

蓝莓蜂授粉技术应用进展

李亦菲 秦加敏 展江 梁铨

(云南省农业科学院蚕桑蜜蜂研究所, 蒙自 661101)

摘要: 蓝莓是高度依赖蜂类授粉的作物, 授粉作为高产优质的关键环节, 对蓝莓产业的发展十分重要。本文围绕蓝莓产业概况、传粉生物学、不同蜂类授粉特性及在蓝莓上的应用、影响蓝莓蜂授粉效果的因素等方面展开总结论述, 并对未来蜂授粉在蓝莓上的应用提出思考与展望, 为更好应用蓝莓蜂授粉技术, 促进产业高质量发展提供参考。

关键词: 蓝莓; 蜂; 传粉; 品质; 展望

Progress in the application of bee pollination technology for blueberries

LI Yi-fei QIN Jia-min ZHAN Jiang LIANG Cheng

(Sericulture and Apiculture Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Mengzi 661101, Yunnan Province, China)

Abstract: Blueberry cultivation is highly reliant on bee-mediated pollination. Given its critical role in ensuring both high yield and superior quality, effective pollination significantly contributes to the advancement of the blueberry industry. This paper systematically reviews the current state of the blueberry industry, explores the biological aspects of pollination, examines the pollination characteristics of various bee species and their applications in blueberry production, and analyzes factors influencing bee pollination efficiency. Additionally, it outlines future directions and prospects for enhancing bee pollination in blueberries, offering valuable insights to improve the application of blueberry pollination technology and foster sustainable, high-quality industry growth.

Key words: blueberry; bee; pollination; quality; prospect

蓝莓, 又称越橘, 属杜鹃花科 (Ericaceae) 越橘属 (*Vaccinium spp.*), 是一种新兴的小浆果类果树植物的总称, 全世界发现分布有400余种^[1]。作为兼具较高营养与经济价值的特色果树^[2], 蓝莓产业近年来在我国呈现高速发展态势, 然而其生产过程中面临授粉效率不足的问题, 已成为影响果实坐果率、产量及商品品质的关键限制因素。所以, 蓝莓花期的授粉是种植中十分重要的关键环节, 直接影响到蓝莓的产量和品质。蜂类作为蓝莓主要的传粉媒介, 蓝莓花期引入人工饲养的蜂群提升授粉效能, 可显著增加果实单果重、可溶性固形物含量及维生素水平, 进而提升产品商业价值^[3-6]。不同蜂种, 包括蜜蜂、熊蜂和独居蜂

等, 对蓝莓授粉存在显著的生物特性差异, 每个物种对蓝莓生产的贡献不同^[7]。但目前关于蓝莓蜂授粉技术的系统性研究仍显不足, 本文旨在总结蓝莓蜂授粉技术应用进展, 为更好支持蓝莓产业高质量发展提供基础。

1 我国及云南蓝莓产业发展概况

我国蓝莓产业发展可以追溯至20世纪80年代, 当时主要集中在东北地区, 以引进国外品种为主, 种植面积小、产量低。90年代开始, 我国自主培育的蓝莓品种相继问世, 种植面积逐步扩大。进入21世纪, 随着人们生活、认知水平的提高, 蓝莓市场需求迅速增长, 伴随着现代化农业的发展, 我国蓝莓产业进入快

基金项目: 国家蜂产业技术体系 (CARS-44-SYZ 14); 云南省科技人才与平台计划 (202405AD350070); 蚕蜂所青年创新基金 (QC2024009)

作者简介: 李亦菲, 女, 云南楚雄人, 硕士, 研究实习员, 从事研究方向为农作物蜂授粉与绿色防控, E-mail: 1043808856@qq.com

通讯作者: 梁铨, 男, 农业推广硕士, 副研究员, 研究方向为农业授粉蜂资源保护与利用, E-mail: lc@yaas.org.cn

速发展时期，形成了东北、西北、西南为主要产区的蓝莓产业格局。2020年后我国蓝莓栽培面积和产量持续稳居全球第一，2024年我国蓝莓栽培面积9.588万 hm^2 ，全国蓝莓总产量78万 t ^[8,9]。西南地区成为我国近年来蓝莓种植规模发展最快产区。其中，云南蓝莓产业近年来呈现爆发式增长（增长率186%，位居全国第一），2024年云南蓝莓种植面积14320 hm^2 ，产量18.29万 t ，产量位居全国第一。基质设施栽培技术的应用让蓝莓产业进入3.0时代，云南基质设施栽培面积和产量分别为10933 hm^2 和16.48万 t ，基质设施蓝莓栽培面积和产量均位居全国第一^[8]。其中，红河州基质设施盆栽模式种植蓝莓面积超6667 hm^2 （10万亩），占全国该模式的60%以上，总产值突破120亿元。云南因其独特的高原气候条件，蓝莓种植品种丰富，涵盖了早熟、中熟和晚熟三季，形成品种错峰格局。不同品种在口感、营养价值和产量上存在显著差异，满足不同市场需求。目前，云南已成为全国蓝莓种植和出口的优质核心产区。蒙自市凭借低纬高原气候优势，实现蓝莓早熟上市，2024年出口量达1425 t ，远销至东南亚市场，占全国蓝莓出口总量的50%以上。综上，我国蓝莓产业发展迅猛，云南成为主要的设施基质盆栽蓝莓产区，优质高效种植配套技术还需集成，特别是授粉环节还需进一步加强研究。

2 蓝莓的传粉生物学

2.1 开花生物学特性

不同蓝莓品种的开花物候特征差异显著。如兔眼蓝莓在温暖地区物候提前，而北方高丛蓝莓对低温的依赖性强，这是由于原生地气候条件的不同。如，安徽省黄山地区的高丛蓝莓品种，花期为3月中下旬至4月上旬，花期为13~20 d ^[10]，云南设施基质盆栽高丛蓝莓单花花期为6~8 d ，花期可从9月持续至来年5月，有边开花边结果的现象。而贵州省麻江县的兔眼蓝莓，花期为28~31 d ，单花期为8 d ^[11]。魏建华等^[12]研究发现栽培条件的不同蓝莓的单花花期不同，大棚栽培单花花期可达6~10 d ，而露天为5~6 d 。所以，蓝莓的开花物候特性，受到品种、气候、种植区域和栽培条件差异的影响，而且蓝莓还存在二次或多次开花现象^[13]。

2.2 花部结构与授粉适应性

蓝莓花序为总状花序，花单生或双生在叶腋间。花朵颜色为白色或淡粉色，花瓣基部联合，4裂或5裂。花冠呈钟形或坛形，开口朝下，雄蕊群环状排列

于花冠内侧，雌蕊柱头隐藏在花冠内，被雄蕊包围，柱头高于雄蕊^{[11][14]}。这种结构使得风媒或体型较小的昆虫难以有效授粉^[15]，需要蜜蜂帮助传粉、授粉。部分高丛蓝莓品种虽能自花授粉，但结实率较低，需要配置授粉树提高产量^[16]，且通过蜜粉的异花传粉效果才明显。蓝莓的花部结构特征使得蓝莓成为典型的虫媒异花授粉作物，加上蓝莓的自交不亲和性，使其产量与品质高度依赖高效传粉者。

2.3 蓝莓对授粉媒介的需求

蓝莓的栽培品种主要有三大类：高丛蓝莓、矮丛蓝莓和兔眼蓝莓。不同蓝莓品种的授粉需求不同，包括自花授粉和异花授粉。自交不亲和性使得自花授粉的授粉效果差，坐果率低，所以通过选育和筛选异花授粉的品种来增加授粉结实率。高丛蓝莓在同一类群蓝莓品种中筛选适授粉的授粉品种套种授粉，而兔眼蓝莓品种的自交不孕性，需要依靠和其他类群品种交叉来实现异花授粉，这种异花花粉落于雌蕊柱头的过程需要依靠传粉昆虫来实现。研究发现，蓝莓异花授粉后的花粉管生长速度快于自花授粉，自花授粉会加速胚珠的退化，使得授粉失败^[17]。连片种植的蓝莓，缺少传粉昆虫，引入人工饲养繁育的蜜蜂增加蓝莓异花授粉的概率，蓝莓果实中的种子数量增加，促进果实膨大和成熟^[18]。而蓝莓最佳授粉所需要的蜂种类和个体数量取决于蓝莓品种的授粉需求，但这方面的研究报道较少。

3 不同授粉蜂的特性及在蓝莓上的应用

3.1 不同授粉蜂的特性差异

授粉蜂种类丰富且特性不一（详见表1）。蜜蜂的授粉优势在于体形小，群势较强，授粉作物广泛，但缺点是活动受限于较低温度，大棚设施种植的蓝莓，蜜蜂容易撞棚死亡。而熊蜂适合于长花冠类作物的振动授粉，体形大，活动温度阈值低，适应大棚设施环境，认为是设施作物授粉的理想蜂种，但是受限于高温活性低，群势小，饲养难度大。其他类蓝莓授粉蜂比如野生蜜蜂和独居蜂，这类蜜蜂的巢穴筑在土地周围的灌木丛中或土层里，对田间植被的多样性和土壤生态环境要求较高^[19]，不适应于集约化单一化的设施大棚蓝莓种植。蓝莓属于灌木果树，壁蜂是一种适合于给果树授粉的蜂种，国外有研究报道壁蜂在蓝莓上的授粉能力，并且存在商业化培育应用潜力^[20,21]，但在国内并无学者报道其在蓝莓上的授粉能力和效果^[22]。综上，在蓝莓上的商业化授粉蜂为熊蜂和

表1 不同授粉蜂种特性及优缺点

蜂种类型	典型物种	授粉机制	优点	缺点	参考文献
熊蜂	<i>Bombus terrestris</i>	震动授粉	高频震动匹配蓝莓花药，单次访问坐果率40%~60%；耐低温（≥8℃活动）；趋光性弱，适用设施温室授粉活动	租赁成本高；易受高温（>32℃）抑制活动	[23-25]
西方蜜蜂	<i>Apis mellifera</i>	被动刷取授粉	规模化养殖成熟，蜂群数量易调控；蜜源不足时可人工补饲，易管理；集中采集力强	震动频率低，花粉释放率<20%；低温（<15℃）活性差；抵抗能力弱	[26]
东方蜜蜂	<i>Apis cerana</i>	被动刷取授粉	与本地生态系统高度协同；抗病虫害能力强；低温高效性，出勤时间长	震动频率低；偏好分散采集，集中授粉能力相对弱；蜂群稳定性差，易分蜂	[27]
切叶蜂	<i>Megachile rotundata</i>	腹部刷取/滚动式授粉	单雌蜂日均访花2000朵，效率为熊蜂的4倍，授粉效率极高；耐高温干旱（35℃下保持活性）	专一性强；需人工巢管诱导定居，规模化成本高；雨季易受真菌感染（死亡率>30%）；低温适应性差	[28]
壁蜂	<i>Osmia vacciniophila/Osmia ribifloris</i>	刷取/滚动式授粉（非震动）	耐湿耐雨（雨天访花率保持60%）；低温活性，高温缓冲（温度适应范围在8℃~35℃）	生态环境要求高；需人工巢管诱导定居，并且定期更换巢管，规模化成本高；高温适应性差	[21][29]
无刺蜂	<i>Tetragonula carbonaria</i>	体毛黏附授粉	适应热带高温高湿环境（RH>80%）；无蜇刺风险，适合观光果园	体型小（4~5 mm），适配兔眼蓝莓小花品种；活动范围小，授粉覆盖有限；不耐低温	[30]
本土野生蜂	<i>Habropoda laboriosa</i>	震动/刷取混合授粉	与本地生态系统高度协同；抗病虫害能力强	种群数量不稳定，商业化利用难；缺乏标准化管理技术	[31]

蜜蜂，其他蜂种除壁蜂外，还未能验证在蓝莓上的授粉能力和效果。熊蜂的震动授粉在设施蓝莓授粉中占据绝对优势，其次蜜蜂能够规模化饲养批量补充授粉蜂群，成为重要的角色，而壁蜂、切叶蜂等独居蜂、无刺蜂的挖掘利用，可增加蓝莓授粉蜂的多样性。

3.2 蓝莓蜂授粉效果与蜂种适配

蓝莓蜂授粉效果的研究主要从授粉方式对比、蜂种效果评估和授粉效率优化三个方面聚焦，而结论也呈现区域性差异。吴光安等^[32]的研究结果显示，熊蜂授粉的蓝莓坐果率为75.38±0.67%，比蜜蜂授粉增加了25.50%，平均单果重为2.25±0.02 g，比蜜蜂授粉增加了23.63%，每株产量为5182.2±76.5g，比蜜蜂授粉增加了7.1%。然而，钟义海等^[33]的研究结果则不同，中华蜜蜂（中蜂）为海南设施蓝莓授粉的坐果率和平均单果重分别为82.38%、3.10±0.12 g，均显著高于熊蜂的64.91%、2.81±0.09 g，二者研究结果相反，可能是蓝莓品种和地区气候差异造成的，海南气温较高，不利于熊蜂的生存。赵东绪等^[34]从意大利蜜蜂（意蜂）和中蜂的授粉行为方面比较，意蜂的访花时长、

单位面积采集蜂数量和携粉量都显著高于中蜂，意蜂具有更高的授粉效率。Sun等^[35]比较了熊蜂、意蜂和中蜂在北高丛蓝莓“蓝丰”上的差异，熊蜂访花时间最长，访花效率最高。虽然，不同蜂种对蓝莓的授粉效果和授粉行为存在差异，但蜜蜂和熊蜂都适用于蓝莓授粉。而双蜂或多蜂协作的授粉模式可以弥补单一蜂种的授粉缺陷。在蓝莓授粉的前期使用熊蜂授粉，后期使用蜜蜂授粉，熊蜂和蜜蜂在蓝莓授粉期互补协作，可以显著提高蓝莓授粉效率^[36]。马炎等^[37]发现中蜂和熊蜂联用，对蓝莓的授粉效果最好，授粉覆盖率达90%以上。所以，在实际应用中，蓝莓蜂授粉效果与蜂种选择相适配，蜂种选择策略应与种植场景、区域气候适配^[38]，因地制宜，可发挥蜂授粉在蓝莓产业应用中的效果最大化。

4 影响蓝莓蜂授粉效果的因素

环境因素影响蜂授粉活动和蓝莓的开花授粉特性。阴雨天和大风天会降低蜂等访花昆虫的访花频率。其次，阴雨天气或湿度大，会在花冠口和花柱表面的水滴或形成水膜会降低蓝莓花粉活力和柱头可授

性,降低授粉率^[39]。不同蓝莓品种间的花部特征差异显著^[40],花部特征的基因型差异带来蓝莓花冠大小、花蜜含量和花朵密度差异,花部特征差异对蜂类访花授粉的吸引力不同^[41]。花冠口径大,花冠短的蓝莓品种有利于蜂授粉座果^[42],花蜜含量少的蓝莓品种则会对蜜蜂的吸引力减弱,从而降低授粉效率。此外,花龄是影响蓝莓授粉的重要因素,蓝莓花粉活力和柱头可授性最佳时期在开花后的前3 d^[43,44],随着花龄的增加授粉活力下降。除了花部特征和环境因素外,蓝莓病虫害管理措施带来的农药暴露和蜂群特性是影响蓝莓蜂授粉效率的重要因素。杀虫剂和杀菌剂等农药的使用对授粉蜂造成威胁,影响授粉蜂群的觅食访花能力、归巢能力、繁殖力和寿命,错过蓝莓最佳访花授粉时间。虽然,在蓝莓蜂授粉期间会调整病虫害管理措施,以减少对授粉蜂群的影响,但Graham等^[45]发现导致蜂群授粉效率降低的主要因素并不是暴露在蓝莓上的农药残留剂量,而是长期暴露在蓝莓地周边的农药漂移对授粉蜂群造成了致命影响。最后,除了选择适宜的蜂种外,强健的蜂群和蜂群群势保持的可持续管理也是影响蓝莓授粉效果的因素。授粉不足的情况下增加蜂箱数量,增加授粉蜂数量和密度,能显著增加蓝莓授粉效率而提高产量^[46]。高丛蓝莓种植中调控授粉蜂群密度,能保证每朵花平均获得6~7次蜜蜂访花,则植株60%的花朵可获得最佳柱头花粉沉积量^[47]。而高峰群密度在蓝莓地里授粉,过度的蜂访花授粉会损伤蓝莓柱头,授粉效果不佳,同时可能会引起蜂群病害流行,所以在适宜的蜂群数量情况下,加强蜂群的健康性,保持蜂群群势的可持续性能够获得更高的授粉效益^[48]。

环境因素、蓝莓花部特征与品种差异、病虫害管理措施带来的农药暴露和蜂群特性是影响蓝莓蜂授粉的关键因素,提高蓝莓蜂授粉效率需要考虑各方条件差异,多维度动态调控。

5 展望

本文从蓝莓产业发展现状剖析了蓝莓蜂授粉的市场潜力和重要性,从蓝莓的传粉生物学解析了蜂授粉与蓝莓的必然联系,从不同蜂种特性及在蓝莓上的应用阐述了蜂授粉在蓝莓上的技术应用现状。然而,除了农药对蜂群威胁问题,目前蓝莓蜂授粉技术应用还面临一些问题。首先,与欧美国家相比^[49],我国的蓝莓产业发展起步较晚,蓝莓蜂授粉技术标准化不足。其次,蜂群租赁带来的种植成本增加和农户对蜂授粉

带来的产业效益认可度不高,形成了经济与认知障碍。最后,无人机授粉和振动式授粉机器人已经进入使用和试验阶段,虽然,目前还存在损伤花器、授粉精度不足导致的果实畸形问题^[50,51],但未来人工智能的机械授粉探索可能会对蓝莓蜂授粉带来替代技术冲击。

未来蓝莓蜂授粉技术应围绕生态安全、标准化、本土化和智能化方向突破,应关注区域性气候特征与蓝莓产业发展模式。通过研发低毒农药与绿色防控技术降低蜂群生态风险,建立蜂种适配标准及管理规范,开发选育本土蜂种并解析花-蜂-生境互作机制,同时推动智能监测系统与蜂授粉技术的精准释放协同应用,结合政策扶持与产业协作,构建多学科交叉的生态友好型授粉体系,最终实现“蓝莓+蜂”的产业提质增效与可持续发展。

参考文献

- [1] Eck P. Blueberry science [J]. Blueberry Science, 1988.
- [2] 李殿鑫,戴远威,陈伟,等. 蓝莓的营养价值及保健功能研究进展 [J]. 农产品加工, 2018, (4): 69-70+74.
- [3] Isaacs R, Kirk AK. Pollination services provided to small and large highbush blueberry fields by wild and managed bees [J]. Journal of Applied Ecology, 2010, 47:841 - 849.
- [4] 赵东绪,华启云,苏晓玲,等. 不同传粉方式对蓝莓品质提升效果的影响 [J]. 浙江农业科学, 2019, 60(7):1125-1128.
- [5] 李上星,顾燕梅,谭光仙,等. 意大利蜜蜂授粉对蓝莓产量与品质的影响 [J]. 贵州农业科学, 2018, 46 (2): 99-101.
- [6] 潘武,康启中,丁玉宇. 意蜂为蓝莓授粉效果初探 [J]. 安徽农学通报, 2019, 25 (01): 63+67.
- [7] Eraerts M, DeVetter LW, Bat ú ry P, et al. Synthesis of highbush blueberry pollination research reveals region-specific differences in the contributions of honeybees and wild bees[J]. Journal of Applied Ecology, 2023, 60 :2528 - 2539.
- [8] 刘庆忠,崔冬冬,朱东姿. 世界及中国蓝莓产业现状 [J]. 落叶果树, 2024, 56 (4): 1-7.
- [9] 李亚东,刘成,魏鑫,等. 2024年中国蓝莓产业发展报告 [J]. 吉林农业大学学报, 2025, 47 (1): 1-14.
- [10] 王林,陈黎,万志兵. 蓝莓开花结实生物学特性研究 [J]. 安徽林业科技, 2011, 37 (6): 19-22.
- [11] 戴雪香,樊莹,范文穗,等. 蓝莓泌蜜动态及中华蜜蜂的授粉效果 [J]. 贵州农业科学, 2017, 45 (01): 91-94.
- [12] 魏建华,刘林德,张莉,等. 大棚蓝莓与露天蓝莓传粉生态特性比较研究 [J]. 江苏农业科学, 2020, 48 (10): 149-157.
- [13] 和志娇,杨雅涵,和加卫,等. 3个蓝莓品种花芽分化特性比较研究 [J]. 中国果树, 2024, (9): 48-56.
- [14] 莫爱琼,胡晓颖,高丽霞. 两个蓝莓品种花器官的形态特征观察 [J]. 热带亚热带植物学报, 2015, 23 (3): 295-300.
- [15] 张舵,刘成,刘有春,等. 不同授粉方式对蓝莓坐果率及果实

- 品质的影响[J]. 中国果树, 2023, (6): 54–58.
- [16] 刘建华, 王刘杰, 汪苑, 等. 蓝莓早熟品种异花授粉效果对比试验[J]. 安徽农学通报, 2020, 26 (17): 56+86.
- [17] 杨芬, 罗莉, 罗娅, 等. 自花和异花授粉对蓝莓花粉管动力学的的影响[J]. 中国果树, 2020, (5): 20–25.
- [18] 樊莹, 王承均, 侯萍, 等. 中华蜜蜂为蓝莓授粉效果初探[J]. 蜜蜂杂志, 2015, 35 (3): 14–15.
- [19] Campbell WJ, Kimmel BC, Bammer M, et al. Managed and wild bee flower visitors and their potential contribution to pollination services of low-chill highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.; Ericales: Ericaceae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2018, 111 (5): 2011–2016.
- [20] West TP, McCutcheon TW. Evaluating *Osmia cornifrons* as pollinators of highbush blueberry[J]. International Journal of Fruit Science, 2009, 9(2):115–125.
- [21] Sampson B, Stringer S, Marshall D. Blueberry floral attributes and their effect on the pollination efficiency of an oligolectic bee, *Osmia ribifloris* Cockerell (Megachilidae: Apoidea)[J]. HortScience, 2013, 48(2):136–142.
- [22] 欧阳芳, 门兴元, 肖治术. 我国壁蜂传粉的作物种类与生态效益[J]. 应用昆虫学报, 2022, 59 (6): 1276–1285.
- [23] Goulson D. Bumblebees: their behaviour and ecology [J]. Choice Reviews Online, 2004, 41 (6): 41–3443.
- [24] Velthuis HHW, van Doorn A. A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination [J]. Apidologie, 2006, 37 (4): 421–451.
- [25] Woodrow C, Jafferis N, Kang Y, et al. Buzz-pollinating bees deliver thoracic vibrations to flowers through periodic biting [J]. Current biology : CB, 2024, 34 (18): 4104–4113.
- [26] Klein AM, Vaissiere BE, Cane JH, et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops[J]. Proceedings: Biological Sciences, 2007, 274(1608):303–313.
- [27] 王华堂, 李良斌, 陈海玉, 等. 中蜂的传粉作用研究 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (1): 84–91.
- [28] Theresa LPS, James HC. The alfalfa leafcutting bee, *Megachile rotundata*: the world’s most intensively managed solitary bee[J]. Annual Review of Entomology, 2011, 56(1):221–237.
- [29] Bosch J, Kemp WP. Developing and establishing bee, species as crop pollinators: The example of *Osmia spp.* (Hymenoptera: Megachilidae) and fruit trees[J]. Bulletin of Entomological Research, 2002, 92(1):3–16.
- [30] Heard, Tim A. The role of stingless bees in crop pollination[J]. Annual Review of Entomology, 1999, 44(1):183–206.
- [31] Pascarella JB. Pollination biology of *Gelsemium sempervirens* L. (Ait.) (Gelsemiaceae): do male and female *Habropoda laboriosa* F. (Hymenoptera, Apidae) differ in pollination efficiency?[J]. Journal of Apicultural Research, 2010, 49(2):170–176.
- [32] 吴光安, 尹园园, 陈浩, 等. 地熊蜂和意大利蜜蜂为设施蓝莓授粉效果比较研究 [J]. 中国蜂业, 2019, 70 (9): 68–70.
- [33] 钟义海, 韩文素, 王释婕, 等. 设施蓝莓中华蜜蜂和地熊蜂访花行为及授粉效果比较研究 [J]. 热带农业科学, 2022, 42 (11): 33–36.
- [34] 赵东绪, 苏晓玲, 华启云, 等. 意大利蜜蜂和中华蜜蜂为蓝莓授粉的行为比较研究 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (1): 187–192.
- [35] Sun, QZ, Xingnan Wu, Lei Zhao, et al. Differences in pollination efficiency among three bee species in a greenhouse and their effects on yield and fruit quality of northern highbush ‘Bluecrop’ blueberry[J]. HortScience, 2021, 56(5):603–607.
- [36] Miñarro M, García D. Complementary contribution of wild bumblebees and managed honeybee to the pollination niche of an introduced blueberry crop[J]. Insects, 12(7):595.
- [37] 马炎, 邬诗雨, 景开旺, 等. 蜜蜂授粉对蓝莓着果率和品质的影响试验初报 [J]. 南方农业, 2022, 16 (19): 15–18.
- [38] 唐茜, 刘婷, 王宁宁. 熊蜂与蜜蜂对设施蓝莓授粉习性及其授粉效果分析 [J]. 中国南方果树, 2017, 46(5):107–109.
- [39] 杨芬, 唐露, 李性苑, 等. 阴雨对蓝莓花粉活力和柱头可授性的影响 [J]. 北方园艺, 2015, (3): 47–49.
- [40] 黎华君, 周文才, 万炜, 等. 贵州蓝莓泌蜜散粉规律及储蜜量研究 [J]. 蜜蜂杂志, 2022, 42 (1): 5–8.
- [41] Cromie J, Ternest JJ, Komatz PA, et al. Genotypic variation in blueberry flower morphology and nectar reward content affects pollinator attraction in a diverse breeding population [J]. BMC Plant Biology, 2024, 24 (1): 814–814.
- [42] 杨芬, 任永权, 李性苑, 等. 兔眼蓝莓花冠形态对果率和果实性状的影响 [J]. 中国南方果树, 2014, 43 (03): 43–46.
- [43] Brevis PA, Nesmith DS, Wetzstein HY. Flower age affects fruit set and stigmatic receptivity in rabbiteye blueberry[J]. HortScience, 2006, 41(7):1537–1540.
- [44] Kirk AK, Isaacs R. Predicting flower phenology and viability of highbush blueberry [J]. HortScience, 2012, 47 (9): 1291–1296.
- [45] Graham KK, Milbrath MO, Zhang Y, et al. Pesticide risk to managed bees during blueberry pollination is primarily driven by off-farm exposures[J]. Scientific Reports, 2022, 12:7189.
- [46] Arrington M, DeVetter LW, et al. Increasing honey bee hive densities promotes pollination and yield components of highbush blueberry in Western Washington [J]. HortScience, 2018, 53 (2): 191–194.
- [47] Mejía RFA, Chacoff PN, Lomáscolo BS, et al. Optimal pollination thresholds to maximize blueberry production [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2024, 365:108903.
- [48] Grant KJ, DeVetter L, Melathopoulos A. Honey bee (*Apis mellifera*) colony strength and its effects on pollination and yield in highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum*). PeerJ, 2021, 9:e11634.
- [49] Benito C, Cecilia S, Hugo VM, et al. Native bees with floral sonication behaviour can achieve high - performance pollination of highbush blueberry in Chile [J]. Agricultural and Forest Entomology, 2022, 25 (1): 91–102.
- [50] 张华, 朱婷倩, 张运来, 等. 设施番茄精准授粉机器人研究进展 [J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55 (06): 798–808.
- [51] Ranjan S, Matthew DW, Dawood A, et al. Robotics for crop pollination: recent advances and future direction[J]. TechRxiv, 2024. 