

丁旺, 习丙文, 陈凯, 等. 牛至精油在水产养殖中的应用研究进展[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(4): 8-12.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.04.002

牛至精油在水产养殖中的应用研究进展

丁旺^{1,2}, 习丙文^{1,2}, 陈凯², 谢骏^{1,2}, 潘良坤²

(1. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏无锡 214081;

2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心/农业农村部淡水渔业和种质资源利用重点实验室, 江苏无锡 214081)

摘要:牛至精油是从唇形科植物牛至中发现的一种挥发性精油, 在食品抗菌防腐保鲜、畜牧养殖生产中都有广泛应用。随着管理部门和社会对绿色健康养殖、水产品质量及安全问题日益重视, 药用植物资源的开发利用在水产养殖中具有广阔的发展空间。本文在目前研究基础上对牛至精油的特性及其在水产动物生产性能、免疫、抗病等方面的作用进行综述, 并探讨牛至精油应用中存在的问题, 为其在水产养殖中的应用提供参考。

关键词:牛至精油; 抑菌; 抗氧化; 生长; 水产动物

中图分类号: S963.73 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)04-0008-04

近年来, 我国水产养殖业发展越来越快, 养殖经济效益不断上升, 水产养殖的问题也越来越突出, 养殖过程中不合理的管理措施以及对环境容纳量的忽视都给水产养殖业带来了重大损失。杀虫剂、抗生素和化学药物的长期使用或不合理使用, 会导致病原生物的耐药性增强、养殖动物机体免疫力下降、水产养殖病害难以控制, 药物残留也间接对人类的身体健康造成一定威胁^[1-3]。

在欧美等国家, 牛至(*Origanum vulgare* L.) 精油因其抗菌、调味等特性常作为食品的保鲜剂、调味剂、保鲜剂或功能性成分^[4]。在我国, 牛至精油同样也是相关农业部门批准使用的饲料添加剂之一, 与传统饲料药物添加剂相比更加安全高效, 且易被机体吸收、无残留, 是一种绿色无污染的饲料添加剂, 应用和发展潜力都很大^[5]。故本研究对牛至精油的组分特性及其对水产动物生长、抑菌、抗氧化的影响进行阐述, 并积极探讨牛至精油在当前生产应用中存在的相关问题。

1 牛至及牛至精油的生物学特征

牛至是多年生草本或半灌木, 原产于地中海、

欧洲西伯利亚和伊朗西伯利亚地区, 因大多数欧洲国家通称其为牛至而得名。而据《植物名实图考》记载, 牛至为唇形科植物, 又名土茵陈、小叶薄荷、山薄荷; 牛至在我国分布较为广泛, 云南、陕西、河南、新疆、甘肃等省份均有牛至, 牛至全草可入药, 又可入食, 是一种药食兼用野生植物。在地中海沿岸国家, 牛至一直作为一种天然食品香料来使用, 是世界上著名的烹饪调味品和重要经济草药之一, 可作为食品调味料来增加乙醇饮料或香料的辛辣味, 同时还有解暑、退热、止痛、止呕吐、止泻等药效功能^[6]。在西方医学中经常被用作胭脂红、祛痰剂、兴奋剂、滋补剂、抗病毒剂、抗真菌剂^[7-8]。20 世纪 90 年代中期, 欧美的一些营养保健专家就开始探究牛至的营养价值, 并开发出一系列牛至胶囊、精油等营养保健产品。据《全国中草药汇编》与《中华本草》记载, 牛至清热解暑可预防中暑、感冒, 还可有效缓解消化不良、腹痛、月经疼痛、类风湿性关节炎、阴囊炎等疾病。

牛至精油最早产于西班牙, 是从牛至中提取的一种挥发性精油, 通常为黄红色或棕红色, 具有辛辣芳香气味。牛至精油不溶于甘油和水, 易溶于乙醇和丙二醇。由于牛至植株种类各异且精油的提取方法较多, 如微波辅助法、水蒸气蒸馏提取法、超临界流体萃取法等^[9], 因此牛至精油的各组分含量随提取工艺和植株种类的不同而变化, 多以香芹酚(香荆芹酚)、百里香酚、 γ -萜品烯和 p -异丙基甲苯等为主要成分^[10]。牛至精油具有较强的抗菌活性, 其活性成分能够穿透细胞膜使病原微生物水失

收稿日期: 2020-06-10

基金项目: 国家大宗淡水鱼产业技术体系建设专项(编号: CARS-45)。

作者简介: 丁旺(1995—), 男, 江苏宿迁人, 硕士研究生, 主要从事水产动物疾病研究。E-mail: 53277415@qq.com。

通信作者: 习丙文, 博士, 研究员, 主要从事水产动物疾病研究。E-mail: xibw@ffrc.cn。

衡死亡,还能促进肠道上皮细胞更新,提高生长性能和饲料利用率。在各类型的牛至精油产品中,香芹酚和百里香酚的抗菌活性均较强。

2 牛至精油在水产养殖中的主要作用

2.1 牛至精油的抗菌抑菌作用

牛至精油含有大量的酚类单萜类化合物,如香芹醇、对半胱氨酸和百里香酚。牛至精油的抑菌抗菌作用主要依赖于酚类物质(百里香酚和香芹酚),同时牛至精油中的 γ -萜品烯和对伞花烯也有助于增强其抗菌活性^[11]。香芹酚和百里香酚能够破坏细胞壁、改变细胞膜的通透性、改变酶的活性,抑制多种生理代谢,从而达到抑菌作用^[12]。一项使用铜绿假单胞菌(*Pseudomonas aeruginosa*) PA01 或耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*) USA300 感染三度烧伤创面的研究表明,在细菌接种 24 h 后局部施用牛至精油,可显著降低伤口细菌载量且对皮肤没有明显的副作用^[13]。Govaris 等的研究表明,牛至精油能够有效抑制革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌、霉菌、酵母菌,且具有绿色、环保、无毒害、无残留等特点^[14-15]。

Dutra 等在研究牛至精油对脂环酸芽孢杆菌属的抑菌作用时发现,牛至精油中的香芹酚对该菌属具有良好的抑制作用^[16]。Marília 等研究发现,若要抑制蜡状芽孢杆菌(*Bacillus cereus*)、大肠杆菌(*Escherichia coli*)和鼠伤寒沙门氏菌(*Salmonella typhimurium*),浓度为 5% 的牛至精油是最有效的^[17]。牛至精油还可以通过以下方式抑制耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)^[18]的生长:(1)牛至精油会影响细胞膜的通透性,并对细胞膜造成不可逆转的损害。(2)牛至精油可以通过影响三羧酸循环的代谢产物和关键酶来抑制 MRSA 的呼吸代谢。王新伟等在研究牛至精油对金黄色葡萄球菌的抑制作用时也得出相同的结论^[19]。牛至精油对常见菌种的最低抑菌浓度与最低杀菌浓度见表 1^[20-21]。

在水产养殖中牛至精油同样可以促进鱼类肠道绒毛数量增加并改善肠道菌群结构,促进肠道营养物质吸收,还能够抑制病原微生物生长,提高抗病能力。Gracia-Valenzuela 等研究发现,在对虾基础饲料中添加含不同比例百里香酚和香芹酚(48%:23%、25%:40%)的牛至精油均能够有效抑制对虾组织中 3 种弧菌(创伤弧菌、副溶血性弧

表 1 牛至精油对常见菌种的最低抑菌浓度与最低杀菌浓度

菌种	最低抑菌浓度 (MIC, μ L/L)	最低杀菌浓度 (MBC, μ L/L)
大肠杆菌	250	500
黄曲霉(<i>Aspergillus flavus</i>)	250	500
嗜酸乳杆菌(<i>Lactobacillus acidophilus</i>)	500	1 000
双歧杆菌(<i>Bifidobacterium</i>)	500	700
肠出血性大肠杆菌(EHEC)	500	500
金黄色葡萄球菌	125	250

菌、霍乱弧菌)的生长^[22]。曹升洪等在感染嗜水气单胞菌(*Aeromonas hydrophila*)的罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)基础日粮中添加 150、300 mg/kg 牛至精油,研究表明,止痢草精油可以有效缓解嗜水气单胞菌对罗非鱼的危害,提高罗非鱼成活率^[23]。

2.2 牛至精油的抗氧化作用

牛至精油及其单体化合物的抗氧化作用主要由于其还原能力、自由基清除能力和单线态氧猝灭能力^[24]。香芹酚和百里香酚是牛至精油主要的抗氧化活性基团^[25]。Kulisic 等使用了 β -胡萝卜素漂白(BCB)法、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)法和硫代巴比妥酸(TBARS)法 3 种不同的方法证实了牛至精油具有显著的抗氧化性能,且抗氧化的作用是由于百里酚和香芹酚的存在^[26]。Kavoosi 等研究发现,百里酚和香芹酚能显著降低 LPS 刺激下小鼠巨噬细胞中 NO 的产生以及一氧化氮合酶和 NADH 氧化酶的活性^[27]。

在水产应用方面,牛至精油除了能够增强水产动物的抗氧化能力之外,还能够延缓水产品腐败,延长水产品的贮藏时间。在建鲤(*Cyprinus carpio* Jian)的基础日粮中添加 0.025%、0.050%、0.100% 牛至精油,结果表明,添加牛至精油后建鲤血清的过氧化氢酶和超氧化物歧化酶活性均显著提高,丙二醛含量均显著降低,这表明牛至精油能够显著增强试验鱼血清抗氧化能力,减轻鱼体的脂质过氧化作用^[28]。郑宗林等在红罗非鱼基础日粮中添加 1 000 mg/kg 牛至精油,研究表明,饲料中的牛至精油能够显著抑制红罗非鱼肌肉过氧化的进程,降低鱼体脂肪腐臭味的产生,并延长了红罗非鱼的货架期^[29]。Mexis 等用 0.4% 牛至精油涂布虹鳟鱼片,研究表明,虹鳟鱼片的氧化程度显著降低,且货架期延长 3~4 d^[30]。

2.3 牛至精油的免疫促进作用

植物精油因其免疫促进作用而广泛应用于水

产养殖中。牛至精油可以通过 4 种方式提高机体的免疫力:(1)提高巨噬细胞数目及吞噬能力;(2)增加免疫受体、免疫相关酶的活性;(3)促进免疫器官的生长;(4)减少机体组织和器官的损伤^[31]。Ran 等研究发现一种含有相同百里酚和香芹酚含量的牛至精油能够增强罗非鱼的先天免疫反应,表现为头部肾脏巨噬细胞的吞噬活性和血浆溶菌酶活性提高,以及血清总蛋白、抗蛋白酶等其他非特异性免疫参数的提升^[32]。王芬等研究发现,牛至精油可以通过提高机体吞噬细胞活性、活化炎性细胞对靶细胞的杀伤作用来提高机体的免疫能力^[33]。

牛至精油同样能够提高水产动物的免疫力,提高水产动物抗病能力。徐奇友等在镜鲤(*Cyprinus carpio* var. *specularis*)基础日粮中添加 0.1% 牛至草粉,研究表明 0.1% 牛至草粉显著提高了镜鲤肾脏指数、血清中溶菌酶活性及补体 C₃、C₄ 含量^[34]。Zhang 等在鲤鱼(*C. carpio*)日粮中添加 500、1 500、4 500 mg/kg 牛至精油,研究表明日粮中添加牛至精油会显著提高鲤鱼血清中溶菌酶、以及补体 C₃、C₄ 含量超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性,同时显著降低了丙二醛(MDA)水平^[35]。Mabrok 等在罗非鱼基础日粮中添加 1 g/kg 牛至精油,显著增强了罗非鱼血清溶菌酶活性和抑菌能力,并且增强了鱼体对鳃弧菌的抗性^[36]。

2.4 牛至精油的促生长作用

牛至精油中特有的芳香味能够提高动物的食欲、增强动物的喜食程度,提高进食量;牛至精油所含的蛋白质与维生素,可以补充和完善饲料中的营养水平、促进饵料营养趋向全价化;牛至精油的抗菌作用还能够维持动物肠道菌群平衡,促进营养物质的消化吸收,提高饲料利用率;牛至精油中的百里香酚和香芹酚能够增强肠道上皮细胞对病原微生物的抵抗能力,抑制病原微生物增殖,保障动物肠道正常的消化吸收功能。可见,牛至精油能够促进动物的生长,降低饵料系数,提高动物品质和生产性能。

牛至精油可以提高水产动物的摄食率,降低饵料系数,促进饵料消化吸收。Zheng 等用试验评估了牛至精油对斑点叉尾鲟(*Ictalurus punctatus*)的生长发育的影响,结果表明饲料中添加 5% 牛至精油可显著提高斑点叉尾鲟的生长性能($P < 0.05$)^[37]。吴强强等研究表明在建鲤基础料中添加 0.025%、0.05% 牛至精油能显著提高试验的增质量率和特定

增长率,并且能够降低饲料系数^[28]。Claire 研究发现,在南美白对虾(*Penaeus vannamei*)基础日粮中添加牛至精油后,个体平均质量提高了 10%,饵料系数及增长率得到改善且收虾时间提前了 2 d^[38]。

2.5 牛至精油的抗寄生虫作用

牛至精油除了抑菌、抗氧化等作用外,还能够预防寄生虫疾病。精油中的百里酚和香芹酚可有效杀死线虫,如猪蛔虫^[39]、捻转血矛线虫^[40]、松材线虫^[41]等。牛至精油中的香芹酚和百里香酚可通过调节细胞质代谢途径(例如 ATP 合成)等方式减少寄生虫感染^[42-43]。Gaur 等究发现,牛至精油对小隐孢子虫(*Cryptosporidium parvum*)和艾美尔球虫(*Eimeria tenella*)具有良好的抑制和杀灭作用^[44-45]。

3 存在问题和展望

牛至精油在水产养殖业中的应用推广力度较小。近年来,随着社会的发展,人们日益重视动物源细菌耐药性、产品药物残留对生态系统和消费者健康的影响等问题,因此中草药制剂在绿色健康水产养殖、增强水产动物疾病防控、改善水产动物产品品质等方面会发挥出更大的作用。牛至在我国资源丰富、分布较广,其提取物牛至精油具有显著的抗菌作用且不易产生残留和耐药性,此外牛至精油还具有抗氧化、促进免疫的作用,在医疗、食品保鲜方面都有广泛的应用。因此,将牛至精油应用到水产品生产中便能够有效避免使用抗生素所带来的危害,加快无抗生素化进程,保障产品无药物残留。

牛至精油的许多潜在作用和价值仍须进一步开发。在水产方面,牛至精油作为水产动物的饲料添加剂在促生长、抗病性方面的相关研究较少,作用机理仍待完善。在提取工艺方面,由于不同生产商的提取方法各不相同,市场上牛至精油产品质量参差不齐,有效成分比例也差别较大。因此,牛至精油提取工艺须要进一步规范,制定统一标准,最大程度发挥其潜力。在实际应用中,牛至精油的添加量、稳定性、是否会与其他添加剂产生相互作用、适用条件等也须要继续研究。

综上所述,牛至精油在水产养殖方面有广阔的发展前景,势必产生巨大的应用价值,研究人员应更深入地研究其作用机理及适用剂量,开发出更多的牛至精油产品,加快牛至精油产品的应用及推广进程。

参考文献:

- [1] 徐磊, 孙博悻, 盛鹏程, 等. 湖州地区典型水产养殖池塘中抗菌药物的污染特征[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(11): 210–214.
- [2] 陈国鑫. 水产养殖水中抗生素的残留特性及其去除技术研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2015: 12–22.
- [3] 孙强. 山东省流通环节水产品药物残留现状的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015: 35–40.
- [4] Asensio C M, Grosso N R, Juliani H R. Quality characters, chemical composition and biological activities of oregano (*Origanum* spp.) essential oils from central and southern Argentina[J]. Industrial Crops and Products, 2015, 63: 203–213.
- [5] 韩飞. 中药抗生素牛至油注射亚微乳的制备及药效学研究[D]. 武汉: 湖北中医药大学, 2016: 191–193.
- [6] 孙克年. 牛至及牛至精油在水产养殖中的应用研究[J]. 广东饲料, 2012, 21(6): 38–40.
- [7] Charles D J. Antioxidant properties of spices, herbs and other sources[M]. New York: Springer, 2013: 449–458.
- [8] Mozaffarian V. Identification of medicinal and aromatic plants of Iran[M]. Tehran: Farhang Moaser Publishers, 2012.
- [9] 赵海伊. 牛至精油的制备及体外抗氧化活性的抑菌作用的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012: 27–37.
- [10] 韩飞, 李瑾, 潘悄悄, 等. 新型天然植物抗生素牛至油的研究进展[J]. 中国新药杂志, 2015, 24(3): 303–307.
- [11] Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods—a review[J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 94(3): 223–253.
- [12] 郭俊贤. 精油对水产品特定腐败菌的抑制及其抑菌机理[D]. 广州: 广东工业大学, 2015: 13–19.
- [13] Lu M, Dai T, Murray C K, et al. Bactericidal property of oregano oil against multidrug-resistant clinical isolates[J]. Frontiers in Microbiology, 2018, 9: 2329.
- [14] Govaris A, Solomakos N, Pexara A, et al. The antimicrobial effect of oregano essential oil, nisin and their combination against *Salmonella enteritidis* in minced sheep meat during refrigerated storage[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 137(2/3): 175–180.
- [15] Bendahou M, Muselli A, Grignon-Dubois M, et al. Antimicrobial activity and chemical composition of *Origanum glandulosum* Desf. essential oil and extract obtained by microwave extraction; comparison with hydrodistillation[J]. Food Chemistry, 2008, 106(1): 132–139.
- [16] Dutra T V, Castro J C, Menezes J L, et al. Bioactivity of oregano (*Origanum vulgare*) essential oil against *Alicyclobacillus* spp. [J]. Industrial Crops and Products, 2019, 129: 345–349.
- [17] Marfilia G C, Priscila J S, Fernando L H, et al. Antibacterial activity of oregano essential oil against foodborne pathogens[J]. Nutrition and Food Science, 2013, 43(2): 169–174.
- [18] Cui H Y, Zhang C H, Li C Z, et al. Antibacterial mechanism of oregano essential oil[J]. Industrial Crops and Products, 2019, 139: 111498.
- [19] 王新伟, 刘欢, 魏静, 等. 牛至精油, 香芹酚、柠檬醛和肉桂醛抑菌作用研究[J]. 食品工业, 2010, 31(5): 13–16.
- [20] 吴克刚, 罗敏婷, 魏浩. 8 种植物精油对肠道常见微生物体外抑菌效果的研究[J]. 现代食品科技, 2017, 33(6): 133–141.
- [21] 牛彪, 金川, 梁剑平, 等. 牛至、香茅、丁香精油化学成分及体外抑菌活性研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(3): 46–52.
- [22] Gracia-Valenzuela M H, Vergara-Jiménez M J, Baez-Flores M E, et al. Antimicrobial effect of dietary oregano essential oil against *Vibrio bacteria* in shrimps[J]. Archives of Biological Sciences, 2014, 66(4): 1367–1370.
- [23] 曹升洪, 王婷, 黎翠兰, 等. 止痢草精油对感染嗜水气单胞菌罗非鱼免疫功能的影响[J]. 饲料与畜牧, 2011(8): 8–11.
- [24] Loizzo M R, Menichini F, Conforti F, et al. Chemical analysis, antioxidant, antiinflammatory and anticholinesterase activities of *Origanum ehrenbergii* Boiss and *Origanum syriacum* L. essential oils[J]. Food Chemistry, 2009, 117(1): 174–180.
- [25] Ruben O, Valeria N, Ruben G N. Antioxidant activity of fractions from oregano essential oils obtained by molecular distillation[J]. Food Chemistry, 2014, 156: 212–219.
- [26] Kulisic T, Radonic A, Katalinic V, et al. Use of different methods for testing antioxidative activity of oregano essential oil[J]. Food Chemistry, 2004, 85(4): 633–640.
- [27] Kavooosi G, Teixeira D J, Saharkhiz M J. Inhibitory effects of *Zataria multiflora* essential oil and its main components on nitric oxide and hydrogen peroxide production in lipopolysaccharide-stimulated macrophages[J]. The Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2012, 64(10): 1491–1500.
- [28] 吴强强, 李国富, 吴江, 等. 牛至油对建鲤生长性能和血清抗氧化能力的影响[J]. 湖南农业科学, 2010(5): 136–138.
- [29] 郑宗林, 朱成科, Delbert M, 等. 饲料中添加牛至精油对红罗非鱼货架期的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(22): 203–209.
- [30] Mexis S F, Chouliara E, Kontominas M G. Combined effect of an oxygen absorber and oregano essential oil on shelf life extension of rainbow trout fillets stored at 4 °C[J]. Food Microbiology, 2009, 26(6): 598–605.
- [31] 邓奇凤, 刘志强, 范觉鑫, 等. 牛至油的研究进展及其在猪生产中的应用[J]. 中国猪业, 2018, 13(2): 41–46.
- [32] Ran C, Hu J, Liu W S, et al. Thymol and carvacrol affect hybrid tilapia through the combination of direct stimulation and an intestinal microbiota-mediated effect: insights from a germ-free zebrafish model[J]. The Journal of Nutrition, 2016, 146(5): 1132–1140.
- [33] 王芬, 曾召英, 李昕, 等. 牛至油对东北白鹅免疫器官指数及部分血清生化指标的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2014(12): 54–56.
- [34] 徐奇友, 唐玲, 王常安, 等. 大蒜茎粉和牛至草粉对镜鲤抗氧化、非特异免疫以及肌肉品质的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(增刊2): 133–139.
- [35] Zhang R, Wang X W, Liu L L, et al. Dietary oregano essential oil improved the immune response, activity of digestive enzymes, and intestinal microbiota of the koi carp, *Cyprinus carpio* [J]. Aquaculture, 2020, 518: 734781.

廖怀建,唐楚飞,魏兰君,等. 蝴蝶翅利用太阳热量的研究进展及展望[J]. 江苏农业科学,2021,49(4):12-18.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.04.003

蝴蝶翅利用太阳热量的研究进展及展望

廖怀建¹, 唐楚飞¹, 魏兰君¹, 李凡凡¹, 曹 焱¹, 邓 盼¹, 孙洪武²

(1. 江苏省农业科学院休闲农业研究所, 江苏南京 210014; 2. 江苏省农业科学院, 江苏南京 210014)

摘要:太阳光是地球上所有生物所需能量直接或间接的最主要来源。昆虫利用太阳热量的对策与机制是目前研究的热点。蝴蝶是一种典型的可以直接使用太阳热量用于自主飞行,并影响繁殖的昆虫;不过目前缺少系统阐述蝴蝶利用太阳热量的对策和机制的研究。本文总结前人对蝴蝶翅热量获取机制,以及热量获取对自主飞行发生和蝴蝶繁殖的影响等研究结果,并提出蝴蝶太阳热量利用对策和机制研究的未来展望,为深入研究昆虫太阳热量的对策与机制,提供一种新的研究思路。

关键词:太阳光;蝴蝶翅;热量获取;自主飞行;繁殖

中图分类号: S186 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)04-0012-07

光是地球上所有生物赖以生存和繁衍的最主要的能量来源,地球上生物所需的全部能量,几乎直接或间接地源于太阳光。蝴蝶可以直接使用太阳热量并传递到虫体,用于自主飞行。蝴蝶是鳞翅

目锤角亚目昆虫的通称。蝴蝶由于其体态窈窕、艳丽多姿,还拥有斑斓的色彩图案,给人们的生活创造了美丽,被誉为“虫国佳丽”和“会飞的花朵”,是一种具有较高美学和观赏价值的资源昆虫^[1]。蝴蝶为日间活动昆虫,其飞行、交配和繁殖活动均在白天完成。飞行参与了蝴蝶的生殖活动,包括寻偶、婚飞、交配与产卵^[2]。蝴蝶成虫能量物质包括脂肪和碳水化合物,平均含量为 14% 左右^[3]。蝴蝶成虫体内的能量物质仅能满足繁殖,无法满足参与繁殖的飞行消耗。因此,蝴蝶通过从太阳光中获取热量,来满足蝴蝶自主飞行^[4-7]。因此,热量获取决

收稿日期:2020-05-25

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金(编号:31702072);江苏省农业科学院基本科研业务专项[编号:ZX(2020)2003]。

作者简介:廖怀建(1986—),男,江西上饶人,博士,副研究员,主要从事休闲昆虫与资源利用研究。E-mail:huaixiyu_08@126.com。

通信作者:孙洪武,博士,研究员,主要从事农业科技发展政策研究。E-mail:sunhw0617@sina.com。

[36] Mabrok M A, Wahdan A. The immune modulatory effect of oregano (*Origanum vulgare* L.) essential oil on *Tilapia zillii* following intraperitoneal infection with *Vibrio anguillarum* [J]. *Aquaculture International*, 2018, 26(4): 1147-1160.

[37] Zheng Z L, Tan J Y, Liu H Y, et al. Evaluation of oregano essential oil (*Origanum heracleoticum* L.) on growth, antioxidant effect and resistance against *Aeromonas hydrophila* in channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. *Aquaculture*, 2009, 292(3): 214-218.

[38] Claire Y Y C. Oregano essential oil improves production and disease control [J]. *Feed & feed Ingredients*, 2008, 25: 132-135.

[39] Lei J, Leser M, Enan E. Nematicidal activity of two monoterpenoids and SER-2 tyramine receptor of *Caenorhabditis elegans* [J]. *Biochemical Pharmacology*, 2010, 79(7): 1062-1071.

[40] Camurca - Vasconcelos A F, Bevilacqua C L, Morais S M, et al. Anthelmintic activity of *Croton zehntneri* and *Lippia sidoides* essential oils [J]. *Veterinary Parasitology*, 2007, 148(3): 288-294.

[41] Kong J O, Park I K, Choi K S, et al. Nematicidal and propagation activities of thyme red and white oil compounds toward

Bursaphelenchus xylophilus (nematoda: parasitaphelenchidae) [J]. *Journal of Nematology*, 2007, 39(3): 237-242.

[42] Turina A D, Nolan M V, Zygadlo J A, et al. Natural terpenes: self-assembly and membrane partitioning [J]. *Biophysical Chemistry*, 2006, 122(2): 101-113.

[43] Santoro G F, Das G M, Guimarães L G, et al. Effect of oregano (*Origanum vulgare* L.) and thyme (*Thymus vulgaris* L.) essential oils on *Trypanosoma cruzi* (Protozoa: Kinetoplastida) growth and ultrastructure [J]. *Parasitology Research*, 2007, 100(4): 783-790.

[44] Gaur S, Kuhlenschmidt T B, Kuhlenschmidt M S, et al. Effect of oregano essential oil and carvacrol on *Cryptosporidium parvum* infectivity in HCT-8 cells [J]. *Parasitology International*, 2018, 67(2): 170-175.

[45] Giannenas I, Florou - Paneri P, Papazahariadou M, et al. Effect of dietary supplementation with oregano essential oil on performance of broilers after experimental infection with *Eimeria tenella* [J]. *Archiv fur Tierernahrung*, 2003, 57(2): 99-106.