环境昆虫学报　2025，47（5）：1502-1508　http://hjkcxb.alljournals.net
Journal of Environmental Entomology　doi：10.3969/j.issn.1674-0858.2025.05.15

杨尚宁，林瑞平，魏瑞珂，郑火青．百里酚在养蜂生产中的应用及其研究进展[J].环境昆虫学报，2025，47（5）：1502-1508. YANG Shang-Ning, LIN Rui-Ping, WEI Rui-Ke, ZHENG Huo-Qing. Application and research progress of thymol in beekeeping practices [J]. *Journal of Environmental Entomology*，2025，47（5）：1502-1508.

百里酚在养蜂生产中的应用及其研究进展

杨尚宁[1]，林瑞平[2]，魏瑞珂[1]，郑火青[1*]
（1. 浙江大学动物科学学院，杭州 310058；2. 平湖市畜牧兽医站，浙江平湖 314200）

摘要：蜂群健康是养蜂生产的基础。传统化学药物在蜂群中的使用易造成蜂产品污染及蜜蜂病原产生抗药性的问题，安全性较高的天然产物在保障蜂群健康及蜂产品质量安全方面有很大的潜力。天然产物百里酚安全性高，且有抗菌、杀螨作用，在国外的养蜂生产中已经得到广泛应用。本文总结了百里酚防治蜜蜂病虫害的作用、百里酚对蜜蜂的影响以及百里酚在蜂产品中的残留情况的研究进展，以期为推进百里酚在我国养蜂生产中的应用及相应产品开发提供借鉴。

关键词：百里酚；狄斯瓦螨；西方蜜蜂；天然产物
中图分类号：Q968.1　**文献标识码**：A　**文章编号**：1674-0858（2025）05-1502-07

Application and research progress of thymol in beekeeping practices

YANG Shang-Ning[1], LIN Rui-Ping[2], WEI Rui-Ke[1], ZHENG Huo-Qing[1*] (1. College of Animal Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Pinghu Animal Husbandry and Veterinary Station, Pinghu 314200, Zhejiang Province, China)

Abstract: The health of honeybee colonies is crucial to beekeeping practices. The use of conventional chemical treatments in honeybee colonies may lead to residues in honeybee products and induce drug resistance in pathogens. In contrast, natural products with higher safety profiles offer promising potential for maintaining both colony health and the quality of honeybee products. Thymol, a natural compound known for its high safety, exhibits antimicrobial and acaricidal effects and has been widely adopted in beekeeping overseas. This paper reviews the research advances in thymol's effectiveness in controlling honeybee diseases and pests, its effects on honeybees, and the residual concentrations of thymol detected in honeybee products. We aim to provide a comprehensive review to promote the adoption of thymol in Chinese beekeeping industry and encourage the innovation of related products.

Key words: Thymol; *Varroa destructor*; *Apis mellifera*; natural products

蜂群健康是养蜂生产获得经济效益的前提条件，而因受蜂产品质量安全和药物对蜜蜂安全性两方面的双重制约，蜜蜂病虫害防控药物的开发进展缓慢。植物源物质因其安全水平较高，在养蜂生产中有很大的应用潜力，是蜜蜂病虫害防控产品开发的重要选项。

百里酚（Thymol，5-甲基-2-异丙基苯酚），又名百里香酚、麝香草酚，是一种源于多种植物如唇形科的百里香、麝香草和牛至以及伞形科粗果芹种子中的天然单帖酚类化合物。作为一种具有生物活性的成分，百里酚对细菌（Kachur and Suntres，2020）、真菌（Marchese *et al.*，2016）、

基金项目：国家蜂产业技术体系专项（CARS-44）；平湖市农业科技合作项目（PH20220006）
作者简介：杨尚宁，男，硕士研究生，研究方向为蜜蜂疾病防控，E-mail：yangsn@zju.edu.cn
*通讯作者 Author for correspondence：郑火青，博士，教授，主要研究方向为蜜蜂疾病与健康，E-mail：hqzheng@zju.edu.cn
收稿日期 Received：2024-08-01；修回日期 Revision received：2024-10-18；接受日期 Accepted：2024-10-21

螨虫等都有一定的抑制作用，且对人体安全性较高（Salehi *et al.*，2018）。并且，美国食品和药物管理局（United States Food and Drug Administration，FDA）将百里酚列入了一般公认的安全类添加剂清单（Generally Recognized As Safe，GRAS）（Escobar *et al.*，2020）。由于百里酚的杀螨、抑菌等活性及其较高的安全性，百里酚在养蜂生产中的应用广受关注，并有较多研究，在国际上已被开发成多种抗瓦螨产品，如意大利的Apilife VAR、英国的Apiguard、瑞士的Thymovar等。本文对百里酚抗蜜蜂病虫害作用、对蜜蜂的影响以及在蜂产品中的残留等研究内容进行综述，以期为推进百里酚在我国养蜂生产中的应用提供借鉴。

1 百里酚防治蜜蜂病虫害作用

1.1 防治蜂螨作用

狄斯瓦螨 *Varroa destructor* 是蜜蜂的外寄生虫，吸食蜜蜂的脂肪体和血淋巴，并在取食时传播蜜蜂病毒，影响蜜蜂的健康，对西方蜜蜂 *Apis mellifera* 造成严重危害。由于传统杀螨剂对蜂产品的污染及瓦螨逐渐出现的耐药性，天然产物作为潜在的杀螨剂得到关注，其中百里酚是目前作为蜂药开发研究得较多的天然产物之一。

早在1984年，Marchetti等（1984）就对百里酚在蜂群中的应用进行了初探，研究人员使用百里酚晶体对蜂群进行处理（15 g/蜂箱），发现百里酚相较于传统化学合成杀螨剂起效较慢且效果较差（Marchetti *et al.*，1984）。但在1991年的一项研究中，使用百里酚粉末（0.5 g/巢脾）得到了显著的杀螨效果（Chiesa and D′Agaro，1991）。Rickli等（1991）也首次对以百里酚为主要成分的商业杀螨剂（Apilife VAR）进行了杀螨效果的测试，得到了较好的效果（Rickli *et al.*，1991）。随后，百里酚作为杀螨剂的使用受到了关注，多个国家都相继开发出以百里酚为主要原料的杀螨剂（表1）。

表1 商业百里酚抗螨产品

Table 1 Commercial acaracides based on thymol

产品 Product	国家 Nation	主要成分 Main component	基质 Matrix
Apilife VAR	意大利 Italy	百里酚8 g、桉树精油1.72 g、左旋薄荷醇0.39 g、樟脑0.39 g/片 Thymol 8 g, eucalyptus essential oil 1.72 g, levomenthol 0.39 g, camphor 0.39 g / strip	膨胀酚醛树脂 Expanded phenolic resin
Apiguard	英国 Britain	百里酚（25%）Thymol（25%）	缓释凝胶 Slow-release gel
Thymovar	瑞士 Switzerland	百里酚15 g/片 Thymol 15 g/strip	纤维素薄片 Cellulose wafers
Ecostop	保加利亚 Bulgaria	百里酚5 g、胡椒薄荷油2 g/片 Thymol 5 g, Peppermint oil 2 g/strip	羟乙基纤维素、二水合硫酸钙、膨润土等 Hydroxyethyl cellulose, calcium sulfate dihydrate, Bentonite, etc

2019年，美国的一项调查研究表明，百里酚是最常被采用的杀螨剂（占调查对象的35.3%），并且在冬季使用时会使蜂群死亡率保持较低的水平（Haber *et al.*，2019）。次年，Sabahi等（2020）的研究表明百里酚粉剂（6 g/蜂箱）和甘油剂（6 g/蜂箱），均表现出良好的杀螨效果，其效果优于草酸和牛至油，并且在越冬蜂群的应用中，使用百里酚的蜂群表现出高存活率和较强群势（Sabahi *et al.*，2020）。最近，一项在秋季使用百里酚凝胶或化学合成杀螨剂Apistan（氟胺氰菊酯）进行治螨的研究经过70 d的试验发现，百里酚的杀螨效果与Apistan相当（Khajehali *et al.*，2023）。多种剂型的百里酚在治螨效果上都表现出优良的效果，展现了百里酚作为杀螨剂的优势。

进一步的研究发现，百里酚处理（10 g/蜂箱）后，从蜂群内成年蜜蜂、封盖子的瓦螨寄生率以及箱底的落螨数来看，百里酚有较好的治螨效果，但其对封盖子内瓦螨的防治效果低于甲酸处理（Airahuacho *et al.*，2023）。并且，Hýbl等（2021）在实验室中测定30种精油对蜜蜂和瓦螨毒性的比

值的结果显示，薄荷油、麦卢卡油、牛至油等精油在具备优异杀螨效果的同时，其对蜜蜂的选择性毒性优于百里酚（Hýbl *et al.*，2021）。

针对百里酚对封盖子内瓦螨的防治效果较差以及其选择性毒性稍弱的问题，与其他天然产物的共同使用是一项可选策略。Toomemaa（2019）探究了草酸与百里酚的协同效应，结果表明二者混合的低浓度溶液杀螨效果显著优于单一成分溶液（Toomemaa，2019）。在百里酚与香芹酚按照1∶1比例使用时，对螨的毒性是传统杀螨剂氟胺氰菊酯的三倍之多（Begna *et al.*，2023）。春季分别使用百里酚凝胶、百里酚-薄荷醇-桉树精油混合物凝胶以及百里酚和百里香精油混合物凝胶处理蜂群时，混合精油凝胶与Apistan治螨效果均好于对照组以及百里酚凝胶组（Khajehali *et al.*，2023）。

另有一些研究还关注了市面上存在的多种商品化百里酚杀螨剂的实际效果。利用Apiguard和Apilife VAR处理蜂群后，封盖子和成年蜜蜂的蜂螨寄生率都显著下降（Floris *et al.*，2004）。在克罗地亚5个不同地理及气候条件的蜂场进行的田间试验中，研究人员比较了Apilife VAR、Apiguard和Thymovar 3种螨药的效果，结果显示Apiguard的效果明显低于另外两种药物，且杀螨剂的实际功效受到地理位置和天气状况的影响（Tlak Gajger *et al.*，2019）（表1）。

百里酚杀螨的机制也已得到一定的解析。昆虫RDL（Resistance to dieldrin）受体是Cys-loop配体门控离子通道超家族（Cys-loop ligand gated ion channel superfamily）的一员，该受体是多种杀虫剂的重要靶标（Cens *et al.*，2022）。2014年，Price等克隆并鉴定了瓦螨的RDL亚基M2区基因，该基因与典型昆虫RDL受体在受体孔道内衬区域氨基酸序列上存在4个差异氨基酸残基，通过定点突变发现，其中一个残基的改变导致了百里酚对RDL受体的作用产生了变化。2022年，该团队又对比了百里酚对瓦螨RDL受体亚基和西方蜜蜂RDL受体亚基的电生理作用，发现其有所不同，由此推测百里酚施用于蜂群时对瓦螨特异性的高效杀灭活性可能是由于RDL受体的变化而导致的（Price and Lummis，2014，2022）。但目前百里酚杀螨的具体机制还不是很清晰，需要有更多的研究进行探索。

1.2 抗病毒作用

蜂群中存在的多种病毒对蜜蜂的健康造成了严重危害，如造成蜜蜂翅畸形的残翅病毒（Deformed wing virus，DWV）、致使蜜蜂幼虫死亡的囊状幼虫病毒（Sacbrood virus，SBV）以及导致蜜蜂震颤麻痹死亡的以色列急性麻痹病毒（Israeli acute paralysis virus，IAPV）等。值得注意的是，除了杀螨活性之外，部分研究显示百里酚同样具备一定的抗蜜蜂病毒潜力，对抑制蜜蜂病毒增殖有一定作用。

在夏威夷无瓦螨蜂群中使用百里酚产品Apiguard 30 d后，蜜蜂体内的急性蜜蜂麻痹病毒（Acute Bee Paralysis Virus，ABPV）和囊状幼虫病毒载量出现下降趋势，且蜜蜂细胞色素P450超家族基因（与环境应答有关，如农药抗性）和蛋白激酶超家族基因（与细胞信号转导、生物学过程调控有关）、细胞免疫和免疫信号级联反应的相关基因表达发生相应的变化（Boncristiani *et al.*，2012），暗示了百里酚可能通过调节蜜蜂的免疫起到抗病毒作用。在实验室条件下，对分别感染了Flock House virus（FHV）、DWV和Sindbis virus（SINV）的蜜蜂进行了百里酚（0.16 ppb）饲喂后，各组病毒载量明显下降，并且RNA干扰关键基因、抗菌肽基因及卵黄原蛋白基因表达水平都有所提高，表明百里酚能够增强蜜蜂的免疫系统从而抵抗这些病毒感染（Parekh *et al.*，2021）。黄知楚等（2024）从9种天然产物中筛选出抗蜜蜂病毒效果较好的百里酚，发现人工接种IAPV的蜜蜂摄入含百里酚的糖水后，与对照组相比，IAPV病毒载量显著降低；同时对于自然感染IAPV和SBV的蜜蜂，取食含百里酚的糖水后，病毒载量均显著下降，而且与蜜蜂健康密切相关的卵黄原蛋白基因显著上调。以上的结果表明，百里酚可能通过抑制病毒的增殖、提高蜜蜂健康程度以起到抗病毒效果。

然而，在Hsieh等（2020）的实验室研究中，无论是预防性地饲喂还是治疗性地饲喂低剂量及高剂量的百里酚，对于感染了IAPV的蜜蜂存活率并没有统计学意义上的显著提升。另有研究表明，冬季在蜂群中使用百里酚，瓦螨的防治效果并不理想，且DWV和IAPV这两种蜜蜂病毒感染率无显著好转（Al Naggar *et al.*，2015），这可能和低温造成的百里酚挥发减缓有关。此外，不同研究所

得结论不一致的情况还可能与其他实验条件，特别是蜜蜂所处的状态、用药剂量有关。百里酚抗蜜蜂病毒的作用还有待进一步研究确认。

1.3 防控蜜蜂其它病虫害的作用

除了瓦螨和病毒，百里酚在蜜蜂其他病虫害的防治中也有一定的效果。在一项研究天然产物对欧洲幼虫腐臭病相关细菌的抑制效果的工作中，百里酚显示出了较高的抑菌活性（Wiese *et al.*，2018）。在对抗大蜡螟 *Galleria mellonella* 方面，Sohail等（2021）的结果显示百里酚在所测试的8种天然产物中对大蜡螟成虫表现出最高的毒性。被微孢子虫 *Nosema ceranae* 感染的蜜蜂，摄入百里酚后，免疫相关基因表达上调，氧化应激反应增强，微孢子虫孢子载量显著降低（Glavinic *et al.*，2022）。百里酚在防治各种蜜蜂病虫害中展现的良好效果，表明了其在维护蜂群健康中的应用潜力。

2 百里酚对蜜蜂的影响

2.1 对成年工蜂的影响

工蜂在蜂群中承担了除繁殖和交配外的所有职能，对蜂群的稳定发展起着至关重要的作用。百里酚具有较强挥发性，在蜂箱内使用时会刺激蜜蜂增强扇风行为，以排出巢内百里酚蒸汽，在温度较高时（超过27℃）使用百里酚会导致蜜蜂死亡率增加（Ellis and Baxendale，1997）。在实验室条件下，通过饲喂的方法测试百里酚对蜜蜂的口服毒性，发现1 000 ppm的百里酚对蜜蜂无毒（Ebert *et al.*，2007）。另有报导，只有在远高于常规治螨剂量的情况下，百里酚才会导致大量蜜蜂死亡（Glavan *et al.*，2020）。

百里酚对工蜂卫生行为等能力还有促进作用。百里酚（Apiguard）的使用未改变蜂群清除死亡成年蜜蜂的能力，但对死亡蛹的开盖效率以及死亡蜂子的清除效率得到了提高（Colin *et al.*，2019）。并且，百里酚的处理会减轻溶剂乙醇对工蜂带来的卫生行为减退问题（Gashout *et al.*，2020a）。Colin等（2020）的研究表明，蜜蜂视觉能力并不会由于百里酚的单独使用而受到直接损害，但百里酚与吡虫啉联用则会使之降低。记忆能力是蜜蜂进行复杂行动的基础，Gashout等（2020b）通过PER试验分别测定了氟胺氰菊酯、双甲脒、蝇毒磷、甲酸以及百里酚5种合成或天然的杀螨剂对蜜蜂记忆能力的影响，发现百里酚是唯一不对蜜蜂记忆造成影响的药物。同时，也有研究发现，对成年蜜蜂饲喂含百里香精油的糖水，并不影响蜜蜂取食花蜜和花粉的量（Martin Ewert *et al.*，2023）。以上研究表明，百里酚在增强工蜂卫生行为的同时，并不会影响工蜂的其他一些基础能力，有利于蜂群正常的运行。

除对蜜蜂的毒性以及对蜜蜂行为的影响之外，也有学者在基因、肠道微生物、细胞等水平上对百里酚的作用进行了研究。Glavan等（2020）的研究发现，百里酚的使用提高了蜜蜂头部乙酰胆碱酯酶（AChE）和解毒酶谷胱甘肽S-转移酶（GST）活性，表明百里酚可能对蜜蜂起到调节神经系统及解毒的作用。但在另一项研究中，百里酚饲喂导致蜜蜂脂肪体减少以及与免疫和健康相关的3个重要基因（*Vg*、*proPO*和*G0x*）表达量的降低（Canché-Collí *et al.*，2021）。所以，百里酚对蜜蜂健康的影响还需更清晰的认识。肠道微生物在维持蜜蜂健康方面起到了重要作用，Ewert等（2023）对成年蜜蜂饲喂含百里香精油的糖水，发现饲喂含高剂量百里香精油（3 000 μg/mL）或低剂量百里香精油（100 μg/mL）的糖水均未对蜜蜂的8种核心肠道微生物的丰度产生显著影响，但是高剂量百里香精油处理组的*Lactobacillus* Firm-5含量有上升趋势，Alpha 2.1含量有下降趋势，表明百里香精油对蜜蜂的肠道微生物群具有影响。Glavinić等（2023）测试了百里酚对蜜蜂连续细胞系AmE-711的毒性，未发现细胞毒性以及抗原性毒性；在低浓度下未显示遗传毒性，但在高浓度下显示出了遗传毒性。

以上研究表明，百里酚通常情况下对蜜蜂是无害的，但是过高浓度的百里酚也会对蜜蜂造成不良的影响。这也提醒我们在蜂群中使用百里酚时要选择适当方法以及剂量，并需要进一步探究百里酚的作用机理，以更明晰百里酚对蜜蜂的影响。

2.2 对蜂王和雄蜂的影响

Whittington等（2000）研究指出，使用百里香油喷雾处理蜂群时导致了一半的蜂王损失。但在一项测试杀螨剂对蜂王和工蜂的毒性的实验中，发现百里酚对蜂王的毒性（LD_{50}=3 240 μg/g）远低于传统杀螨剂双甲脒（LD_{50}=21.8 μg/g）和氟胺氰菊酯（LD_{50}=586 μg/g），且其对蜂王的毒性也远低

于对工蜂的毒性（LD_{50}=524 μg/g）（Dahlgren *et al.*，2012）。Giacomelli等（2016）研究表明，使用Apiguard连续处理蜂群20 d，没有发现蜂王死亡的现象。基于以上研究可知，百里酚对蜂王的毒性较弱，但有可能会因为其气味过大，使蜂群混乱而导致蜂王逃飞，因此在蜂群中使用百里酚需注意其用量以及剂型。

对于雄蜂，Burley等（2008）使用Apilife Var处理蜂群后，捕捉雄蜂并收集其精液，室温下储存6周，每周检测精子活力，发现Apilife Var处理组精子活力并未显著低于对照组（Burley *et al.*，2008）。同时，Johnson等（2013）给1–4日龄成年雄蜂饲喂亚致死剂量的6种杀螨剂（氟胺氰菊酯、蝇毒磷、唑螨酯、双甲脒、草酸和百里酚），并在标记后放回蜂群，2–3周后重新收回检测，发现各处理组重捕雄蜂的精子活力均未受影响，且百里酚增加了雄蜂再次被捕获的可能性，可能是百里酚的饲喂增强了雄蜂的活力。

2.3 对蜜蜂幼虫的影响

蜜蜂幼虫的数量与蜂群的发展紧密相关。Floris等（2004）使用Apiguard和Apilife VAR处理蜂群，发现封盖子的数量显著减少，这可能是由于百里酚增强了成年蜜蜂的卫生行为而导致。另一项研究根据蜂群内使用百里酚后花蜜、花粉中百里酚的残留量估算幼虫的百里酚摄入量，结果表明幼虫对百里酚的摄入量远低于会造成危害的剂量（Charpentier *et al.*，2014）。在悉尼无瓦螨分布地区，秋季使用百里酚并未对蜂群内的幼虫、蛹以及成年蜜蜂的数量和食物储存造成不利影响（Colin *et al.*，2021）。综上所述，百里酚的使用并不会导致蜜蜂幼虫因中毒而受到严重影响，但可能会增强工蜂的卫生行为，致使更多的幼虫和蛹被拖出。

3 百里酚在蜂产品中的残留情况

百里酚虽然被列入GRAS清单，但过量的百里酚会导致蜂产品风味的改变，因此蜂产品中百里酚的残留依旧需要关注。百里酚有较好的挥发性，Apiguard和Apilife VAR在蜂群中使用1周后的平均释放量分别为50%和85%，蜂群蜂蜜中的百里酚平均含量分别为3.07 mg/kg和1.97 mg/kg，随着百里酚的挥发，第2周再次测试时百里酚平均含量显著降低至0.89 mg/kg和0.75 mg/kg，低于百里酚味觉阈值1.1~1.3 mg/kg（Floris *et al.*，2004）。同时，Adamczyk等（2005）分别在蜂群中使用Apilife Var、百里酚橄榄油溶液、百里酚酒精溶液，测得蜂蜜内百里酚平均含量分别为2.8 μg/g、2.6 μg/g、2.5 μg/g，均低于食品中含量的标准上限50 mg/kg，但高于百里酚味觉阈值1.1~1.3 μg/g，可能会使蜂蜜产生涩味和类似药物的味道。在瑞士的一项对商品蜂蜡的脂溶性杀螨剂含量的长期调查（1993–2019年）中发现，百里酚含量在2009年达到顶峰(87.5 mg/kg)，随后便逐年降低。究其原因，可能是由于甲酸能作用于封盖内的瓦螨，而百里酚不能，导致瑞士的蜂农更倾向于使用甲酸治螨。同时，该研究为了探究蜂蜡中残留的百里酚对蜂蜜的影响，给蜂群提供了百里酚含量为500 mg/kg（高于所调查蜂蜡百里酚含量的最高值）的蜂蜡筑巢，两个月后测定蜂蜜中百里酚含量仅为0.01~0.05 mg/kg，未超过改变蜂蜜风味的阈值，表明蜂蜡中残留的百里酚对蜂蜜造成的影响可忽略不计（Kast *et al.*，2021）。以上的研究表明，百里酚会残留于蜂蜜以及蜂蜡中，虽然其含量不易超过食品中百里酚含量的上限，但有可能超过百里酚的味觉阈值，从而影响蜂蜜风味。因此，百里酚在养蜂生产中的使用剂量需要得到一定的控制。但目前并没有关于百里酚在蜂王浆以及蜂胶中残留的研究，需开展相关试验，以全面评估百里酚在蜂产品中的残留风险。

4 总结与展望

化学合成杀螨剂在蜂群中的长期使用造成了蜂产品的药物污染及瓦螨耐药性升高的问题，开发新的杀螨药物对养蜂生产有着重要的意义。百里酚作为一种天然产物具有较好的安全性和高效杀螨力，同时对自然环境及蜂群内环境影响较小。因此，百里酚是传统化学杀螨剂的一种很有潜力的替代品，在养蜂生产中有重要应用价值。

结合前人的研究及市售产品来看，5~10 g剂量的百里酚可以粉末状直接用于框梁或溶解于乙醇、甘油等溶剂并吸附于棉片后置于框梁上使用。当以凝胶等可起到缓释作用的物质为基质时，百里酚的剂量可增至10~15 g，以获得更持久的药效。但百里酚在蜂群中的扩散也受到气温的影响，

因此其用量应随气温的变化灵活调整，以确保其药效和安全性。同时，百里酚也可与桉树精油、草酸、香芹酚等物质配伍使用以增强其药效。后续可通过优化剂型及探索新的配伍作用物质的方式，进一步开发百里酚在蜜蜂病虫害防治方面的潜力。并且，鉴于百里酚在一定条件下对蜜蜂健康的潜在风险，以及可能对蜂产品品质产生的影响，未来的研究应当进一步探索百里酚的作用机制，以开发更加精准和安全的用药策略。

此外，东方蜜蜂*Apis cerana*作为本土蜂种在我国广泛饲养，由于其蜂箱底易积累蜡屑的特性而受到大蜡螟的严重危害。百里酚在大蜡螟的防控中展现出优良的作用，但目前关于百里酚对东方蜜蜂影响的研究仍然存在空缺。相关工作的开展可以更全面地评估百里酚用于防治东方蜜蜂主要虫害大蜡螟的可行性，以推动百里酚更好地应用于我国养蜂业中。

参考文献（References）

Adamczyk S, Lázaro R, Pérez-Arquillué C, *et al.* Evaluation of residues of essential oil components in honey after different anti- *Varroa* treatments [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53 (26): 10085-10090.

Airahuacho BF, Jiménez TV, Rubina AS, *et al.* Evaluation of natural alternative products in the control of *Varroa destructor* in honey bees (*Apis mellifera*) [J]. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 2023, 34 (3): e23741.

Al Naggar Y, Tan Y, Rutherford C, *et al.* Effects of treatments with Apivar® and Thymovar® on *V. destructor* populations, virus infections and indoor winter survival of Canadian honey bee (*Apis mellifera* L.) colonies [J]. *Journal of Apicultural Research*, 2015, 54 (5): 548-554.

Begna T, Ulziibayar D, Bisrat D, *et al.* Acaricidal toxicity of four essential oils, their predominant constituents, their mixtures against *Varroa* Mite, and their selectivity to honey bees (*Apis cerana* and *A. mellifera*) [J]. *Insects*, 2023, 14 (9): 735.

Boncristiani H, Underwood R, Schwarz R, *et al.* Direct effect of acaricides on pathogen loads and gene expression levels in honey bees *Apis mellifera* [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2012, 58 (5): 613-620.

Burley L, Fell R, Saacke R. Survival of honey bee (Hymenoptera: Apidae) spermatozoa incubated at room temperature from drones exposed to miticides [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2008, 101 (4): 1081-1087.

Canché -Collí C, Estrella-Maldonado H, Medina-Medina LA, *et al.* Effect of yeast and essential oil-enriched diets on critical determinants of health and immune function in Africanized *Apis mellifera* [J]. *PeerJ*, 2021, 9: e12164.

Cens T, Chavanieu A, Bertaud A, *et al.* Molecular targets of neurotoxic insecticides in *Apis mellifera* [J]. *European Journal of Organic Chemistry*, 2022, 2022 (21): e202101531.

Charpentier G, Vidau C, Ferdy J-B, *et al.* Lethal and sub-lethal effects of thymol on honeybee (*Apis mellifera*) larvae reared *in vitro* [J]. *Pest Management Science*, 2014, 70 (1): 140-147.

Chiesa F, D'Agaro M. Effective control of varroatosis using powdered thymol [J]. *Apidologie*, 1991, 22 (2): 135-145.

Colin T, Forster CC, Westacott J, *et al.* Effects of late miticide treatments on foraging and colony productivity of European honey bees (*Apis mellifera*) [J]. *Apidologie*, 2021, 52 (2): 474-492.

Colin T, Lim MY, Quarrell SR, *et al.* Effects of thymol on European honey bee hygienic behaviour [J]. *Apidologie*, 2019, 50 (2): 141-152.

Colin T, Plath JA, Klein S, *et al.* The miticide thymol in combination with trace levels of the neonicotinoid imidacloprid reduces visual learning performance in honey bees (*Apis mellifera*) [J]. *Apidologie*, 2020, 51 (4): 499-509.

Dahlgren L, Johnson RM, Siegfried BD, *et al.* Comparative toxicity of acaricides to honey bee (Hymenoptera: Apidae) workers and queens [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2012, 105 (6): 1895-1902.

Ebert TA, Kevan PG, Bishop BL, *et al.* Oral toxicity of essential oils and organic acids fed to honey bees (*Apis mellifera*) [J]. *Journal of Apicultural Research*, 2007, 46 (4): 220-224.

Ellis MD, Baxendale FP. Toxicity of seven monoterpenoids to tracheal mites (Acari: Tarsonemidae) and their honey bee (Hymenoptera: Apidae) hosts when applied as fumigants [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1997, 90 (5): 1087-1091.

Escobar A, Pérez M, Romanelli G, *et al.* Thymol bioactivity: A review focusing on practical applications [J]. *Arabian Journal of Chemistry*, 2020, 13 (12): 9243-9269.

Ewert AM, Simone-Finstrom M, Read Q, *et al.* Effects of ingested essential oils and propolis extracts on honey bee (Hymenoptera: Apidae) health and gut microbiota [J]. *Journal of Insect Science*, 2023, 23 (6): 15.

Floris I, Satta A, Cabras P, *et al.* Comparison between two thymol formulations in the control of *Varroa destructor*: effectiveness, persistence, and residues [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2004, 97 (2): 187-191.

Gashout HA, Guzman-Novoa E, Goodwin PH, *et al.* Impact of sublethal exposure to synthetic and natural acaricides on honey bee (*Apis mellifera*) memory and expression of genes related to memory [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2020b, 121: 104014.

Gashout HA, Guzman-Novoa E, Goodwin PH. Synthetic and natural acaricides impair hygienic and foraging behaviors of honey bees [J]. *Apidologie*, 2020a, 51 (6): 1155-1165.

Giacomelli A, Pietropaoli M, Carvelli A, *et al.* Combination of thymol treatment (Apiguard®) and caging the queen technique to fight

Varroa destructor [J]. *Apidologie*, 2016, 47 (4): 606-616.

Glavan G, Novak S, Božič J, *et al.* Comparison of sublethal effects of natural acaricides carvacrol and thymol on honeybees [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2020, 166: 104567.

Glavinic U, Blagojevic J, Ristanic M, *et al.* Use of thymol in *Nosema ceranae* control and health Improvement of infected honey bees [J]. *Insects*, 2022, 13 (7): 574.

Glavinić U, Rajković M, Ristanić M, *et al.* Genotoxic potential of thymol on honey bee DNA in the comet assay [J]. *Insects*, 2023, 14 (5): 451.

Haber AI, Steinhauer NA, vanEngelsdorp D. Use of chemical and nonchemical methods for the control of *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) and associated winter colony losses in U.S. beekeeping operations [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2019, 112 (4): 1509-1525.

Hsieh EM, Berenbaum MR, Dolezal AG. Ameliorative effects of phytochemical ingestion on viral infection in honey bees [J]. *Insects*, 2020, 11 (10): 698.

Huang ZC, Zhou NH, Liu Y, *et al.* Natural products screening with resistance to honeybee viruses [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2024, 36 (1): 67-74. [黄知楚, 周倪红, 刘瑶, 等. 抗蜜蜂病毒天然产物的初步筛选研究 [J]. 浙江农业学报, 2024, 36 (1): 67-74]

Hýbl M, Bohatá A, Rádsetoulalová I, *et al.* Evaluating the efficacy of 30 different essential oils against *Varroa destructor* and honey bee workers (*Apis mellifera*) [J]. *Insects*, 2021, 12 (11): 1045.

Johnson RM, Dahlgren Lizette, Siegfried BD, *et al.* Effect of in-hive miticides on drone honey bee survival and sperm viability [J]. *Journal of Apicultural Research*, 2013, 52 (2): 1-9.

Kachur K, Suntres Z. The antibacterial properties of phenolic isomers, carvacrol and thymol [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020, 60 (18): 3042-3053.

Kast C, Kilchenmann V, Charrière J. Long-term monitoring of lipophilic acaricide residues in commercial Swiss beeswax [J]. *Pest Management Science*, 2021, 77 (9): 4026-4033.

Khajehali J, Poorjavad N, Bolandnazar A, *et al.* Efficiency of plant-based acaricide gels compared to fluvalinate-impregnated strips for control of *Varroa destructor* in honey bee colonies [J]. *Experimental and Applied Acarology*, 2023, 91 (1): 57-67.

Marchese A, Orhan IE, Daglia M, *et al.* Antibacterial and antifungal activities of thymol: A brief review of the literature [J]. *Food Chemistry*, 2016, 210: 402-414.

Marchetti S, Barbattini R, D' Agaru M. Comparative effectiveness of treatments used to control *varroa jacobsoni* oud [J]. *Apidologie*, 1984, 15 (4): 363-378.

Parekh F, Daughenbaugh KF, Flenniken ML. Chemical stimulants and stressors impact the outcome of virus infection and immune gene expression in honey bees (*Apis mellifera*) [J]. *Frontiers in Immunology*, 2021, 12: 747848.

Price KL, Lummis SCR. An atypical residue in the pore of *Varroa destructor* GABA-activated RDL receptors affects picrotoxin block and thymol modulation [J]. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2014, 55: 19-25.

Price KL, Lummis SCR. Characterisation of thymol effects on RDL receptors from the bee parasite *Varroa destructor* [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2022, 183: 105064.

Rickli M, Imdorf A, Kilchenmann V. *Varroa*-Bekämpfung mit komponenten von ätherischen Ölen [J]. *Apidologie*, 1991, 22 (4): 417-421.

Sabahi Q, Morfin N, Emsen B, *et al.* Evaluation of dry and wet formulations of oxalic acid, thymol, and oregano oil for *Varroa* mite (Acari: Varroidae) control in honey bee (Hymenoptera: Apidae) colonies [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2020, 113 (6): 2588-2594.

Salehi B, Mishra AP, Shukla I, *et al.* Thymol, thyme, and other plant sources: Health and potential uses [J]. *Phytotherapy Research*, 2018, 32 (9): 1688-1706.

Sohail M, Aqueel MA, Dai P, *et al.* The larvicidal and adulticidal effects of selected plant essential oil constituents on greater wax moths [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2021, 114 (1): 397-402.

Tlak Gajger I, Svečnjak L, Bubalo D, *et al.* Control of *Varroa destructor* mite infestations at experimental apiaries situated in Croatia [J]. *Diversity*, 2019, 12 (1): 12.

Toomemaa K. The synergistic effect of weak oxalic acid and thymol aqueous solutions on *Varroa* mites and honey bees [J]. *Journal of Apicultural Research*, 2019, 58 (1): 37-52.

Whittington R, Winston M, Melathopoulos A, *et al.* Evaluation of the botanical oils neem, thymol, and canola sprayed to control *Varroa jacobsoni* Oud. (Acari: Varroidae) and *Acarapis woodi* (Acari: Tarsonemidae) in colonies of honey bees (*Apis mellifera* L., Hymenoptera: Apidae) -all databases [J]. *American Bee Journal*, 2000, 140 (7): 567-572.

Wiese N, Fischer J, Heidler J, *et al.* The terpenes of leaves, pollen, and nectar of thyme (*Thymus vulgaris*) inhibit growth of bee disease-associated microbes [J]. *Scientific Reports*, 2018, 8 (1): 14634.