



推广蜜粉源植物种植对养蜂业可持续发展的促进作用

郭军^{1, #}, 赵崇辉^{1, #}, 姜业奎², 王雯娟², 耿明阳³,
尤正荣⁴, 赵远崇⁵, 唐洪⁶, 彭文君^{7, *}

(1. 昆明理工大学生命科学与技术学院, 昆明 650500; 2. 先正达集团中国, 北京 100069; 3. 伊犁哈萨克自治州畜牧总站, 伊宁 835000; 4. 昭通市畜牧兽医技术推广站, 昭通 657000; 5. 巧家县畜牧站, 巧家 654600; 6. 重庆市中华蜜蜂保种场, 南川 408427; 7. 中国农业科学院蜜蜂研究所, 北京 100093)

摘要: 养蜂业作为我国助力乡村振兴的重点扶持产业之一, 已经进入了稳步发展的时期, 与之匹配的蜜粉源植物种植也需要足够的重视。花蜜和花粉是蜜蜂的食物来源, 直接决定了蜂群的营养结构, 蜜粉源植物为蜜蜂提供花蜜和花粉, 是蜂群生存和壮大的物质基础。长期依赖单一蜜粉源作物会导致蜜蜂营养结构单一、蜂群被迫采集有毒蜜粉源植物以及蜂业发展受季节影响波动大等问题。种植多样化的蜜粉源植物丰富了生物多样性, 是对集约农业下单一作物的补充, 蜜蜂可以获得均衡的饮食, 保证蜂产品的产量, 也为野生授粉昆虫和害虫天敌提供了栖息地, 进一步改善了作物的授粉环节并减少农药的使用, 促进了蜂业与农业的健康发展。种植蜜粉源植物需要科学的指导, 对当地蜜粉源及环境条件进行充分调查, 从实际出发, 因地制宜选择合适的植物种和种植模式; 推广蜜粉源植物种植, 需要政府、企业和科研机构的多方合作。鉴于蜜粉源植物在保障蜜蜂健康、维护生态平衡等方面的重要意义, 本文从蜜粉源对蜜蜂的影响入手, 科学分析蜜粉源植物种植对养蜂和乡村振兴的重要意义, 对蜜粉源植物种植与养蜂业可持续发展的关系进行了探讨, 并对蜜粉源植物种植提供了一些可参考的推荐措施, 对于昆虫领域的研究具有一定的指导价值。

关键词: 蜜粉源; 蜜蜂; 营养; 可持续发展; 生态

中图分类号: Q968 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296(2025)03-0366-09

Promotion of nectar and pollen plant cultivation for the sustainable development of apiculture

GUO Jun^{1, #}, ZHAO Chong-Hui^{1, #}, JIANG Ye-Kui², WANG Wen-Juan², GENG Ming-Yang³, YOU Zheng-Rong⁴, ZHAO Yuan-Chong⁵, TANG Hong⁶, PENG Wen-Jun^{7, *} (1. Faculty of Life Science and Technology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China; 2. Syngenta Group China, Beijing 100069, China; 3. General Animal Husbandry Station of Ili Kazakh Autonomous Prefecture, Yining 835000, China; 4. Zhaotong Animal Husbandry and Veterinary Technology Promotion Station, Zhaotong 657000, China; 5. Qiaojia Animal Husbandry Station, Qiaojia 654600, China; 6. Chongqing Zhonghua Bee Breeding Farm, Nanchuan 408427, China; 7. Institute of Apicultural Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100093, China)

基金项目: 国家重点研发“中华蜜蜂产业关键技术研究与应用示范”专项(2022YFD1600203)

作者简介: 郭军, 男, 1981 年 11 月生, 湖北襄阳人, 博士, 副教授, 研究方向为传粉蜂类肠道菌群、蜜蜂饲养及蜂产品营养功能挖掘与应用,

E-mail: guojun0591@126.com; 赵崇辉, 男, 1998 年 10 月生, 山东青岛人, 硕士研究生, 研究方向为蜜蜂肠道微生物, E-mail: zhaochonghui1029@163.com

[#] 共同第一作者 Authors with equal contribution

^{*} 通讯作者 Corresponding author, E-mail: pengwenjun@caas.cn

收稿日期 Received: 2024-03-20; 接受日期 Accepted: 2024-06-06

Abstract: Apiculture, as one of the key industries supported by China to help revitalize the countryside, has entered a period of steady development, and nectar and pollen source plant planting that goes with it also needs to be given sufficient attention. Nectar and pollen are the food sources of bees, which directly determine the nutritional structure of bee colonies, and pollen source plants provide nectar and pollen for bees, which are the material basis for the survival and growth of bee colonies. A single pollen source crop leads to the problems of a single nutritional structure of bees, bee colonies being forced to collect toxic pollen source plants, and the development of the bee industry being subject to the influence of the seasons with great fluctuations. Planting diversified nectar and pollen source plants enriches the biodiversity, which is a supplement to intensive agriculture monocrops, and bees can obtain a balanced diet, ensure the yield of bee products, and provide habitats for wild pollinating insects and natural enemies of pests, further improve the pollination link of crops, reduce the use of pesticides, and promote the healthy development of the bee industry and agriculture. The planting of nectar and pollen source plants requires scientific guidance, adequate investigation of local nectar and pollen sources and environmental conditions, and the selection of suitable plant species and planting modes according to local conditions. The promotion of nectar and pollen source plant planting requires the full cooperation of the government, enterprises and research institutes. In view of the significance of nectar and pollen plants in safeguarding the health of bees and maintaining ecological balance, we scientifically analyzed the impact of nectar and pollen source plants on bees and the significance of the planting of nectar and pollen source plants on beekeeping and rural revitalization, explored the relationship between the planting of nectar and pollen source plants and sustainable development of the beekeeping industry, and provided some references to the planting of nectar and pollen source plants with recommended measures in this article. It is a valuable guide for research in the field of insects.

Key words: Nectar and pollen sources; honey bees; nutrition; sustainable development; ecology

养蜂业作为现代农业的重要组成部分,具有占地少、效益高、易上手等特点,能够为农村地区尤其是偏远山区提供可持续的收入来源,促进了农村经济发展、人民生活水平的提高,并在我国精准扶贫和脱贫攻坚的过程中发挥了重要作用。2021年9月6日,农业农村部发布《全国乡村重点产业指导目录(2021版)》,蜜蜂饲养(产业代码:0392)名列其中。该目录的颁布从政府层面给予了养蜂业政策支持。

蜂业作为我国特色产业之一,对保障食品安全、促进农业绿色发展、保护生态环境等都具有重要意义,也将成为助力乡村振兴发展的重点产业和朝阳产业。养蜂业的重要性不仅体现生产蜂产品的经济价值上,在生态方面,蜜蜂作为重要的授粉昆虫之一,可以促进作物生长,提高产量和质量,对于维持生态平衡和保护生物多样性具有重要作用。

随着养蜂体量的增加,蜂业发展下一步将面临的关键问题是我国蜜粉源植物的分布能否满足蜜蜂生存的需要。养殖蜜蜂的数量逐年增加势必影响野生传粉昆虫的生存空间(Sørensen *et al.*, 2020),如何平衡蜂业发展和保护生物多样性之间的关系是蜂

业可持续发展所面临的重大问题。农业集约化降低了传粉昆虫的资源可利用性(Tscharntke *et al.*, 2005),从而导致农业生态系统中传粉昆虫的丰度和多样性降低(Goulson *et al.*, 2015)。为了保障野生传粉者在农业生境中生存下来,必须提供合适的筑巢和觅食资源。为此,如何解决这一矛盾将是制约蜂业可持续发展的关键。

蜜粉源是发展养蜂业的基础,鼓励发展养蜂业的同时,还应考虑各个地区所能承载的最大蜂群数量(即载蜂量)。因此,蜂业发展需要与蜜粉源植物种植相协调,有计划的种植蜜粉源植物应得到政府足够的重视。中国是一个人口大国,随着经济社会的发展,耕地面积呈现逐年下降的趋势。种植蜜粉源植物这一可持续发展的农业措施,可以保护有限的耕地,提高其使用效率,保护物种多样性,防治农业害虫。本文从蜜粉源对蜜蜂的影响入手,科学分析蜜粉源植物种植对养蜂和乡村振兴的重要意义,对蜜粉源植物种植与养蜂业可持续发展的关系进行了探讨,并对种植蜜粉源植物提供了一些可参考的推荐措施。

1 蜜粉源植物是蜜蜂生存的营养和物质基础

充足的营养是蜜蜂生长和蜂群壮大的基础。蜜蜂主要有两种食物来源——花蜜和花粉。蜜蜂从蜜粉源植物采集到的花粉和花蜜,经运输和加工,最终形成贮藏在蜂巢中的蜂粮和蜂蜜。因此,蜜粉源植物通过提供花蜜和花粉,决定了蜜蜂的营养结构,为蜂群的生存和壮大提供了物质基础。

1.1 花蜜的营养成分及对蜜蜂饮食健康的影响

花蜜的营养价值来源于蔗糖、葡萄糖和果糖,此外还有少量的氨基酸、矿物质和微量元素,花蜜的营养价值取决于所收集的蜜源植物种类。蜜蜂对蜜源植物的采集偏好也因此存在差异,富含蔗糖的蜜源植物是采集蜂的首选(Waller, 1972);不同的蜜源植物造成了蜜蜂饮食上的差异,进而影响蜜蜂消化吸收和生长发育上的差异。氨基酸的存在可能影响花蜜的味道和蜜蜂的学习能力(Gardener and Gillman, 2002; Hendriksma *et al.*, 2014; Simcock *et al.*, 2014),蜜蜂访花时会更倾向富含必需氨基酸的蜜源(Hendriksma *et al.*, 2014);花蜜中低浓度的氯化钠和氯化镁能促进蜜蜂的取食,高水平的钾会降低蜜源植物对蜜蜂的吸引力(Leonhardt and Blüthgen, 2012)。花蜜的次生代谢物在抵御病原体、改善蜜蜂健康等方面也可能存在着不可忽视的作用(Stevenson *et al.*, 2017)。

1.2 花粉的营养成分及对蜜蜂生长发育的影响

不同的花粉对蜜蜂有不同的营养价值,花粉的主要营养成分是蛋白质,此外还包括脂质和以淀粉、纤维素为主的碳水化合物(Roulston and Cane, 2000)。花粉中蛋白质的消化和吸收与工蜂的饮食密切相关,Wang 等(2014)研究发现,与油菜 *Brassica napus* 花粉中的蛋白质相比,山茶 *Camellia japonica* 花粉中蛋白质被消化的比例更高,山茶花粉对蜜蜂的营养价值高于油菜花粉。幼虫特别依赖蜂粮中的蛋白质,幼虫发育过程中蛋白质营养的短缺会严重影响幼虫数量。为了保证后代的质量,工蜂可能会减少幼虫的饲养量。在幼虫饥饿的蜂群中,发育中的工蜂也会受到影响。在幼虫饥饿及其所引发的一系列应激因素影响下,会导致蜂群群势的削弱(Brodschneider and Crailsheim, 2010)。不同粉源植物的花粉脂肪酸组成差异也很大, α -亚麻酸的缺失会损害蜜蜂的认识能力(Arien *et al.*, 2015)。此

外亚油酸、 α -亚麻酸癸酸、十二酸和肉豆蔻酸具有抗菌特性,富含这些脂肪酸的花粉除了本身的营养价值,可能在保持蜂巢卫生中也发挥了重要作用。花粉是蜜蜂微量营养素的主要来源,包括矿物质、维生素和多种多样的甾醇(Vanderplanck *et al.*, 2014),粉源植物的次生代谢物(即毒素和多酚等)在花粉中的含量远高于花蜜中的(Stevenson *et al.*, 2017)。并非所有植物都能产生满足蜜蜂营养需求的花粉,蜜蜂健康与 P, Na, Mn, Mg, K, Fe, Ca, Zn 和 Cu 密切相关,这些元素在花粉中的含量因粉源植物品种的不同存在很大差异(Filipiak, 2019)。哺育蜂是蜂群中花粉的主要消费者,花粉的质量影响了哺育蜂肠道中蛋白酶的活性和咽下腺的发育水平(Dzukan *et al.*, 2017)。

2 集约农业中单一蜜粉源作物对传粉昆虫的不利影响

2.1 单一蜜粉源作物在集约农业中的潜在危害

集约农业的特点是高度专业化、大规模的农业生产方式,通常以单一作物种植为主,这就意味着蜜粉源植物的种类和数量将受到限制。单一蜜粉源环境下生物多样性的丧失,是蜜蜂长期衰退的主要驱动力(Goulson *et al.*, 2015),并导致与该栖息地相关的授粉昆虫的大范围收缩(Goulson *et al.*, 2008),进一步影响依赖昆虫授粉的作物的产量(Garibaldi *et al.*, 2009)。虽然人工饲养蜜蜂可以为农业生态系统提供优质的授粉服务(Sáez *et al.*, 2019),但仍无法取代野生昆虫在授粉服务中的重要作用(MacInnis and Forrest, 2019),而饲养蜜蜂和野生昆虫之间的相互补充作用,能极大地提高授粉效率(Greenleaf and Kremen, 2006)。此外,集约农业下单一蜜粉源植物会导致野生授粉昆虫数量减少,削弱了授粉环节并增加了病虫害的暴发,这种现象反作用于农业,将对农业产生不利影响。为了促进农业的可持续发展,应该鼓励种植多样化的蜜粉源植物,保护野生昆虫的栖息地,提高农作物的抗病虫能力和自然授粉效率。

2.2 单一蜜粉源造成蜜蜂营养生态位压缩

单一蜜粉源剥夺了为满足蜜蜂营养结构所需要的多样性花粉种类,对蜜蜂造成的营养压力主要体现在蜜蜂食物来源的可用性和多样性减少(Goulson *et al.*, 2015)。单一蜜粉源会造成蜂群饮食单调,多样化的营养结构对蜂群的健康发展极为重要。蜜粉

源影响蜜蜂的肠道菌群和免疫力,与单一的蜜粉源相比,多样性的饮食结构有利于优化蜜蜂的肠道菌群,提高卵黄原蛋白和与免疫相关的基因的表达水平(Branchiccela *et al.*, 2019)。在单一蜜粉源的营养胁迫下,蜂群免疫水平下降,微孢子虫病等病原体感染水平更高,也更容易感染寄生虫(Cohen *et al.*, 2021),并引起幼期和成年蜜蜂数量减少(Castelli *et al.*, 2020; St Clair *et al.*, 2020),影响蜜蜂寿命(Ara Begum *et al.*, 2023)。

2.3 单一蜜粉源地区的养蜂易受季节影响

只有单一蜜粉源时,蜂群群势的发展起伏较大,由于食物来源短缺,蜂群脆弱,尤其在单一蜜粉源植物花期结束时,如果蜂群食物消耗殆尽,没有其他蜜粉源植物补充食物储备,此时因食物短缺造成的营养压力不可避免(Requier *et al.*, 2017)。缺乏蜜粉源会导致蜜蜂无法获得足够的能量和营养,长期的蜜粉源匮乏必然导致蜂群群势的衰弱。只有丰富的蜜粉源植物才能为蜂群提供充足的营养,人工饲喂无法代替蜜粉源植物的重要性。目前,蜂农在蜜粉源紧缺时,常用大豆粉和蔗糖水代替蜂粮和花蜜饲喂蜜蜂。但是,作为花粉替代品的大豆 *Glycine max* 中约有40%的糖对蜜蜂有毒(Barker, 1977; Li *et al.*, 2022)。以蔗糖水代替花蜜饲喂,会降低蜂蜜质量,影响蜜蜂寿命(Jack *et al.*, 2016)。人工饲喂在蜜蜂养殖上可以作为短期的应急方案,蜂群发展需要充足且多样化的蜜粉源植物支撑。蜜粉源匮乏是养蜂过程中常见的问题之一,蜜粉源匮乏对蜂群的影响是十分严重的,如果不及时发现并补充饲喂,将造成蜜蜂的饥饿和营养不良,进而导致蜜蜂的免疫力下降、容易患病、蜂螨寄生增加和生存能力减弱;此外,单一蜜粉源不利于蜜蜂的生长发育、繁殖和生产,严重还会导致蜂群崩溃飞逃(Mayack and Naug, 2015; Sowa *et al.*, 2019)。特别是春繁时期,在经过漫长冬季后食物消耗殆尽,幼蜂大量出房后对食物的需求,加剧了蜂群的营养压力,蜜粉源的补充显得尤为重要(Requier *et al.*, 2017)。

单一蜜粉源作物下,蜂产品受季节影响波动较大。花期过后,蜂群将会面临无花可采,蜂农无蜜可收的困境。为了满足蜂蜜的生产,蜂农往往会选择将蜜蜂转移到不同花区以寻找蜜粉源的养蜂方式,但是这种“追花逐蜜”的养蜂模式也存在弊端和风险。追花逐蜜模式需要投入大量资源(尤其是高昂的运输成本)和劳动力来管理蜂群,多变的气候和不稳定的花期也埋下了风险隐患。迁徙管理下的环

境压力大幅缩短了蜜蜂的寿命,危害蜜蜂的健康(Simone-Finstrom *et al.*, 2016)。结合当地的地理条件,科学种植不同花期的蜜粉源植物,是解决养蜂受季节影响这一难题的有效手段。

2.4 单一蜜粉源作物下存在有毒蜜粉源的潜在威胁

一些蜜粉源植物的花粉或花蜜对蜜蜂有害,食用后对其健康造成不利影响,甚至危及生命。通常情况下,蜜蜂会排斥采集有毒的蜜粉源植物(Wright *et al.*, 2010)。当环境中蜜粉源植物单一或紧缺时,蜜蜂会被迫选择采集有毒蜜粉源,危害蜂群的发展。有毒蜜粉源产生的毒性生物碱和不易消化的多糖等物质,对蜜蜂和人的健康造成不利影响。在众多蜜粉源植物中,已发现的有毒蜜粉源,如杜鹃花属 *Rhododendron* 植物的木藜芦毒烷类、雷公藤属 *Tripterygium* 植物的二萜类、百合科(Liliaceae)植物的甾体类生物碱、胡蔓藤属 *Gelsemium* 植物的吲哚类生物碱、毛茛科(Buttercup)植物的双酯型二萜类生物碱和马桑属 *Coriaria* 植物的双环倍半萜内酯类等都可能对蜜蜂具有一定的毒性(郑亚杰等, 2019)。鬼针草 *Bidens pilosa* 作为一种重要的辅助蜜粉源植物,很多养蜂人反映蜜蜂在鬼针草流蜜期会出现群势衰弱的现象。进一步研究发现,高浓度的鬼针草提取液对蜜蜂有致死性(Tang *et al.*, 2023)。有些糖类,如甘露糖、半乳糖、阿拉伯糖、木糖、麦芽糖、棉子糖、水苏糖和乳糖对蜜蜂有毒,这些糖类在花粉、椴树的花蜜以及郁金香的渗出物中含量可观(Brodtschneider and Crailsheim, 2010)。如果有其他蜜粉源的补充或者通过饲喂50%的蔗糖水稀释可以降低毒性(Mattila and Otis, 2006)。

3 种植蜜粉源植物是养蜂业可持续发展的保证

3.1 种植蜜粉源植物有助于养蜂业的发展

蜜粉源是养蜂的基础。成年工蜂体内没有大量的碳水化合物、脂质和蛋白质的积累(Hrassnigg *et al.*, 2005),因此非常依赖蜂巢中的食物储备。此外,蜜粉源还能影响蜜蜂筑巢速度和蜂王的繁殖能力(Khan *et al.*, 2022)。蜜粉源充足且多样化的地区,蜜蜂可以获得均衡的饮食,并且更容易抵抗疾病和蜂螨的侵袭,健康的蜜蜂又能保证蜂产品的产量。优质蜜粉源能够提供充足的食物供应,保持蜜蜂的健康状况,提高蜂产品的质量。虽然蜜粉源的差异对蜂王浆成分的影响不大(Wright *et al.*, 2018),但

研究表明不同粉源花粉对蜂王浆产量影响显著(苟利杰等, 2020)。而蜜源对蜂蜜成分的影响更为直接, 蜂蜜因蜜源不同, 口味、成分、功效各具特色。充足的蜜粉源是蜂产品高产的前提; 不同花期的蜜源能保证蜜蜂在长时间内持续产蜜, 而不会因为单一蜜源的枯竭而导致产量下降。

3.2 种植蜜粉源植物对可持续发展和乡村振兴的重要意义

蜜粉源植物种植能够保证养蜂业的健康发展, 丰富的蜜粉源植物能够为蜂群的壮大提供食物来源, 同时保障优质蜂产品的高产。蜜蜂作为重要的授粉昆虫, 对陆地生态系统和作物生产至关重要。蜜蜂授粉可以提高作物和蜜粉源植物的授粉率和种子产量, 经蜜蜂授粉的作物, 产量高, 品质好, 各种营养成分含量均有所提升(Silva et al., 2018; Abrol et al., 2019), 授粉蜜蜂被誉为农业中的“月下老人”。例如, 苹果蜜源为蜜蜂提供了优质的苹果花蜜, 苹果蜜源产出的蜂蜜质地浓稠, 口感香甜, 果味浓郁, 在美容养颜、安神定气、润肠通便等方面具有一定功效; 而蜜蜂作为苹果的最佳授粉昆虫, 能够提高苹果的产量和质量(Blitzer et al., 2016)。

在单一作物的农田中种植多样化的蜜粉源植物, 可以壮大野生传粉昆虫的种群数量(Winfree, 2010), 增加农业害虫天敌多样性和丰富度(Zhu et al., 2023), 促进农业的可持续发展。授粉昆虫不仅仅是为了食物而访花采蜜, 它们也承担着重要的传粉任务。近年来, 农药在农田中的使用急剧增加, 给授粉昆虫的健康带来了严重威胁(Schulz et al., 2021)。害虫综合治理(integrated pest management, IPM)提倡蜜粉源植物栽培, 吸引害虫天敌进行生物防治, 减少农药使用, 保护授粉昆虫。在作物管理中实施害虫综合治理, 可减少农药对授粉昆虫的毒害, 改善蜜蜂的健康状况和提高野生授粉昆虫的多样性(Pecenka et al., 2023)。Richards(2001)综述了授粉昆虫对农业发展的意义:(1)需要授粉者来访才能结籽的作物, 授粉昆虫的活动直接影响了作物的产量;(2)自花授粉或闭花授粉的作物, 授粉昆虫的活动会提高作物产量;(3)不需要授粉昆虫就能结实的作物, 在授粉昆虫来访后种子或结实的质量会提高。另外, 在农田中拥有丰富的蜜粉源植物能够为农业害虫的天敌提供适宜的栖息地和充足的食物。这些天敌迁移到附近的作物中, 对害虫起到生物防治的作用, 在一定程度上可以取代化学农药的使用, 保护农业生态系统, 提高作物产量(Dong et

al., 2021)。昆虫授粉和生物防治对作物产量的提高具有累加效应和交互效应(Gagic et al., 2019), 而增强授粉媒介和生物防治均能通过蜜粉源植物种植来实现。蜜粉源植物-授粉昆虫/害虫天敌-农作物的相互作用, 有利于丰富当地物种群落的多样性, 维持自然生态平衡, 促进经济可持续发展。

3.3 多样化的蜜粉源植物是促进传粉昆虫多样性的物质基础

传粉昆虫多样性缺失的一个最大的可能是大面积种植单一植物, 导致生物多样性丧失, 造成地区可供传粉昆虫采集的蜜粉源植物数量下降, 传粉昆虫要么死亡要么迁移(M'Gonigle et al., 2015)。科学的蜜粉源植物种植能够保护生物多样性, 为野生授粉昆虫提供必要的栖息地(Rader et al., 2016)。在非开花作物中, 将开花杂草保持在对作物造成经济损害的阈值以下, 已经成为一种良好农业实践。正因为如此, 合理规划农业用地, 丰富作物多样性, 是加强野生传粉者提供传粉服务的一种手段(Kremen et al., 2007; Winfree, 2010)。在苹果园中, 通过打造蜜粉源生态斑块, 可以增强对苹果园传粉媒介的保护, 与果园的杂草植物群相比, 对传粉昆虫的吸引力显著提高(Barda et al., 2023)。蜜粉源植物种植通过保护野生授粉昆虫、增强传粉媒介, 提供了有利于农场和周围景观等多种生态系统的授粉服务(Garibaldi et al., 2014)。

蜜粉源植物种植改善了生态环境, 为害虫天敌和授粉昆虫提供栖息地和食物, 不仅可使作物病害减少, 同时也可增产增收, 推进农业绿色发展, 有助于维护生态平衡, 促进生物多样性(Tillman, 2017; Filipiak et al., 2022)。推动农业发展与资源环境承载力相匹配, 符合人与自然和谐共生的基本要求。

4 种植蜜粉源植物的可推荐措施

4.1 蜜粉源调查, 因地制宜选择种植

蜜粉源调查是该地区开展养蜂业前必不可少的环节。蜜粉源调查需要清楚蜜粉源植物的种类、面积、花期等, 与此同时, 需要根据实际情况进行蜜粉源种植, 为了提高农民的种植积极性, 在开垦的地区内选择种植具有一定经济价值的蜜粉源植物, 如芝麻 *Sesamum indicum*、南瓜 *Cucurbita*、西瓜 *Citrullus lanatus*、紫云英 *Astragalus sinicus* 等; 还可以种植一些药用蜜粉源植物, 如玄参 *Scrophularia ningpoensis*、益母草 *Leonurus japonicus*、大蓟 *Cirsium japonicum*、党

参 *Codonopsis pilosula* 等(表 1)。提高蜜粉源植物的丰富度和多样性,不仅能够保证蜂群健康发展,改善蜂产品的质量,提高蜂产品的产量,还能降低蜂农“追花逐蜜”的高昂成本。以药用植物为蜜源,因中草药蜜源提供了生物活性成分,蜂蜜中可能保留了部分中药药效(Montaser *et al.*, 2022),可生产高质量的蜂产品。中草药蜜粉源植物的种植可以提供充

足且多样化的蜜粉源,满足蜂群的饮食需求,有效增加蜂群的养殖强度和健康状态。同时,中草药蜜粉源也为养蜂业提供了新的经济发展机会。中草药蜜粉源的特色花蜜可以作为高端商品在市场上销售,为养蜂业的可持续发展提供了新的动力。合理的中草药蜜源种植,打造地区特色的中药蜂蜜,有望实现蜂蜜和中药药材的双丰收。

表 1 我国部分药用蜜粉源植物及生长环境
Table 1 Partial medicinal nectar and pollen source plants and growing environments in China

中草药植物 Chinese medicinal herbs	生长环境 Growing environments	参考文献 References
玄参 <i>Scrophularia ningpoensis</i>	喜温、喜湿,适宜生长温度 14.5–17℃; 适宜疏松、含腐殖质较多、排水良好的砂壤土栽培; 生长海拔约 1 700 m 以下	张家春等, 2013
益母草 <i>Leonurus japonicus</i>	喜温、喜湿,生长适温 22–30℃; 适宜向阳,肥沃、排水良好的砂质壤土栽培; 在阳光充足的条件下生长良好。多生长于海拔高达 3 400 m 的阳处	王飞和尹铁民, 2015
大蓟 <i>Cirsium japonicum</i>	喜温、耐寒、耐旱,最适生长温度 13–28℃; 在肥沃、深厚、排水良好的土壤上生长良好; 生长海拔约 400–2 100 m	滕雪梅, 2010
党参 <i>Codonopsis pilosula</i>	喜温、喜湿、耐寒; 适宜生长的温度为 8–15℃; 幼苗喜潮湿、荫蔽、怕强光; 大苗至成株喜阳光充足; 适宜在土层深厚,排水良好,土质疏松而富含腐殖质的砂壤土栽培,生于海拔约 1 560–3 100 m 的山地林边及灌丛中	马红霞, 2023

4.2 选择合适的种植模式

蜜粉源种植可以从多个维度实现农业景观的多样化,包括田间内部(如混养)、田间边缘(如绿篱和野花种植园)或整个田间(如轮作和覆盖种植)。在自然生境中,田间边缘种植蜜粉源植物是缓冲集约农业影响和保护野生传粉者最广泛的做法之一(Sardiñas and Kremen, 2015)。例如,Pywell 等(2011)在最佳管理措施中建议在单一作物景观边缘引入蜜粉源植物作为传粉者觅食和避难的额外场所。已经有研究发现绿篱的恢复增加了田块边缘传粉者的丰富度(Hannon and Sisk, 2009)。此外,在依赖传粉者的作物中,边缘种植蜜粉源花带是恢复生境最有效的措施(Morandin and Kremen, 2013)。其效益包括防治病虫害、减少水土流失、增加生物多样性、净化空气、涵养水源(Whitehouse *et al.*, 2018)。围绕蜜蜂授粉薄弱环节,以转变农作物授粉方式、推进农药减施增效为重点,在农田周边的非功能地带种植野生蜜粉源植物,为传粉昆虫提供食物源和栖息地,充分发挥野生传粉昆虫和家养蜜蜂的授粉作用,辅以科学用药指导方案,促进作物的座果率、优品率,推进农民降本增收、产业提档增效。

4.3 充分发挥政府的牵头作用

政府牵头,企业和科研机构协同帮扶是推进蜜粉源种植的重要合作模式。云南省沧源佤族自治县有着得天独厚的养蜂资源,但贫困和落后的技术阻

碍了养蜂的发展。2020 年 12 月,中国东航与中国农业科学院蜜蜂研究所、沧源自治县人民政府共同签署了《蜜蜂产业帮扶合作协议》,以技术振兴和人才振兴持续支持蜂蜜产业创新发展。在广而深的调研之后,将米团花作为沧源特色蜜粉源大规模种植,在东航公司的推动下,全县组织以扦插的方式试种米团花树超 67 hm²,蜂农人均增收 1 000 元以上。同时,中国农业科学院蜜蜂研究所对沧源米团花蜜进行深入研究,探究了黑色米团花蜂蜜的主要呈色化合物及其形成机制,得出其含有多种生物活性成分、具备抑菌与抗氧化等功能的研究结论,为中国打造高端优质特色蜂蜜提供了理论依据(Yan *et al.*, 2022)。沧源县的蜜粉源种植成功带动了当地养蜂业的发展,在这项实践中,政府的牵头作用,企业的资金支持,科研机构的技术支持和科学指导缺一不可,也为我国其他地区推广特色蜜粉源植物种植、促进养蜂业可持续发展和保护生物多样性,提供了一个可参考的经典案例。

5 小结与展望

近些年,随着全面实施乡村振兴战略的提出,在国家政策支持和各地政府的重视下,中国养蜂业进入了蓬勃发展的时期。我国的养蜂数量从“十二五”时期(2016 年)的 900 多万群发展到“十三五”

时期(2020 年)的 1 442 万群,尤其是本土中华蜜蜂的数量从 300 万群发展到 671 万群(数据来源:2023 年第六届世界蜜蜂日祝词)。养蜂业和蜜粉源种植是密切相关的,蜜粉源种植需要跟上养蜂业发展的脚步,二者协同作用,共同促进养蜂业的可持续发展。此外,蜜粉源种植还能助力农业发展。蜜蜂和野生授粉昆虫的壮大,能够增强作物授粉环节;蜜粉源植物吸引害虫天敌实现生物防治,保护作物,减少农药的使用。使蜂业更好地融入农业,拓宽蜂业发展空间。所谓“磨刀不误砍柴工”,前期的蜜粉源植物种植对该地区后续养蜂业的发展有着不可忽视的作用,“蜜粉源花海”“蜜粉源药田”“蜜粉源果园”还可以带动当地旅游业、农业的发展。科学的蜜粉源植物种植符合可持续发展的要求,长期来看,由蜜蜂与蜜粉源之间良性的相互作用关系所形成的潜在价值极为可观,蜜粉源植物种植的前期投入是值得的。

参考文献 (References)

Abrol DP, Gorka AK, Ansari MJ, Al-Ghamdi A, Al-Kahtani S, 2019. Impact of insect pollinators on yield and fruit quality of strawberry. *Saudi J. Biol. Sci.*, 26(3): 524 – 530.

Ara Begum H, Idrees A, Afzal A, Iqbal J, Qadir ZA, Shahzad MF, Li ZG, Salah Shebl Ibrahim S, Alkahtani J, Li J, 2023. Impact of different pollen protein diets on the physiology of *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) workers from essential plant sources. *J. King Saud. Univ. Sci.*, 35(2): 102511.

Arien Y, Dag A, Zarchin S, Masci T, Shafir S, 2015. Omega-3 deficiency impairs honey bee learning. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 112(51): 15761 – 15766.

Barda M, Karamaouna F, Kati V, Perdakis D, 2023. Do patches of flowering plants enhance insect pollinators in apple orchards? *Insects*, 14(2): 208.

Barker RJ, 1977. Some carbohydrates found in pollen and pollen substitutes are toxic to honey bees. *J. Nutr.*, 107(10): 1859 – 1862.

Blitzer EJ, Gibbs J, Park MG, Danforth BN, 2016. Pollination services for apple are dependent on diverse wild bee communities. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 221: 1 – 7.

Branchiccela B, Castelli L, Corona M, Díaz-Cetti S, Invernizzi C, Martínez de la Escalera G, Mendoza Y, Santos E, Silva C, Zunino P, Antúnez K, 2019. Impact of nutritional stress on the honeybee colony health. *Sci. Rep.*, 9(1): 10156.

Brodschneider R, Crailsheim K, 2010. Nutrition and health in honey bees. *Apidologie*, 41(3): 278 – 294.

Castelli L, Branchiccela B, Garrido M, Invernizzi C, Porcini M, Romero H, Santos E, Zunino P, Antúnez K, 2020. Impact of nutritional stress on honeybee gut microbiota, immunity, and *Nosema ceranae* infection. *Microb. Ecol.*, 80(4): 908 – 919.

Cohen H, Smith GP, Sardiñas H, Zorn JF, McFrederick QS, Woodard SH, Ponisio LC, 2021. Mass-flowering monoculture attracts bees, amplifying parasite prevalence. *Proc. Biol. Sci.*, 288 (1960): 20211369.

Dong ZK, Xia MJ, Li C, Mu BF, Zhang ZY, 2021. A comparison of flower and grass strips for augmentation of beneficial arthropods in apple orchards. *Front. Sustain. Food Syst.*, 5: 697864.

Dzuga M, Sowa P, Kwaśniewska M, Wesółowska M, Czernicka M, 2017. Physicochemical parameters and antioxidant activity of bee honey enriched with herbs. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 72(1): 74 – 81.

Filipiak M, 2019. Key pollen host plants provide balanced diets for wild bee larvae: A lesson for planting flower strips and hedgerows. *J. Appl. Ecol.*, 56(6): 1410 – 1418.

Filipiak ZM, Denisow B, Stawiarz E, Filipiak M, 2022. Unravelling the dependence of a wild bee on floral diversity and composition using a feeding experiment. *Sci. Total Environ.*, 820: 153326.

Gagic V, Marcora A, Howie L, 2019. Additive and interactive effects of pollination and biological pest control on crop yield. *J. Appl. Ecol.*, 56(11): 2528 – 2535.

Gardener MC, Gillman MP, 2002. The taste of nectar – A neglected area of pollination ecology. *Oikos*, 98(3): 552 – 557.

Garibaldi LA, Aizen MA, Cunningham SA, Klein AM, 2009. Pollinator shortage and global crop yield: Looking at the whole spectrum of pollinator dependency. *Commun. Integr. Biol.*, 2(1): 37 – 39.

Garibaldi LA, Carvalheiro LG, Leonhardt SD, Aizen MA, Blaauw BR, Isaacs R, Kuhlmann M, Kleijn D, Klein AM, Kremen C, Morandin L, Scheper J, Winfree R, 2014. From research to action: Enhancing crop yield through wild pollinators. *Front. Ecol. Environ.*, 12(8): 439 – 447.

Goulson D, Lye GC, Darvill B, 2008. Decline and conservation of bumble bees. *Annu. Rev. Entomol.*, 53: 191 – 208.

Goulson D, Nicholls E, Botías C, Rotheray EL, 2015. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347(6229): 1255957.

Greenleaf SS, Kremen C, 2006. Wild bees enhance honey bees’ pollination of hybrid sunflower. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 103 (37): 13890 – 13895.

Hannon LE, Sisk TD, 2009. Hedgerows in an agri-natural landscape: Potential habitat value for native bees. *Biol. Conserv.*, 142(10): 2140 – 2154.

Hendriksma HP, Oxman KL, Shafir S, 2014. Amino acid and carbohydrate tradeoffs by honey bee nectar foragers and their implications for plant-pollinator interactions. *J. Insect Physiol.*, 69: 56 – 64.

Horstmann N, Brodschneider R, Fleischmann PH, Crailsheim K, 2005. Unlike nectar foragers, honeybee drones (*Apis mellifera*) are not able to utilize starch as fuel for flight. *Apidologie*, 36(4): 547 – 557.

Jack CJ, Uppala SS, Lucas HM, Sagili RR, 2016. Effects of pollen dilution on infection of *Nosema ceranae* in honey bees. *J. Insect Physiol.*, 87: 12 – 19.

- Khan KA, Ghramh HA, Ahmad Z, 2022. Honey bee (*Apis mellifera jemenitica*) colony performance and queen fecundity in response to different nutritional practices. *Saudi J. Biol. Sci.*, 29(5): 3151 – 3156.
- Kremen C, Williams NM, Aizen MA, Gemmill-Herren B, LeBuhn G, Minckley R, Packer L, Potts SG, Roulston T, Steffan-Dewenter I, Vázquez DP, Winfree R, Adams L, Crone EE, Greenleaf SS, Keitt TH, Klein AM, Regetz J, Ricketts TH, 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: A conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecol. Lett.*, 10(4): 299 – 314.
- Leonhardt SD, Blüthgen N, 2012. The same, but different: Pollen foraging in honeybee and bumblebee colonies. *Apidologie*, 43(4): 449 – 464.
- Li Z, Huang Q, Zheng Y, Zhang Y, Li X, Zhong SQ, Zeng ZJ, 2022. Identification of the toxic compounds in *Camellia oleifera* honey and pollen to honey bees (*Apis mellifera*). *J. Agric. Food Chem.*, 70(41): 13176 – 13185.
- M' Gonigle LK, Ponisio LC, Cutler K, Kremen C, 2015. Habitat restoration promotes pollinator persistence and colonization in intensively managed agriculture. *Ecol. Appl.*, 25(6): 1557 – 1565.
- Ma HX, 2023. Selection and improvement of soil for planting *Codonopsis pilosula* in Dingxi, Gansu. *Agric. Eng. Tech.*, 43(33): 62 – 63. [马红霞, 2023. 甘肃定西地区党参种植土壤的选择与改良. 农业工程技术, 43(33): 62 – 63]
- MacInnis G, Forrest JRK, 2019. Pollination by wild bees yields larger strawberries than pollination by honey bees. *J. Appl. Ecol.*, 56(4): 824 – 832.
- Mattila HR, Otis GW, 2006. Influence of pollen diet in spring on development of honey bee (Hymenoptera: Apidae) colonies. *J. Econ. Entomol.*, 99(3): 604 – 613.
- Mayack C, Naug D, 2015. Starving honeybees lose self-control. *Biol. Lett.*, 11(1): 20140820.
- Montaser M, Ali AT, Sayed AM, Abdelmohsen UR, Zidan EW, Orfali R, Rateb ME, Zaki MA, Hassan HM, Mohammed R, Hifnawy MS, 2022. ¹H-NMR metabolic profiling, antioxidant activity, and docking study of common medicinal plant-derived honey. *Antioxidants*, 11(10): 1880.
- Morandin LA, Kremen C, 2013. Bee preference for native versus exotic plants in restored agricultural hedgerows. *Restor. Ecol.*, 21(1): 26 – 32.
- Pecenka JR, Ingwell LL, Krupke CH, Kaplan I, 2023. Implementing IPM in crop management simultaneously improves the health of managed bees and enhances the diversity of wild pollinator communities. *Sci. Rep.*, 13(1): 11033.
- Pywell RF, Meek WR, Hulmes L, Hulmes S, James KL, Nowakowski M, Carvell C, 2011. Management to enhance pollen and nectar resources for bumblebees and butterflies within intensively farmed landscapes. *J. Insect Conserv.*, 15(6): 853 – 864.
- Rader R, Bartomeus I, Garibaldi LA, Garratt MPD, Howlett BG, Winfree R, Cunningham SA, Mayfield MM, Arthur AD, Andersson GKS, Bommarco R, Brittain C, Carvalheiro LG, Chacoff NP, Entling MH, Foully B, Freitas BM, Gemmill-Herren B, Ghazoul J, Griffin SR, Gross CL, Herbertsson L, Herzog F, Hipólito J, Jaggard S, Jauker F, Klein AM, Kleijn D, Krishnan S, Lemos CQ, Lindström SAM, Mandelik Y, Monteiro VM, Nelson W, Nilsson L, Pattemore DE, de O Pereira N, Pisanty G, Potts SG, Reemer M, Rundlöf M, Sheffield CS, Scheper J, Schüepp C, Smith HG, Stanley DA, Stout JC, Szentgyörgyi H, Taki H, Vergara CH, Viana BF, Woyciechowski M, 2016. Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 113(1): 146 – 151.
- Requier F, Odoux JF, Henry M, Bretagnolle V, 2017. The carry-over effects of pollen shortage decrease the survival of honeybee colonies in farmlands. *J. Appl. Ecol.*, 54(4): 1161 – 1170.
- Richards AJ, 2001. Does low biodiversity resulting from modern agricultural practice affect crop pollination and yield? *Ann. Bot.*, 88(2): 165 – 172.
- Roulston TH, Cane JH, 2000. Pollen nutritional content and digestibility for animals. *Plant Syst. Evol.*, 222(1): 187 – 209.
- Sáez A, Negri P, Viel M, Aizen MA, 2019. Pollination efficiency of artificial and bee pollination practices in kiwifruit. *Sci. Hortic.*, 246: 1017 – 1021.
- Sardiñas HS, Kremen C, 2015. Pollination services from field-scale agricultural diversification may be context-dependent. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 207: 17 – 25.
- Schulz R, Bub S, Petschick LL, Stehle S, Wolfram J, 2021. Applied pesticide toxicity shifts toward plants and invertebrates, even in GM crops. *Science*, 372(6537): 81 – 84.
- Silva CAS, Godoy WAC, Jacob CRO, Thomas G, Camara GMS, Alves DA, 2018. Bee pollination highly improves oil quality in sunflower. *Sociobiology*, 65(4): 583 – 590.
- Simcock NK, Gray HE, Wright GA, 2014. Single amino acids in sucrose rewards modulate feeding and associative learning in the honeybee. *J. Insect Physiol.*, 69: 41 – 48.
- Simone-Finstrom M, Li-Byarlay H, Huang MH, Strand MK, Rueppell O, Tarpy DR, 2016. Migratory management and environmental conditions affect lifespan and oxidative stress in honey bees. *Sci. Rep.*, 6: 32023.
- Sørensen PB, Strandberg B, Bruus M, Kjær C, Larsen S, Hansen RR, Damgaard CF, Strandberg M, 2020. Modelling risk of competitive effects from honeybees on wild bees. *Ecol. Indic.*, 118: 106749.
- Sowa P, Tarapatskyy M, Puchalski C, Jarecki W, Dżugan M, 2019. A novel honey-based product enriched with coumarin from *Melilotus* flowers. *J. Food Meas. Charact.*, 13(3): 1748 – 1754.
- St Clair AL, Zhang G, Dolezal AG, O' Neal ME, Toth AL, 2020. Diversified farming in a monoculture landscape: Effects on honey bee health and wild bee communities. *Environ. Entomol.*, 49(3): 753 – 764.
- Stevenson PC, Nicolson SW, Wright GA, 2017. Plant secondary metabolites in nectar: Impacts on pollinators and ecological functions. *Funct. Ecol.*, 31(1): 65 – 75.
- Tang QH, Li WL, Wang ZW, Dong ZX, Li XJ, Li JL, Huang Q, Cao Z, Gong W, Zhao YZ, Wang MZ, Guo J, 2023. Gut microbiome

helps honeybee (*Apis mellifera*) resist the stress of toxic nectar plant (*Bidens pilosa*) exposure: Evidence for survival and immunity. *Environ. Microbiol.*, 25(10): 2020–2031.

Teng XM, 2010. Cultivation technology of *Cirsium japonicum* for vegetable and medicinal purposes. *Beijing Agric.*, (4): 17. [滕雪梅, 2010. 莱菔兼用植物大蓟的栽培技术. 北京农业, (4): 17]

Tillman G, 2017. Ecosystem-based incorporation of nectar-producing plants for stink bug parasitoids. *Insects*, 8(3): 65.

Tscharntke T, Klein AM, Kruess A, Steffan-Dewenter I, Thies C, 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – Ecosystem service management. *Ecol. Lett.*, 8(8): 857–874.

Vanderplanck M, Moerman R, Rasmont P, Lognay G, Wathelet B, Wattiez R, Michez D, 2014. How does pollen chemistry impact development and feeding behaviour of polylectic bees? *PLoS ONE*, 9(1): e86209.

Waller GD, 1972. Evaluating responses of honey bees to sugar solutions using an artificial-flower feeder. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 65(4): 857–862.

Wang F, Yin TM, 2015. Standardized cultivation technology of *Leonurus japonicus*. *Hebei Agric.*, (11): 12–13. [王飞, 尹铁民, 2015. 益母草规范栽培技术. 河北农业, (11): 12–13]

Wang Y, Ma LT, Hang XB, Yang WR, Liu F, Xu BH, 2014. Digestion of protein of two pollen types in China by the honeybee (*Apis mellifera* L.). *Apidologie*, 45(5): 590–600.

Whitehouse TS, Sial AA, Schmidt JM, 2018. Natural enemy abundance in southeastern blueberry agroecosystems: Distance to edge and impact of management practices. *Environ. Entomol.*, 47(1): 32–38.

Winfree R, 2010. The conservation and restoration of wild bees. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1195(1): 169–197.

Wright GA, Mustard JA, Simcock NK, Ross-Taylor AAR, McNicholas LD, Popescu A, Marion-Poll F, 2010. Parallel reinforcement pathways for conditioned food aversions in the honeybee. *Curr. Biol.*, 20(24): 2234–2240.

Wright GA, Nicolson SW, Shafir S, 2018. Nutritional physiology and ecology of honey bees. *Annu. Rev. Entomol.*, 63: 327–344.

Xun LJ, Huang XQ, Li QY, Yang S, Wang YH, 2020. Effects of different bee pollens on the expression of major royal jelly protein genes and the yield, quality and composition of royal jelly of *Apis mellifera*. *Chin. J. Anim. Nutr.*, 32(2): 856–869. [荀利杰, 黄新球, 李琼艳, 杨爽, 王艳辉, 2020. 不同蜂花粉对西方蜜蜂蜂王浆主蛋白基因表达及蜂王浆产量、质量和组成的影响. 动物营养学报, 32(2): 856–869]

Yan S, Wang X, Wang WQ, Peng WJ, Wang K, Huang JX, Wu LM, Tian WL, Xue XF, 2022. Identification of pigmented substances in black honey from *Leucosceptrum canum*: Novel quinonoids contribute to honey color. *J. Agric. Food Chem.*, 70(11): 3521–3528.

Zhang JC, Lin SX, Zhang QH, He TB, Lin CH, 2013. Research on biological characteristics and GAP cultivation technology of Ginseng. *Till. Cultiv.*, (2): 56–58. [张家春, 林绍霞, 张清海, 何腾兵, 林昌虎, 2013. 玄参生物学特性及 GAP 栽培技术研究. 耕作与栽培, (2): 56–58]

Zheng YJ, Liu XB, Peng XY, Wang J, Jin XE, Wu XC, Zeng JG, 2019. Toxic nectar plants and toxicity in China. *J. Bee*, 39(2): 1–8. [郑亚杰, 刘秀斌, 彭晓英, 王峻, 金秀娥, 吴晓翠, 曾建国, 2019. 我国有毒蜜源植物及毒性. 蜜蜂杂志, 39(2): 1–8]

Zhu PY, Liang R, Qin Y, Xu HX, Zou Y, Johnson AC, Zhang FC, Gurr GM, Lu ZX, 2023. Extrafloras and floral nectar promote biocontrol services provided by parasitoid wasps to rice crops. *Entomol. Gen.*, 43(5): 971–979.

(责任编辑: 赵利辉)