉虫总硒量增加近83倍，其中有机型占97%以上；富硒YMM可能具有更广泛的应用价值，因为它们可作为人类膳食硒补充剂来源，或是作为饲料用于生产富硒的肉蛋奶产品。

3.2 黄粉虫营养学动态评估

在黄粉虫大规模饲养中往往以黄粉虫达到终龄为最佳收获时间，但有研究者发现不管从经

济或是营养角度考虑，终龄幼虫都不是最佳收获点。Yu 等（2021）研究发现黄粉虫不同营养成分（氨基酸和脂肪酸等）比例会随着发育而不断改变，同时考虑到黄粉虫发育后期饲料转化率降低的因素，收获时中间龄期幼虫将是比终龄幼虫更佳的选择。这一发现对黄粉虫规模化生产意义重大，有望在增加经济效益的同时提升其营养价值。

4 黄粉虫与环境保护

4.1 塑料生物降解

Brandon 等（2021）发现黄粉虫肠道微生物群产生的分泌物和黄粉虫自身产生的乳化因子能有效介导塑料生物降解，对黄粉虫肠道微生物群产生的分泌物及其自身产生的乳化因子进行富集后对塑料降解效率更高；研究发现了 8 种与聚苯乙烯（Polystyrene, PS）降解有关的黄粉虫肠道微生物。利用黄粉虫对 PS 和低密度聚乙烯（Low-density polyethylene，LDPE）2 类塑料进行生物降解，黄粉虫表现出塑料降解的广泛性和局限性；PS 经黄粉虫生物降解后重均分子量（M_W）和数均分子量（M_n）均下降，体现出黄粉虫生物降解塑料的广泛性；而针对两种聚乙烯材料（LDPE1 和 LDPE2），黄粉虫则表现出两种不同解聚模式，即平均分子量较低的 LDPE1 经黄粉虫降解后 M_W 和 M_n 均下降，相对分子量较高的 LDPE2 经黄粉虫降解后 M_W 下降但 M_n 上升，体现出黄粉虫生物降解塑料的局限性。另外，黄粉虫肠道微生物群在降解塑料过程中虽发挥重要作用，但并非所有类型塑料生物降解都依赖肠道微生物群，例如 LDPE 在塑料降解过程中对肠道微生物依赖性较弱（Yang *et al*.，2021）。M 能降解聚氯乙烯（Polyvinyl chloride，PVC）和聚乳酸（Polylactic acid，PLA），但降解不完全（Peng *et al*.，2020；Peng *et al*.，2021）。多项研究都指出黄粉虫取食塑料后肠道微生物群组成和微生物聚集出现显著变化（Peng *et al*.，2020，2021；Brandon *et al*.，2021）。

4.2 农业废弃物与城市污染生物降解

传统农业废弃物和城市污水污泥的绿色处理一直是个难题。Yang 等（2019）发现黄粉虫对麦秆（WS）、稻秆（RS）和米糠（RB）具有90%以上消耗利用率。李双喜等（2017）将麦麸和城市污泥以 1∶1 配比制成饲料饲喂黄粉虫，黄粉虫生长快且死亡率低。熊晓莉等（2016）研究表明 $Fe(SO4)_3$ 和黄粉虫壳聚糖适当比例复配后能有效净化养殖废水。

4.3 吸附重金属

Yang 等（2019）发现黄粉虫取食 RS、WS 和 RB 后产生的虫粪在高温下制成的生物碳能吸附各类重金属，且取食 RS 后产生的虫粪在600 ℃下制成的生物碳对 Pb（II）、Cd（II）、Cu（II）、Zn（II）以及 Cr（VI）具有最佳吸附性能。

5 农业生产方面的应用

目前黄粉虫在农业生产方面研究报道较少，未来研究空间较大。Przemieniecki 等（2021）发现 YMM 矿物肥料能刺激芽孢杆菌 *Bacillus* 生长同时抑制镰刀菌 *Fusarium* 繁殖，增强土壤养分，防止幼苗衰退，促进小麦幼苗健康生长。在土壤中添加一定比例黄粉虫粪能促进牵牛花 *Pharbitis nil*、百日草 *Zinnia elegans*、波斯菊 *Cosmos bipinnata*、杜鹃花 *Rhododendron simsii* 和月季花 *Rosa chinensis* 的生长发育，但不同花卉作物适宜添加比不同（贾红, 2018）。YMM 肥料针对其他作物的综合适用性有待进一步研究。

6 展望

黄粉虫作为优质昆虫资源在国内外有着巨大的研究和应用市场，虽近年研究进展不断，但距真正实现黄粉虫高效综合利用还有不小距离。渔业上虽然脱脂 YMM 完全替代 FM 已经有了理论上的可能，但是目前关于饲喂脱脂 YMM 对鱼类生长影响的研究较少，同时副产品虫油的再利用也需关注。黄粉虫虽能有效降解塑料等环境污染物，但降解程度有限；且各项研究表明这些污染物不利于黄粉虫的生长发育，黄粉虫往往难以正常完成其生命周期。另外取食塑料后黄粉虫的

营养价值和细胞毒性发生变化，已不可用于饲料生产或是食品加工，故目前还难以实现变废为宝的绿色循环生产。黄粉虫作为动物饲料的研究层出不穷，但在植物化肥方面的研究极少，其在农业生产方面的应用可以作为未来的研究侧重点。

参考文献 (References)

Antonopoulou E, Nikouli E, Piccolo G, Gasco L, Gai F, Chatzifotis S, Mente E, Kormas KA, 2019. Reshaping gut bacterial communities after dietary *Tenebrio molitor* larvae meal supplementation in three fish species. *Aquaculture*, 503: 628–635.

Arnold VH, Dennis GABO, 2017. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomyfor Sustainable Development*, 37(5): 1–14.

Belleggia L, Aquilanti L, Osimani A, Milanovic V, Cardinali F, Garofalo C, Pasquini M, Tavoletti S, Riolo P, Ruschioni S, Isidoro N, Clementi F, Ntoumos A, 2020. Listeria dynamics in a laboratory-scale food chain of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) intended for human consumption. *Food Control*, 114: 107146.

Benzertiha A, Kieronczyk B, Rawski M, JozefiakA, Kozłowski K, Jankowski J, Jozefiak D, 2019. *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* full-fat meals in broiler chicken diets: Effects on nutrients digestibility, digestive enzyme activities, and cecal microbiome. *Animals*, 9(12): 1128.

Biasato I, Ferrocino I, Grego E, Dabbou S, GaiF, GascoL, Cocolin L, Schiavone A, Capucchio Maria T, 2019. Gut microbiota and mucin composition in female broiler chickens fed diets including yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.). *Animals*, 9(5): 213.

Brandon AM, Garcia AM, Khlystov NA, Wu WM, Criddle CS, 2021. Enhanced bioavailability and microbial biodegradation of polystyrene in an enrichment derived from the gut microbiome of *Tenebrio molitor* (mealworm larvae). *Environmental Science & Technology*, 55(3): 2027.

Chemello G, Renna M, Caimi C, Guerreiro I, Oliva TA, Enes P, Biasato I, Schiavone A, Gai F, Gasco L, 2020. Partially defatted *Tenebrio molitor* larva meal in diets for grow-out rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (walbaum): Effectson growth performance, diet digestibility and metabolic responses. *Animals*, 10(2): 229.

Chen Y, Wei Y, Chen DM, Zhang L, Zhou CQ, 2021. Effects of *Tenebrio molitor* dung on growth performance of meat geese. *Feed Research*, 44(6): 58–61. [陈耀, 韦毅, 陈冬梅, 张龙, 周材权, 2021. 黄粉虫粪对肉鹅生长性能的影响研究. 饲料研究, 44(6): 58–61.]

Chen Y, Ma CS, 2010. Research progress on the effects of climate warming on insects. *Journal of Ecology*, 30(8): 2159–2172. [陈瑜, 马春森, 2010. 气候变暖对昆虫影响研究进展. 生态学报, 30(8): 2159–2172.]

Dalmoro YK, Adams CB, Haetinger VS, Bairros L, Yacoubi N, Stefanello C, 2021. Energy values of *Tenebrio molitor* larvae meal and tilapia byproduct meal for broiler chickens determined using the regression method. *Animal Feed Science and Technology*, 272: 114784.

De SJ, Borremans A, Scholliers J, Van CL, Van DBM, Lenaerts S, 2019. Stability assessment and laboratory scale fermentation of pastes produced on a pilot scale from mealworms (*Tenebrio molitor*). *Lwt-food Science and Techonology*, 102: 113–121.

Dong Z, Wu H, Zhang M, Lin Y, 2021. Selenium accumulation in protein fractions of *Tenebrio molitor* larvae and the antioxidant and immunoregulatory activity of protein hydrolysates. *Food Chemistry*, 334: 127475.

Feng QF, Huang W, Li H, Zhai XL, Xue L, Lin SM, Chen YJ, Luo L, 2021. Effects of *Tenebrio molitor* on growth performance, feeding, digestion and antioxidant capacity of giant salamander. *Feed Industry*, 42(8): 42–47. [冯麒凤, 黄旺, 李虹, 翟旭亮, 薛洋, 林仕梅, 陈拥军, 罗莉, 2021. 黄粉虫对大鲵生长性能、摄食、消化和抗氧化能力的影响. 饲料工业, 42(8): 42–47.]

Gasco L, Dabbou S, Trocino A, Xiccato G, Capucchio MT, Biasato I, Dezzutto D, Birolo M, Meneguz M, Schiavone A, Gai F, 2019. Effect of dietary supplementation with insect fats on growth performance, digestive efficiency and health of rabbits. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10(1): 1–9.

Gelinçek I, Guneş Y, 2020. An investigation on the gamete quality of black sea trout (*Salmo trutta labrax*) broodstock fed with mealworm (*Tenebrio molitor*). *Aquaculture Research*, 51(6): 2379–2388.

Guo ZY, Leng XY, Sun DF, Wang XW, Xiao FY, 2020. Effects of dietary by-products of *Tenebrio molitor* on laying performance and egg quality of Hailan brown laying hens. *Feed Research*, 43(2): 23–26. [郭志有, 冷学义, 孙得发, 王小伟, 肖发沂, 2020. 日粮中添加黄粉虫副产物对海兰褐蛋鸡产蛋性能及蛋品质的影响. 饲料研究, 43(2): 23–26.]

Henry MA, Gasco L, Chatzifotis S, Piccolo G, 2018. Does dietary insect meal affect the fish immune system? The case of mealworm, *Tenebrio molitor* on European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Developmental and Comparative Immunology*, 81: 204–209.

Iaconisi V, Bovera F, Piccolo G, Maricchiolo G, Parisi G, Gasco L, Genovese L, Marono S, 2017a. Dietary inclusion of *Tenebrio molitor* larvae meal: Effects on growth performance and final quality treats of blackspot sea bream (*Pagellus bogaraveo*). *Aquaculture*, 476: 49–58.

Iaconisi V, Bonelli A, Gai F, Parisi G, Pupino R, 2017b. Mealworm as dietary protein source for rainbow trout: Body and fillet quality traits. *Aquaculture*, 484: 197–204.

Iaconisi V, Gasco L, Papini AM, Parisi G, Piccolo G, Sabatino G, Secci G, 2019. Effect of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae meal on amino acid composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) fillets. *Aquaculture*, 513: 734403.

Ido A, Hashizume A, Ohta T, Takahashi T, Miura C, Miura T, 2019. Replacement of fish meal by defatted yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae in diet improves growth performance and disease resistance in red seabream (*Pargus maj*or). *Animals*, 9(3): 100.

Jia H, 2018. Application of *Tenebrio molitor* dung in flower cultivation. Master dissertation. Chengdu: Sichuan Agricultural University. [贾红, 2018. 黄粉虫粪在花卉栽培中的应用研究. 硕士学位论文. 成都: 四川农业大学.]

Kong CM, Liu Q, Liu XB, Liu XH, 2017. Safety risk analysis of *Tenebrio molitor* in broiler breeding. *Heilongjiang Animal Husbandry and Veterinary*, 2017(12): 177–178. [孔春梅, 刘谦, 刘小宝, 刘晓慧, 2017. 黄粉虫在肉鸡养殖中的安全风险分析. 黑龙江畜牧兽医, 2017(12): 177–178.]

Kozłowski K, Ognik K, Stępniowska A, Juskiewicz J, Zdunczyk Z, Kieronczyk B, Benzertiha A, Jozefiak D, Jankowski J, 2021. Growth performance, immune status and intestinal fermentative processes of young turkeys fed diet with additive of full fat meals from *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*. *Animal Feed Science and Technology*, 278: 114994.

Li SX, Zhou WZ, Lv WG, 2017. Study on environmental factors affecting the degradation of municipal sludge by *Tenebrio molitor* larvae. *Journal of Ecological Environment*, 26(10): 1761–1767. [李双喜, 周文宗, 吕卫光, 2017. 黄粉虫幼虫降解城市污泥环境影响因子研究. 生态环境学报, 26(10): 1761–1767.]

Mamuad L, Lee SH, Chang DJ, Ramos S, Miguel M, Son AR, Seon HK, Yong IC, Lee SS, 2021. Ornamental fish, *Cyprinus carpio*, fed with fishmeal replacement *Ptecticus tenebrifer* and *Tenebrio molitor*. *Aquaculture Reserach*, 52(3): 980–990.

Mazlum Y, Turan F, Yasemin BY, 2021. Evaluation of mealworms (*Tenebrio molitor*) meal as an alternative protein source for narrow‐clawed crayfish (*Pontastacus leptodactylus*) juveniles. *Aquaculture Research*, 52(9): 4145–4153.

Peng BY, Chen Z, Chen J, Yu HR, Zhou XF, Criddle CS, Wu WM, Zhang YL, 2020. Biodegradation of polyvinyl chloride (PVC) in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae. *Environment International*, 145: 106106.

Peng BY, Chen ZB, Chen JB, Zhou XF, Wu WM, Zhang YL, 2021. Biodegradation of polylactic acid by yellow mealworms (larvae of *Tenebrio molitor*) via resource recovery: A sustainable approach for waste management. *Journal of Hazardous Materials*, 416: 125803.

Peng FF, He JZ, Lv M, Huang GH, ChenXL, Yang Q, Wang JB, Wang DP, Ma HW, 2019. Effect of dietary *Tenebrio molitor* protein on growth performance and immunological parameters in *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, 511: 734247.

Piccolo G, Bovera F, Parisi G, Gasco L, Loponte R, Marono S, Nizza S, Iaconisi V, 2017. Effect of *Tenebrio molitor* larvae meal on growth performance, in vivo nutrients digestibility, somatic and marketable indexes of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Animal Feed Science and Technology*, 226: 12–20.

Przemieniecki SW, Kosewska A, Purwin C, Zapałowska A, Mastalerz J, Kotlarz K, Kolaczek K, 2021. Biometric, chemical, and microbiological evaluation of common wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings fertilized with mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae meal. *Applied Soil Ecology*, 167: 104037.

Rema P, Saravanan S, Armenjon B, Motte C, Dias J, 2019. Graded Incorporation of defatted yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diet improves growth performance and nutrient retention. *Animals*, 9(4): 187.

Ren S, Yang SY, Xu XY, Chen WT, Fang ZZ, Chen CX, Shi HY, Sun XL, 2020. Effects of *Tenebrio molitor* instead of fish meal on growth, digestive enzymes and body composition of Koi. *Food Research*, 43(11): 57–60. [任顺, 杨树元, 徐晓燕, 陈婉婷, 方珍珍, 陈成勋, 石洪玥, 孙学亮, 2020. 黄粉虫代替鱼粉对锦鲤生长、消化酶及体成分的影响. 饲料研究, 43(11): 57–60.]

Ren S, Yu H, Chu YX, Zhang Z, Yang YY, Zhang FD, Chen CX, Sun XL, 2021. Effects of *Tenebrio molitor* instead of fish meal on biochemical indexes of plasma and liver of Koi. *Food Research*, 44(18): 53–57. [任顺, 于宏, 初宇轩, 张震, 杨圆圆, 张凤东, 陈成勋, 孙学亮, 2021. 黄粉虫代替鱼粉对锦鲤血浆及肝脏生化指标的影响. 饲料研究, 44(18): 53–57.

Ringseis R, Lukas P, Gessner DK, Meyer S, Most E, Eder K, 2021. Effect of *Tenebrio molitor* larvae meal on the antioxidant status and stress response pathways in tissues of growing pigs. *Archives of Animal Nutrition*, 75(4): 237–250.

Sandra M, Denise KG, Maria SB, Theresa F, Erika M, Marcus H, Gerhard L, Holger Z, Klaus E, Robert R, 2020. Comprehensive evaluation of the metabolic effects of insect meal from *Tenebrio* *molitor* L. in growing pigs by transcriptomics, metabolomicsand lipidomics. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11(1): 1–19.

Sankian Z, Khosravi S, Sang ML, Yi OK, 2018. Effects of dietary inclusion of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) meal on growth performance, feed utilization, body composition, plasma biochemical indices, selected immune parameters and antioxidant enzyme activities of mandarin fish (*Siniperca scherzeri*) juveniles. *Aquaculture*, 496: 79–87.

Secci G, Bovera F, Parisi G, Moniello G, Gasco L, 2018. Barbary partridge meat quality as affected by *Hermetia illucens* and *Tenebrio molitor* larva meals in feeds. *Food Research International*, 112: 291–298.

Sedgh GS, Torki M, Darbemamieh M, Khamisabadi H, Karimi TMA, Abdolmohamadi A, 2021. Yellow mealworm, *Tenebrio molitor* (Col: Tenebrionidae), larvae powder as dietary protein sources for broiler chickens: Effects on growth performance, carcass traits, selected intestinal microbiota and blood parameters. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105(1): 119–128.

Son YJ, Choi SY, Hwang IK, Nho CW, Kim SH, 2020. Could defatted mealworm (*Tenebrio molitor*) and mealworm oil be used as food ingredients?. *Foods*, 9(1): 40.

Stastnik O, Novotny J, Roztocilova A, Kouril P, Kumbar V, Cernik J, Kalhotka L, Pavlata L, Lacina L, Mrkvicova E, 2021. Safety of mealworm meal in layer diets and their influence on gut morphology. *Animals*, 11(5): 1439.

Terova G, Gini E, Gasco L, Moroni F, Antonini M, Rimoldi S, 2021. Effects of full replacement of dietary fishmeal with insect meal from *Tenebrio molitor* on rainbow trout gut and skin microbiota. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12(1): 1–14.

Tian J, 2020. Optimization of processing technology of *Tenebrio molitor* biscuits by response surface methodology. *Food Research and Development*, 41(24): 119–123. [田晶, 2020. 响应面法优化黄粉虫饼干加工工艺. 食品研究与开发, 41(24): 119–123.]

Wei Y, Chen Y, Chen DM, Liao YY, Zhou CQ, 2021. Effect of *Tenebrio molitor* feces content in diet on nutrient metabolism rate of geese. *Feed Research*, 44(12): 32–36. [韦毅, 陈耀, 陈冬梅, 廖云勇, 周材权, 2021.日粮中黄粉虫粪含量对鹅养分代谢率的影响. 饲料研究, 44(12): 32–36.]

Xiong XL, Chen XR, Shao CB, Li N, 2016. Treatment of aquaculture wastewater with powdered insect chitosan. *Journal of Environmental Engineering*, 10(3): 1475–1479. [熊晓莉, 陈小蓉, 邵承斌, 李宁, 2016. 黄粉虫壳聚糖处理养殖废水. 环境工程学报, 10(3): 1475–1479.]

Yang L, Gao J, Liu Y, Zhuang GQ, Peng XW, Wu WM, Zhuang XL, 2021. Biodegradation of expanded polystyrene and low-density polyethylene foams in larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae): Broad versus limited extent depolymerization and microbe-dependence versus independence. *Chemosphere*, 262: 127818.

Yang SS, Chen YD, He L, Ho SH, Ji XY, Ren NQ, Wu WM, Xing DF, Zhang Y, Zhou HM, 2019. A novel clean production approach to utilize crop waste residues as co-diet for mealworm (*Tenebrio molitor*) biomass production with biochar as byproduct for heavy metal removal. *Environmental Pollution*, 252: 1142–1153.

Yu X, He Q, Wang D, 2021. Dynamic analysis of major components in the different developmental stages of *Tenebrio molitor*. *Frontiers in Nutrition*, 8: 689746.

Yang ZF, Lin YX, Chen YS, Wu XN, 1999. Analysis of nutritional components and experimental study on health care function of *Tenebrio molitor* larvae. *Entomological Knowledge*, 36(2): 97–100. [杨兆芬, 林跃鑫, 陈寅山, 吴小楠, 1999. 黄粉虫幼虫营养成分分析和保健功能的实验研究. 昆虫知识, 36(2): 97–100.]

Zahra SZ, Kheiri F, Faghani M, 2020. Productive performance, egg-relatedindices, blood profiles, and interferon-Ɣ gene expression of laying Japanese quails fedon *Tenebrio molitor* larva meal as a replacement for fish meal. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1): 274–281.

Zheng ZW, Zhao GX, Ma KW, Feng ZH, Hao YS, Liu YC, Liu GZ, Xu LJ, 2021. Effects of *Tenebrio molitor* and wheat germ on performance, egg quality and antioxidant function of laying hens. *China Poultry*, 43(1): 43–49. [郑紫薇, 赵国先, 马可为, 冯志华, 郝艳霜, 刘艳慈, 刘观忠, 许利军, 2021. 黄粉虫、小麦胚芽对初产蛋鸡生产性能、蛋品质和抗氧化机能的影响. 中国家禽, 43(1): 43–49.]