

83-90

19624(13)

第17卷第1期
1997年1月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 17, No. 1
Jan., 1997

蜜蜂化学生态学——化学通讯与信息素研究进展*

孟宪佐

(中国科学院动物研究所, 北京, 100080)

S891.5; Q969.547.7

A

摘要 概括了蜜蜂化学生态学的主要研究内容和领域, 重点评述了蜂群内的化学通讯和蜜蜂信息素研究的进展。迄今, 已经鉴定的蜂王信息素有 9-氧代-(反)-2-癸烯酸(9-ODA), R(-)-9-羟基癸烯酸(R(-)-9HDA), S(+)-9-羟基癸烯酸(S(+)-9HDA), 对-羟基苯甲酸甲酯(HOB)和 4-羟基-3-甲氧苯基乙醇(HVA)等 5 种; 工蜂那氏信息素有牻牛醇, 橙花醇, (反, 反)-法尼醇, (反)-柠檬醛, (顺)-柠檬醛, 牻牛酸和橙花酸等 7 种; 兵蜂报警信息素 20 余种, 多为低分子量的乙酸酯和醇, 如乙酸正丁酯, 乙酸异戊酯, 乙酸异己酯, 正丁醇, 正戊醇, 正辛醇等。多数蜜蜂信息素已人工合成或制备。本文展望了蜜蜂信息素应用的诱人前景, 其中用信息素调控蜜蜂的采集活动, 可提高作物授粉效率和增加蜂蜜产量, 具有重要经济意义。此外, 对蜜蜂的利己素、利它素和协同素也作了概述。

关键词: 蜜蜂, 化学通讯, 蜂王信息素, 那氏信息素, 报警信息素, 利己素, 利它素, 应用。

化学生态学

ADVANCE IN HONEYBEE CHEMICAL ECOLOGY — CHEMICAL COMMUNICATION AND PHEROMONES

Meng Xianzuo

(Institute of Zoology, Academia Sinica, Beijing, 100080, China)

Abstract The basic contents and main fields of honeybee chemical ecology were summarized in the review, focused on the achievements and advances in the studies on chemical communication and pheromones of honeybees in colony. Up to now five chemical components of the queen pheromone from the mandibular glands of *Apis mellifera* have been identified, including 9-oxo-(E)-2-decenoic acid (9-ODA), R(-)-9-hydroxy-(E)-2-decenoic acid (R(-)-9HDA), S(+)-9-hydroxy-(E)-2-decenoic acid (S(+)-9HDA), methyl p-hydroxy benzoate (HOB) and 4-hydroxy-3-methoxy phenylethanol (HVA). Seven components of the worker honeybee pheromone so far identified from their nasonov glands are geraniol, nerol, (E, E)-farnesol, (E)-citral, (Z)-citral, geranic acid and nerolic acid. There are more than twenty alarm pheromones of the guard bees from their sting glands identified, which are primarily acetates and alcohols of low molecular weight, for example, n-butyl acetate, isopentyl acetate, 2-heptyl acetate, 1-butanol, 1-pentanol, 1-octanol and so on. Most of the honeybee pheromones

* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1995-01-21, 修改稿收到日期: 1996-01-25

were artificially synthesized or prepared. Economically the most important potential uses of the synthetic honeybee pheromones are to control bee's activities and increase efficiency as crop pollinators and honey producers. The captivating prospects of the application of the pheromones were forecasted. In addition, allomones, kairomones and synomones for honeybees were also introduced in brief.

Key words: honeybee, chemical communication, queen pheromones, Nosanov pheromones, alarm pheromones, allomones, kariomones, application.

蜜蜂是人类的朋友,不但能为人类提供蜂蜜、王浆、花粉等蜂产品,而且能为许多作物授粉,促进农业增产丰收。因此,对蜜蜂生态学的研究很受重视,发展迅速,硕果累累^[1,2]。近年来,随着超微量分析技术的发展和毛细管气相色谱仪(GC)、气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)等高灵敏度分析仪器的出现,有关蜜蜂化学生态学方面的研究取得了突破性进展。国外出版的昆虫化学生态学方面的专著,在一些章节对此作了概述^[3-5]。国内近期发表的综述性文章也对蜜蜂信息素作了介绍^[6-8]。本文拟结合作者的有关工作对蜜蜂化学生态学的主要研究领域和重要进展加以评述。

1 蜜蜂化学生态学的研究内容和主要领域

从广义上讲化学生态学涉及了“三流”——能流、物流和信息流^[9],但迄今蜜蜂化学生态学所研究的主要内容是蜜蜂之间的化学通讯以及蜜蜂与其它生物之间的化学联系。也就是说,蜜蜂化学生态学的研究领域包括蜂群内部和外部两部分,前者主要研究蜂群内各成员之间的化学通讯;后者重点揭示蜜蜂与蜂群外部的其它昆虫和生物之间的化学联系。据报道,目前全世界大约有20 000种蜜蜂。不过在化学生态学方面研究过的蜂种并不太多。本文所涉及的主要是与人类关系最密切的蜜蜂属(*Apis*)的蜂种,其中有常见的西方蜂种意大利蜜蜂(*Apis mellifera*),也有重要的东方蜂种,如亚洲蜜蜂(*Apis cerana*),大蜜蜂(*Apis dorsata*)和小蜜蜂(*Apis florea*)等。

2 蜂群内的化学通讯

蜜蜂是群体生活的社会昆虫。一个蜂群通常由3种形态不同、职能各异的蜜蜂,即1个蜂王,少数雄蜂和众多工蜂组成。在这个群体里,全体成员分工合作,各司其职,相互依存,共同生活。毫无疑问,在这样一种成员分工细腻、活动井然有序的群体里,成员之间传递信息、彼此沟通是极为重要的。研究结果表明,蜜蜂除通过声音、舞蹈动作等相互联络外,更普遍的是借助化学物质传递信息。现已发现,蜂王与工蜂之间,蜂王与雄蜂之间,工蜂与工蜂之间,以及工蜂与幼虫、蛹之间都能通过化学物质相互联系。这种在蜂群内各成员之间通过化学物质传递信息的过程叫蜜蜂的化学通讯(honeybee chemical communication),而能够在蜂群中传递信息并引起所及成员行为反应或生理变化的化学物质称蜜蜂信息素或外激素(honeybee pheromones)。

3 蜂王信息素

早在本世纪50年代,英国养蜂家Butler就指出^[10],工蜂能从蜂王那里得到一种“蜂王物质”(“queen substance”),并通过工蜂相互传递达到整个蜂群。后来,Butler和Simpson^[11]发现这种蜂王物质是由蜂王的上颚腺产生并通过口器传给工蜂的一种“口授信息素”。1960年,英国的Callow与Johnston^[12]和法国的Barbier与Lederer^[13]同时独立地鉴定出意大利蜜蜂(*Apis mellifera*)蜂王物质的一个主要成分为9-氧代-(反)-2-癸烯酸(简式9-ODA)。1964年,Callow等^[14]又从蜂王头部提取物中鉴定出另外13种化学成分,即9-氧代-癸酸甲酯,9-羟基-癸酸甲酯,9-氧代-2-癸烯酸甲酯,9-羟基-2-癸烯酸甲酯,对-羟基苯甲酸甲酯,壬酸,癸酸,2-癸烯酸,9-氧代癸酸,9-羟基癸酸,9-羟基-2-癸烯酸,10-羟基-2-癸烯酸和对-甲氧基苯甲酸。然而,生测结果表明^[15],只有9-ODA和9-羟基-2-癸烯酸(简式9-HDA)有生物活性。9-ODA具有抑制工蜂卵巢发育和阻止工蜂建造王台的作用,也有招引工蜂的作用。当蜂群发生自然分蜂时,蜂王离开原巢飞到新址便马上分泌9-ODA,以吸引一批工蜂过来,发展成为一个新蜂群。9-ODA还有性引诱作

用。当性成熟的处女蜂王出巢婚飞时,便释放 9-ODA 等信息素,周围的雄蜂闻到这种气味便紧随其后,竞相追逐,与其交配。9-HDA 本身对工蜂没有多大吸引力,但它对蜂群有镇静和安抚作用。9-ODA 与 9-HDA 相互配合,就能对蜂群起吸引、聚结、控制和安定作用。

此后,又经过 20 多年的深入研究,对蜂王信息素的组成有了新发现。加拿大 Slessor 等^[16, 17]发现,在蜂王上颚腺分泌物中,除含有已知的 9-ODA 和 9-HDA 等不饱和脂肪酸外,还含有两种带苯环的化合物,即对-羟基苯甲酸甲酯(简式 HOB)和 4-羟基-3-甲氧苯基乙醇(简式 HVA),还发现 9-HDA 有两种光学异构体。作者在加拿大工作期间曾与 Slessor 教授等合作,合成和制备了 9-ODA 等蜂王信息素的 5 种有效成分。当把这些化合物按适当比例配成溶液,装入一端有小孔的玻璃管中时,便能把工蜂吸引到这个“人造蜂王”周围。前面的工蜂用口器接触管上的小孔,得到“王旨”后再传递给后面的工蜂。这样,在“人造蜂王”周围聚结的蜜蜂越来越多,很快形成一个大蜂团。

除了意大利蜜蜂(*Apis mellifera*),还有一些其它品种的蜜蜂,如在南亚和东南亚地区的小蜜蜂(*Apis florea*),大蜜蜂(*Apis dorsata*)和菲律宾蜜蜂(*Apis cerana philippine*)^[18, 19]等蜂王上颚腺信息素中也含有 9-ODA。最近作者在研究中华蜜蜂(*Apis cerana cerana*)蜂王信息素时,发现 9-ODA 也是主要活性成分。这似乎表明,蜜蜂的两大体系,西方蜜蜂,如意大利蜜蜂,和东方蜜蜂,如菲律宾蜜蜂和中华蜜蜂等,蜂王信息素的主要成分 9-ODA 等可能是相同的。至于其它成分是否一致,不同品种蜜蜂的蜂王信息素有哪些特异性,是值得今后进一步深入研究和探索的重要课题。

除通过口器把上颚腺信息素载带的“王旨”交给工蜂、传遍蜂群外,蜂王还能通过跗垫把跗节腺分泌的蜂王示踪信息素(queen trail pheromone)涂在蜂巢的表面,以昭示蜂王的存在^[4]。蜂王的背板腺分泌的信息物质也有吸引工蜂、稳定蜂群和抑制工蜂卵巢发育的作用。不过,迄今还未能分离鉴定出这些信息素的化学结构。

近年来,从处女蜂王的排泄物中分离鉴定出一种信息素,邻-氨基苯乙酮^[20]这种信息素似乎是处女蜂王的自卫武器,有拒避工蜂或其它蜂王侵扰的作用^[21]。

4 工蜂信息素

已经发现意大利蜜蜂工蜂的那氏腺、螫针腺、上颚腺和跗节腺等都能释放信息化学物质,其中研究得比较深入的有那氏信息素和告警信息素。

4.1 那氏信息素

在工蜂第 7 腹节的背面,有一个叫那沙诺夫腺(nasonov gland)的外分泌腺体,简称那氏腺或臭腺。20 世纪初,Sladen^[22, 23]最先确认那氏腺释放的气味有吸引其它蜜蜂的作用。以后的研究证明^[24~26],那氏信息素在蜜蜂的许多活动中起引导和定向作用。当蜂群发生自然分蜂时,一批工蜂随蜂王飞离旧巢。先到达新巢址的工蜂便翘腹振翅,释放那氏信息素,以引导后来的蜜蜂进入新巢。当处女王出巢婚飞求偶交配时,一些工蜂便在蜂巢出入口释放那氏信息素,引导蜂王出巢婚飞,并在完成交配后充当蜂王回巢的向导,以免误入它巢。当侦察蜂在外面发现适宜的蜜源、水源时,便在那里释放那氏信息素,以引导其它工蜂前去采集。

本世纪 60 年代初期,当英法科学家^[12, 13]在蜂王上颚腺信息素的鉴定方面获得具有历史意义的成就时,加拿大的学者 Boch 和 Shearer^[27, 28]首先在工蜂那氏信息素的鉴定上得到成功,先后鉴定出牻牛儿醇、牻牛儿酸和橙花酸是那氏信息素的主要活性组分,Weaver 等^[29]则鉴定出柠檬醛(顺、反两种异构体)是那氏信息素的微量组分。后来,Pickett 等^[30]又鉴定橙花醇和(反,反)-法呢醇是工蜂那氏信息素的成分。上述 7 种成分在那氏腺中的含量差异很大,牻牛儿醇最多(42.4%),橙花酸次之(33%), (反,反)法呢醇占 18.6%,牻牛儿酸占 4.7%,而橙花醇和(顺-), (反-)柠檬醛均不到 1%。然而,近年来作者的研究结果表明^[31],这些那氏信息素成分的生物活性与它们在那氏腺中比例并不一致,牻牛儿酸和橙花酸对工蜂访花、采水的诱导活性最高,柠檬醛次之,牻牛儿醇和橙花醇活性较弱,而(反,反)-法呢醇基本没有活性。从分子结构上看,(反,反)-法呢醇很可能是其它组分的前体化合物,而不是活性组分。

上述关于那氏信息素的研究都是以意大利蜜蜂为对象进行的,最近,马来西亚 Norhani 等报道^[32],

亚洲蜜蜂 (*Apis cerana*) 的那氏腺提取物中也含有(反)-柠檬醛, (顺)-柠檬醛和牻牛儿醇。

4.2 报警信息素

当蜜蜂受到侵害或惊扰时便奋起进行反击。早在 1609 年, 英国养蜂家 Butler^[33]就报道了蜜蜂将螫针刺入人的皮肤或衣服时能引导其它蜜蜂前来攻击。不过, 直到 20 世纪 60 年代初期, 人们才对工蜂释放报警信息素的本质有所认识。1966 年 Boch 等^[34]首次从工蜂螫针腺分泌物中鉴定出报警信息素的一个主要成分为乙酸异戊酯。后来又又有二十余成分被陆续鉴定出来, 如乙酸正丁酯, 乙酸正己酯, 乙酸正辛酯, 乙酸正癸酯, 乙酸苯酯, 乙酸二十酯, 辛酸, 苯甲酸, 苯酚, 对甲酚, 正丁醇, 正戊醇, 异戊醇, 正辛醇, 十八醇, 二十醇, 以及顺-11-二十碳烯-1-醇等^[35]。这些化合物多数挥发性强, 蜜蜂释放到空气中能迅速传播、报警, 很快引起同巢兵蜂的螫刺反应和自卫行动。由于这些物质挥发得快, 一旦侵犯终止, “警报”也随之解除, 蜂群便又恢复了平静。

工蜂的上颚腺能分泌另外一种报警信息素。当工蜂向来犯者螫刺攻击时, 常常用上颚咬住对方, 将一些化学物质涂在那里, 以引导其它蜜蜂前去进攻。据 Shearer 和 Boch 鉴定^[36], 这种报警信息素的主要成分为庚酮-2。

除了意大利蜜蜂, 其它品种的蜜蜂, 如中华蜜蜂, 小蜜蜂, 大蜜蜂等也都能通过释放报警信息素动员起来进行自卫, 其中, 菲律宾的大蜜蜂, 常常在几秒钟内就有 1000—5000 只蜜蜂倾巢而出, 异常猛烈地向来犯者进攻^[37]。鉴定结果表明, 上述 4 种蜜蜂螫针腺提取物都含有乙酸异戊酯^[38, 39]。Veith 等^[40]鉴定, 大蜜蜂和小蜜蜂的螫针腺中含有 2-癸烯-1-基乙酸酯。该化合物的挥发性小, 其生物学作用有待进一步研究。

4.3 示踪信息素

工蜂也像蜂王那样, 能通过跗节腺释放示踪信息素。不过工蜂释放示踪信息素不是为了显示自己的存在, 而是向其它蜜蜂传递某种信息。例如, 当蜜蜂在蜜源丰富的花丛中采集时, 留下一些示踪气味物质, 有助于其它蜜蜂前去采集。当蜜蜂采完花朵里的蜜汁以后, 留下一些化学物质作标记, 告诉其它蜜蜂不必再去那里。为了蜂群的安全, 蜂巢的入口时有改变。工蜂进巢时在入口处留下一些信息物质可以帮助外出归巢的蜜蜂找到入口。迄今, 人们对这种示踪信息素的化学结构还不清楚。这种示踪物质究竟是跗节腺的分泌物还是上颚腺或那氏腺分泌物通过跗垫施放在标记处, 还有待今后进一步研究和确定。

4.4 蜂乳酸

工蜂的舌腺, 也叫营养腺, 能分泌蜂乳即王浆。蜂乳是工蜂饲喂蜂王、雄蜂和幼虫的食品。蜂乳中含一种具有生理活性的物质 10-羟基-(反)-2-癸烯酸, 简称蜂乳酸或王浆酸。蜂乳酸实际上是工蜂上颚腺分泌的一种“口授信息素”^[7]。当工蜂给蜂王饲喂蜂乳时便把蜂乳酸传给了蜂王。蜂乳酸有刺激蜂王卵巢发育和增强产卵机能的作用, 如果蜂王得不到足够的蜂乳供给, 缺少蜂乳酸的刺激, 其卵巢便逐渐萎缩, 停止产卵。

5 雄蜂信息素

雄蜂的上颚腺也能分泌信息化学物质, 上颚腺的提取物能吸引飞翔的雄蜂。雄蜂在婚飞时总是在某一地点的上空成群结伙沿一定路线飞行, 雄蜂上颚腺释放的信息素可能起路标和导航作用^[4]。遗憾的是, 迄今还没能分离鉴定出任何雄蜂信息素的化学结构。

6 蜂子信息素

蜜蜂的幼虫和蛹总称蜂子, 也能释放多种影响工蜂行为的信息化学物质。这些蜂子信息素的主要作用是标记幼虫的种类。工蜂识别蜂巢中的蛹或幼虫是工蜂子, 还是雄蜂子或蜂王子, 主要依据它们发出的气味特征。工蜂根据 3 种蜂子发出的不同信息化学物质, 区别对待, 加以饲养。例如, 对于蜂王的幼虫始终供给充足的王浆, 促使其卵巢充分发育, 直到化蛹。而对工蜂的幼虫 3 天以后便停止喂王浆, 只供给蜜和粉。因此, 工蜂的卵巢发育不完全, 一般不能产卵。幼虫老熟以后也通过释放信息物质促使工蜂将蜂房用蜡封上, 以利化蛹。

此外, 蜂子信息素还有抑制工蜂卵巢发育和刺激工蜂出巢采集的作用。蜂子信息素也能刺激工蜂的

舌腺产生蜂乳(王浆),为幼虫提供饲料。迄今,已经鉴定出来的蜂子信息素只有雄蜂蛹释放的 1, 2--二油酸--3--棕榈酸甘油酯^[41]。其它蜂子信息素的化学结构还有待今后研究与鉴定。

7 利己素、利它素与协同素

蜜蜂除借助化学物质在蜂群内成员之间传递信息通讯联络外,还能通过化学物质与其它昆虫或生物发生联系。目前根据这些化学物质对接受者所产生的行为反应或生理作用把其分为 3 大类。一类叫利己素(allomones),释放这种化学物质所产生的结果对释放者(蜜蜂)有利,对接受者不利。例如,工蜂通过那氏腺释放牻牛儿醇对大蜂螨有强烈排斥作用。牻牛儿醇便是蜜蜂的利己素。另一类为利它素(kairomones),释放这种化学物质所产生的结果对释放者不利,对接受者有利。例如,老熟的蜜蜂幼虫能释放一种信息化学物质,以促使工蜂及时前去封盖。然而,大蜂螨也能借助这种化学物质潜入幼虫巢房,寄生并繁衍后代。这样,幼虫释放的蜂子信息素却又成了利它素。第三类为协同素(synomones),即释放这种化学物质所产生的结果对释放者和接受者均有利。例如蜜蜂能根据植物的花香前去采粉采蜜,同时也为植物传授花粉,对双方都有利。因此,植物花儿释放出来的气味物质就是协同素。

应该指出的是,与蜜蜂信息素的分类不同,蜜蜂与其它昆虫或生物之间化学联系物质的分类并不严格。同一种物质所起的作用和产生的结果有时并不相同,例如,前面提到的工蜂释放的牻牛儿醇能排斥大蜂螨,是蜜蜂的利己素。然而,大蜂螨也可以根据释放牻牛儿醇的多少来区别内勤蜂和外勤蜂,从而选择释放牻牛儿醇少的内勤蜂寄生,以利于其在巢内转移,繁殖后代。这样,牻牛儿醇又成了利它素。

8 信息素的人工合成与制备

蜜蜂能为人类提供大量的蜂蜜、王浆等产品。然而要从它们那里得到可供应用的信息素则是非常困难的。因此,只有根据已经鉴定的信息素的化学结构进行人工合成与制备,才能为研究和应用提供质纯量足的蜜蜂信息素。

已经鉴定出来的蜂王信息素的化学结构并不太复杂,但由于一些化合物的分子中含有双键或不对称中心而存在几何异构体或光学异构体。这些异构体的纯度往往对生物活性有重大影响。因此,如何进行立体选择合成,通过简便、有效的途径获得纯度高、活性好的信息素也是需要深入研究的重要课题。

自从蜂王信息素 9--ODA 于 60 年代鉴定以后,一些化学家先后用多种方法进行了合成。1981 年 Mori 对此作了总结和评述^[42]。近来,我国学者用更简便、有效的方法合成了 9--ODA 等信息素^[43],为开展应用研究创造了条件。那氏信息素多数是倍半萜类化合物,可以从香精油中分离、提纯、加工和制备。

9 应用研究及其广阔前景

蜜蜂是重要的经济昆虫。蜜蜂化学生态学研究取得的进展和成就不但具有重要科学意义,而且为发展养蜂业和农业提供了所需的科学依据和新技术,有着广阔的应用前景。目前,科学家和养蜂者进行的应用研究和试验主要有以下几个方面。

9.1 控制分蜂 壮大蜂群

蜂群发展壮大,可拥有数万只蜜蜂,几十个巢脾,这时蜂王分泌的信息素分配到每个工蜂的数量相对减少,对工蜂卵巢发育和造王台的控制能力减弱,工蜂就可能筑造王台,培育新王,准备分蜂。在主要流蜜期到来之前,在蜂巢内适当放一些人工合成的蜂王信息素,可抑制工蜂的卵巢发育和造王台,从而推迟分蜂,使工蜂在流蜜期积极“工作”,采集更多的花粉蜂蜜。

9.2 稳定蜂群 安全运输

蜂农常常需要随着气候的变化把蜂箱运输到有蜜源植物开花的地区。在长途运输过程中蜂王的折损率较高。一旦失去蜂王,蜂群就可能飞散,造成重大损失。如在蜂箱中设置含有蜂王信息素的“人造蜂王”,就能使蜂群保持稳定,避免损失。

9.3 诱捕分蜂群 监测杀人蜂

那氏信息素有吸引工蜂聚集结团的作用。人工合成的那氏信息素可用来收捕分蜂外逃的蜂群和野生的分蜂群。近年,原产于非洲的一种凶猛的“杀人蜂”在南美洲蔓延,并有向北美扩展的趋势。美国和加拿

大的科学家^[44]用那氏信息素与蜂王信息素的混合物制成诱捕器,在墨西哥和美国南部一些地区设置,用以监测这种杀人蜂的传播情况,以便及时采取相应的防治措施。

9.4 驱避敌害 保护蜂巢

那氏信息素牻牛儿醇等对大蜂螨有很强的排斥作用,可用来驱避大蜂螨,防止其入侵蜂巢,使工蜂和幼虫免受其害。但由于牻牛儿醇也是能为大蜂螨利用的利它素,如何兴利除害,有些技术问题还有待进一步研究和解决。

9.5 提高饲料质量 保持蜂群强壮

那氏信息素有吸引蜜蜂采集的作用,在人工饲料中添加适量的那氏信息素可以显著提高蜜蜂的采食量。采食量的增加有利于蜂群越冬,保持群体的强壮,在来年的采集季节发展壮大,从而提高蜂产品产量和为农作物授粉的效益。

9.6 诱导蜜蜂授粉 促进农业丰收

从经济上讲,蜜蜂信息素最重要的应用在于诱导蜜蜂为农作物授粉,从而提高作物产量,促进农业丰收。许多农作物需要昆虫帮助传粉,但其花对蜜蜂缺乏吸引力,往往只能自花授粉,导致产量减少,质量下降。用合成的那氏信息素或蜂王信息素可以诱导蜜蜂到这些作物上去采集,进行异花授粉,促使作物的质量和产量都得到提高。

前几年,加拿大的 Currie 和 Winston 等人^[45, 46]进行了在果园中喷洒合成的蜂王信息素,引诱蜜蜂前去采集授粉,提高水果产量和经济效益的试验。结果表明,到喷洒信息素的各种果树上采集的蜜蜂数量都明显增加,但对水果产量和质量的影响却很不一样。例如,梨的直径增加,个头变大,增产增收。但苹果的产量和质量没有任何改善。因此,使用信息素诱导蜜蜂为作物授粉能否达到增产增收的目的,必须首先进行试验,待取得经验后才能推广应用。

此外,在喷施农药以前可以用报警信息素驱走正在作物上采集的蜜蜂,避免其受到伤害;也可用蜂王信息素保持交尾蜂群的群势,提高蜂王交配率和育王成功率等等。总之,随着蜜蜂化学生态学研究的深入和发展,蜜蜂信息素必将在养蜂业和农业上获得越来越广泛的应用。

参 考 文 献

- 1 Seeley T D. *Honeybee Ecology*. Princeton University Press, Princeton, 1985
- 2 Winston M L. *The Biology of the Honey Bee*, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1987
- 3 Bell W J and Cardé R T. *Chemical Ecology of Insects*. 1984, 黄新培, 管致和译. 昆虫化学生态学. 北京, 北京农业大学出版社, 1990
- 4 Free J B. *Pheromones of Social Bees*. Chapman and Hall, New York, 1987
- 5 Blum M S. *Honey Bee Pheromones in The Hive and the Honey Bee*, Dadant and Sons, Inc. 1992
- 6 黄智勇. 蜜蜂生态学进展. 当代生态学博论. 北京, 中国科学技术出版社, 1992. 196~198
- 7 孟宪佐等. 信息素. 中国农业百科全书. 养蜂卷. 北京, 农业出版社, 1993. 255~257
- 8 黄文诚. 蜜蜂信息素. 中国养蜂, 1994, (1), 30~32, (3), 26~29
- 9 管致和. 化学生态学及其发展战略研究. 中国生态学发展战略研究. 北京, 中国经济出版社, 1991. 34~51
- 10 Butler C G. Some further observations on the nature of 'queen substance' and its role in the organisation of a honey-bee (*Apis mellifera*) community, *Proceedings of the Royal Entomological Society*. London, 1956, 31, 12~16
- 11 Butler C G and Simpson J. The source of the queen substance of the honeybee (*Apis mellifera*), *Proceedings of the Royal Entomological Society*. London (A), 1958, 33, 120~122
- 12 Callow R K and Johnston N C. The chemical constitution and synthesis of queen substance of honeybees (*Apis mellifera* L.), *Bee World* 1960, 41, 152~153
- 13 Barbier J and Lederer E. Structure chimique de la substance royale de la reine d'abeille (*Apis mellifera* L.), *Comptes Rendus des S'evances de la Academie de Science Paris*, 1960, 251, 1131~1135

- 14 Callow R K, Chapman J R and Paton P N. Pheromones of the honeybee; chemical studies of the mandibular gland secretion of the queen. *Journal of Apicultural Research*, 1964, **3**: 77~89
- 15 Butler C G and Fairey E M. Pheromones of the honeybee; biological studies of the mandibular gland secretion of the queen. *Journal of Apicultural Research*, 1964, **5**: 65~76
- 16 Slessor K N, Kaminski L-A, King G G S, et al.. Semiochemical basis of the retinue response to queen honey bees. *Nature*, 1988, **332**: 354~356
- 17 Slessor K N, Kaminski L-A, King G G S, et al. Semiochemicals of the honeybee queen mandibular glands. *Journal of Chemical Ecology*, 1990, **16**: 851~860
- 18 Sannasi A, Ratulu G S and Sundara G. 9-oxo-trans-2-decenoic acid in the Indian honeybees. *Life Science*, 1971, **10**: 195-201
- 19 Shearer D A, Boch R, Morse R A, et al. Occurrence of 9-oxodec-trans-2-enoic acid in queens of *Apis dorsata*, *Apis cerana* and *Apis mellifera*. *Journal of Insect Physiology*, 1970, **16**: 1437~1441
- 20 Page R E, Blum M S and Falck H M. α -Aminoacetophenone, a pheromone that repels honey bees (*Apis mellifera* L.). *Experientia*, 1988, **44**: 270~271
- 21 Post D C, Page R E and Erickson. Honeybee (*Apis mellifera* L.), queen bees, source of a pheromone that repels worker bees. *Journal of chemical Ecology*, 1987, **13**: 583~691
- 22 Sladen E W L. A scent organ in the bee. *British Bee Journal*, 1901, **29**: 151~153
- 23 Sladen E W L. A scent producing organ in the abdomen of the worker of *Apis mellifera*. *Entomologists Monthly Magazine*, 1902, **38**: 208~211
- 24 Morse R A and Boch R. Pheromone concert in swarming honeybees(Hymenoptera: Apidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 1971, **64**: 1414~1417
- 25 Ribbands C R and Speirs N. The adaptability of homecoming honeybee, British. *Journal of Animal Behaviour*, 1953, **1**: 59~66
- 26 Free J B and Williams III. Exposure of Nasonov Gland by honeybees (*Apis mellifera*)collecting water. *Behaviour*, 1970, **37**: 286~299
- 27 Boch R and Shearer D A. Identification of geraniol as the active component in the Nasonoff pheromone of the honeybee. *Nature*, 1962, **194**: 704~706
- 28 Boch R and Shearer D A. Identification of nerolic and genamic acids in the Nasonoff pheromone of honeybee. *Nature*, 1964, **202**: 320~321
- 29 Weaver N, Weaver E C and Law J. The attractiveness of citral to foraging honeybees. *Progress Report*. Texas A & M University Texas Agricultural Experimental Station 1964. 1~6
- 30 Pickett J A, Williams I H, Martin A P, et al. Nasonov pheromone of the honeybee, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae)Part I. Chemical characterization. *Journal of Chemical Ecology*, 1980, **6**: 425~434
- 31 孟宪佐, 谢桂阳. 那氏信息素对蜜蜂采水的诱导作用. *中国养蜂*, 1994, **1**: 5~8
- 32 Norhari A, Asiah H, Johari R, et al. Identification of Nasonov pheromones and the effects of synthetic pheromones on the clustering activity of the Asiatic honeybee (*Apis cerana*). *Pertanika*, 1990, **13**: 189~194
- 33 Butler C. *The feminine monarchie, or a treatise concerning bees*. Joseph Bames, Oxford, 1609
- 34 Boch Rand Shearer D A. Iso-pentyl acetate in stings of honeybees of different ages. *Journal of Apicultural Research* 1966, **5**: 65~70
- 35 Free J B. *Pheromone of Social Bees*. Chapman and Hall, New York, 1987. 134~143
- 36 Shearer D A and Boch R. 2-heptanone in the mandibular gland secretion of the honey bee. *Nature*, 1965, **206**: 530
- 37 Morse R A and Laigo F M. *Apis dorsata* in the Philippines. Monograph from the *Philippine Association of Entomology*, 1969, **1**: 1~96
- 38 Morse R A, Shearer D A, Boch R, et al. Observations on alarm substances in the genus *Apis*. *Journal of Apicultural Research*, 1967, **6**: 113~118
- 39 Koeniger N, Weiss J and Maschwitz U. Alarm pheromones of the sting in genus *Apis*. *Journal of Insect Physiology*,

- 1979, **25**: 467~476
- 40 Veith J, Weiss J and Koeniger N. A new alarm pheromone (2-decen -1-yl acetate) isolated from the stings of *Apis dorsata* and *Apis florea* (Hymenoptera: Apidae). *Experientia*, 1987, **34**: 423
- 41 Koeniger N and Veith H J. Glyceryl-1, 2-dioleate-3-palmitate, a brood pheromone of honeybee (*Apis mellifera* L.). *Experientia*, 1983, **39**: 1051~1052
- 42 Mori K. The synthesis of insect pheromones. In: *Total Synthesis of Natural Products*. Apsimon J W (ed), Wiley, New York, 1981, **4**: 102~106
- 43 孟宪柱. 蜂王信息素 9-氧代-反-2-癸烯酸的简便合成. *动物学集刊*, 1994, **11**: 33~36
- 44 Winston M L and Slessor K N. The essence of royalty: honey bee queen pheromone. *American Scientist*, 1992, **80**: 374~385
- 45 Currie R W, Winston M L, Slessor K N *et al.* Effect of synthetic queen mandibular pheromone sprays on pollination of fruit crops by honey bees (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Economic Entomology*, 1992, **85**: 1293~1299
- 46 Currie R W, Winston M L and Slessor K N. Effect of synthetic queen mandibular pheromones on honey bee (Hymenoptera: Apidae) pollination of berry crops. *Journal of Economic Entomology*, 1992, **85**: 1300~1306