

# 熊蜂授粉研究的文献计量分析及其对蓝莓授粉应用的启示

赵婉如 李福森 宋凯\*

长春师范大学生命科学学院, 吉林 长春 130032

**摘要:** 熊蜂 (*Bombus* spp.) 作为重要的传粉昆虫, 在全球生态系统和农业生产中扮演着关键角色。其独特的震动授粉 (buzz pollination) 机制使其在多种作物的授粉中表现出高效性。本文旨在通过文献计量学方法, 系统分析 2005 年至 2024 年间 Web of Science 核心合集数据库 (WoSCC) 中“熊蜂与授粉”领域的研究文献, 揭示其发展态势、主要贡献者、研究热点和国际合作格局。分析结果显示, 该领域研究呈现稳步增长趋势, 英国、中国、美国是主要的研究产出国家; Potts, Simon Geoffrey 等学者及中国科学院等机构在该领域具有显著学术影响力; 研究成果广泛发表于生态学、昆虫学、农业科学及综合性期刊。基于这些宏观分析, 本文进一步探讨了熊蜂授粉研究对提升蓝莓 (*Vaccinium* spp.) 授粉效率和品质的潜在应用价值与未来研究方向, 旨在为推动熊蜂资源的有效利用、促进蓝莓产业可持续发展以及深化传粉生物学研究提供科学参考。

**关键词:** 熊蜂; 授粉; 文献计量学; 蓝莓; 可持续农业

DOI: 10.63887/fns.2025.1.2.8

## 引言

传粉是陆地生态系统中大多数开花植物有性生殖的关键环节, 对于维持生物多样性和保障粮食安全至关重要<sup>[1-2]</sup>。在众多传粉媒介中, 昆虫, 特别是蜂类, 贡献了主要的授粉服务。熊蜂 (*Bombus* spp.) 隶属于蜜蜂总科 (Apoidea) 蜜蜂科 (Apidae) 熊蜂属, 是全球分布广泛且种类繁多的社会性蜂类, 以其高效的传粉能力而备受关注<sup>[3-4]</sup>。

熊蜂的一个显著特征是其“震动授粉” (buzz pollination 或 sonication) 行为。许多植物 (如茄科、杜鹃花科的多种植物) 的花药为孔裂式, 花粉不易自然散出。熊蜂能够通过快速振动其胸部飞行肌, 产生高频振动传递至花药, 使花粉从花药孔中高效释放<sup>[5-6]</sup>。这一独特的授粉机制使得熊蜂在为这类植物授粉时, 往往比其他传粉者 (如蜜蜂) 具有更高的效率。此外, 熊蜂通常体型较大、被毛浓密,

能携带更多花粉; 它们对低温、弱光等不良环境条件的耐受性也相对较强, 活动时间更长, 从而扩大了其授粉服务的时间和空间窗口<sup>[7-9]</sup>。

鉴于熊蜂在授粉服务中的重要性, 以及近年来全球传粉昆虫 (包括熊蜂) 种群面临的多种威胁 (如栖息地丧失、农药使用、气候变化、病原体传播等), 对熊蜂及其授粉作用的研究日益受到重视<sup>[10-11]</sup>。了解该领域的研究现状、发展趋势、主要贡献力量和热点方向, 对于制定科学的熊蜂保护策略、优化其在农业生产中的应用以及深化传粉生态学研究具有重要意义。

文献计量学作为一种定量分析科学文献的有效工具, 能够通过特定领域文献的统计和可视化分析, 揭示其知识结构、演化路径和前沿动态。本研究旨在: (1) 基于 Web of Science 核心合集数据库, 采用文献计量学方法, 对 2005 年至 2024 年间“熊蜂与授粉”研究领域

的文献进行系统分析，包括发文趋势、国家/地区贡献、核心作者与机构、主要期刊以及合作网络等；(2) 在此基础上，重点探讨熊蜂授粉研究的成果与进展，特别是其震动授粉机制，对于提升特定经济作物——蓝莓 (*Vaccinium spp.*) 的授粉效率和果实品质的潜在应用价值及未来研究方向。

## 1. 材料与方法

### 1.1 数据来源与检索策略

本研究数据来源于科睿唯安 (Clarivate Analytics) 的 Web of Science 核心合集数据库 (WoSCC)。于 2024 年 10 月 31 日执行检索，检索主题词 (TS) 设定为“Bumblebee”AND“pollination”。时间跨度限定为 2005 年至 2024 年，文献类型限定为“Article”和“Review”。检索结果以“全记录与引用的参考文献”的纯文本格式导出，用于后续分析。

### 1.2 分析工具与指标

采用 VOSviewer (version 1.6.18) 软件进行文献计量可视化分析，包括共现分析 (国家

/地区、作者、关键词) 和网络可视化。分析指标主要包括：发文量 (NP)、总被引频次 (NC)、篇均被引频次 (AC)、H 指数、合作网络特征、期刊分布及影响因子 (IF) 等。

## 2. 结果与分析：熊蜂授粉研究的文献计量概况

### 2.1 国家/地区层面分析

全球共有 53 个国家/地区对“熊蜂与授粉”领域的研究做出了贡献。

发文量与影响力：如表 1 所示，英国 (NP=71)、中国 (NP=63) 和美国 (NP=60) 是发文量最高的前三个国家。英国在篇均被引频次 (AC=42.83) 和 H 指数 (H=31) 方面均表现突出，显示其在该领域研究的领先质量和深远影响力。加拿大、法国和美国的研究也具有较高的平均影响力。中国的发文量虽位居第二，但篇均被引频次 (AC=12.98) 相对较低，提示在提升单篇文献的国际影响力方面尚有提升空间。图 1A 展示了发文量排名前 5 的国家每年的发文情况，反映了这些国家在该领域的持续关注和投入。

表 1 “熊蜂与授粉”研究领域发文量排名前 10 的国家/地区 (2005–2024 年)

Rank	Country	NP	NC	AC	H-index
1	United Kingdom	71	3041	42.83	31
2	China	63	818	12.98	17
3	USA	60	1641	27.35	25
4	Germany	37	899	24.30	15
5	Japan	36	606	16.83	15
6	Spain	25	533	21.32	13
7	Canada	24	953	39.71	13
8	Belgium	21	661	31.48	14
9	France	20	580	29.00	13
10	Sweden	18	283	15.72	10

国际合作网络：国家合作网络图 (图 1B) 和和弦图 (图 1C) 显示，英国和美国是国际合作网络的核心，与其他国家合作广泛。

美国与中国、英国与德国之间形成了尤为紧密的合作关系，这对于推动该领域的全球性研究进展至关重要。

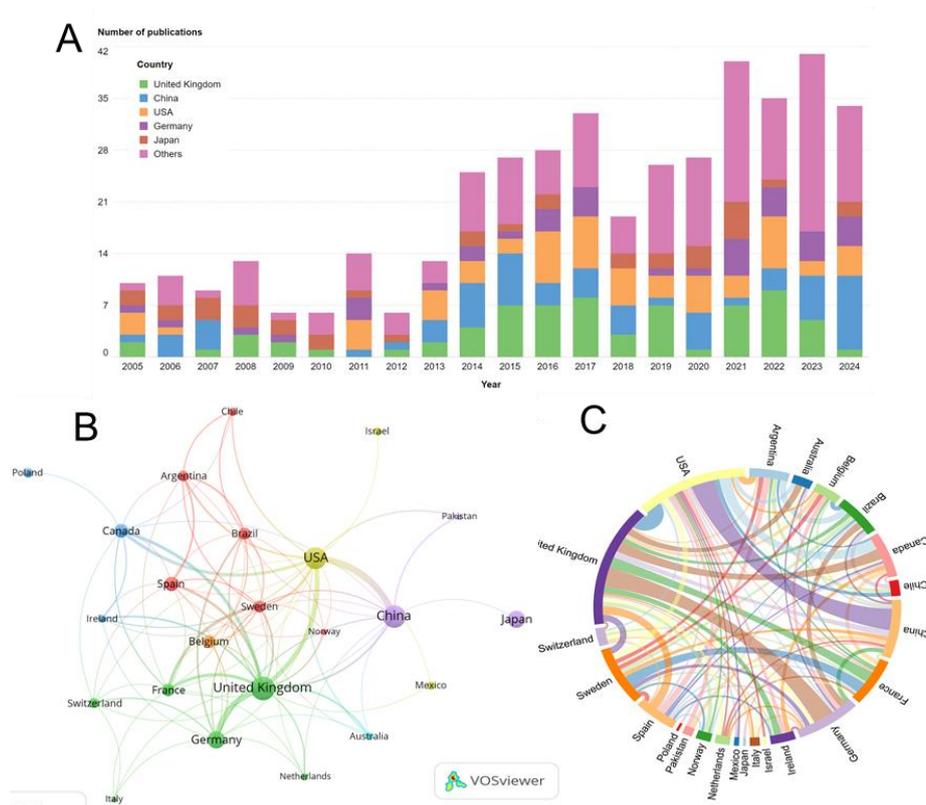


图 1. A 国家发文量分布图, B 国家合作网络图, C 国家合作和弦图

## 2.2 作者层面分析

共有 1378 名作者参与了该领域的研究。

核心作者识别：表 2 列出了发文量排名前 10 的作者。Potts, Simon Geoffrey 和 Vallejo-Marín, Mario 以 9 篇的发文量并列第一。

Raine, Nigel E. 的篇均被引频次 (AC=114.17) 极高, 显示其研究成果的重大影响力。Potts, Simon Geoffrey 和 Garratt, Michael 的 H 指数也较高 (均为 8), 他们与 Goulson, David 等共同构成了该领域的核心作者群。

表 2 “熊蜂与授粉” 研究领域发文量排名前 10 的作者 (2005-2024 年)

Rank	Author	NP	NC	AC	H-index
1	Potts, Simon Geoffrey	9	641	71.22	8
2	Vallejo-Marín, Mario	9	300	33.33	7
3	Garratt, Michael	8	579	72.38	8
4	Goulson, David	7	509	72.71	6
5	Stanley, Dara A.	7	468	66.86	6
6	Smagghe, Guy	7	373	53.29	6
7	Schiestl, Florian P.	7	260	37.14	4
8	Kudo, Gaku	7	128	18.29	6
9	Raine, Nigel E.	6	685	114.17	5
10	Chittka, Lars	6	250	41.67	5

作者合作网络：作者合作网络图 (图 2) 显示, 领域内形成了一些研究团队, 但团队间

的合作以及与独立研究者的合作尚有加强空间, 更广泛的合作将有利于知识的交叉与创新。

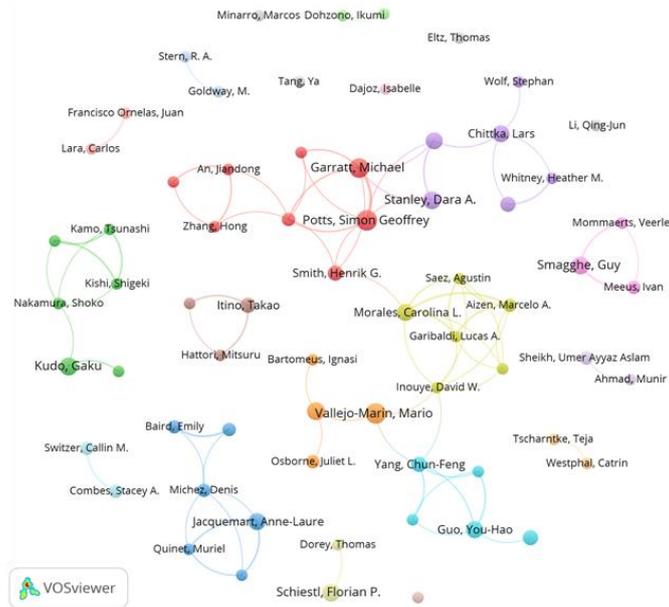


图 2 作者合作网络图

### 2.3 机构层面分析

共有 535 个研究机构对该领域有文献贡献。

核心研究机构：表 3 显示，中国科学院 (CHINESE ACAD SCI) 发文量 (NP=25) 和

H 指数 (H=11) 均居首位，是该领域最具影响力的研究机构之一。英国雷丁大学 (UNIV READING) 和斯特灵大学 (UNIV STIRLING) 也表现突出，后者篇均被引频次 (AC=55.18) 最高，显示其研究成果的高质量。

表 3 “熊蜂与授粉”研究领域发文量排名前 10 的机构 (2005-2024 年)

Rank	Organization	NP	NC	AC	H-index
1	CHINESE ACAD SCI	25	302	12.08	11
2	UNIV READING	13	668	51.38	10
3	UNIV STIRLING	11	607	55.18	10
4	UNIV CHINESE ACAD SCI	10	118	11.80	7
5	ROCKY MT BIOL LABS	9	387	43.00	7
6	WUHAN UNIV	9	205	22.78	8
7	LUND UNIV	8	210	26.25	7
8	HOKKAIDO UNIV	8	198	24.75	7
9	UNIV GHENT	7	373	53.29	6
10	UNIV ZURICH	7	260	37.14	4

机构合作网络：机构合作网络图 (图 3)

表明，主要研究机构间已形成较为紧密的合作网络，这有利于资源整合和协同创新。

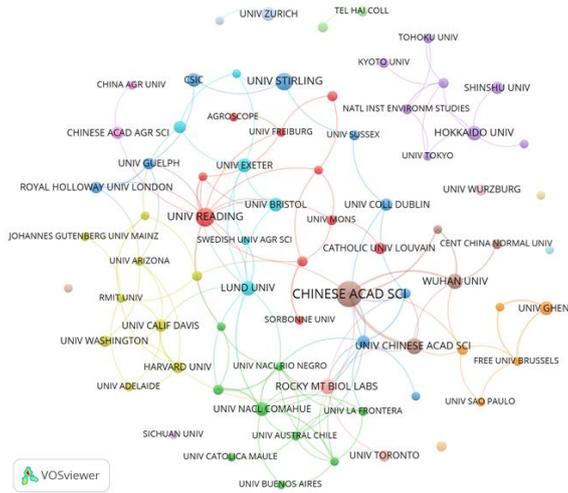


图 3 机构合作网络图

### 2.4 期刊层面分析

主要载文期刊：表 4 左侧列出了发文量排名前 10 的期刊。AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT (IF=6) 是发文最多的期刊，其次是 ECOLOGY AND EVOLUTION (IF=2.3) 和 PLOS ONE (IF=2.9)。这些期刊覆盖了农业生态、进化生物学、综合科学等多个领域，反映了熊蜂授粉

研究的多学科交叉特性。

高影响力被引期刊：表 4 右侧列出了被引频次排名前 10 的被引期刊。ECOLOGY (IF=4.4) 被引次数最高，其次是 OECOLOGIA 和 AM J BOT。这表明生态学和植物学的基础理论期刊是熊蜂授粉研究的重要知识来源。SCIENCE (IF=44.8) 的高影响因子也显示了顶尖期刊对该领域突破性进展的关注。

表 4 “熊蜂与授粉”研究领域发文量与被引频次排名前 10 的期刊 (2005-2024 年)

Ran k	Journals	N P	Country	IF(JCR20 23)	Cited journals	N C	Count ry	IF(JCR20 23)
1	AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT	17	Netherla nds	6	ECOLOG Y	67 0	USA	4.4
2	ECOLOGY AND EVOLUTION	13	USA	2.3	OECOLO GIA	57 4	Germa ny	2.4
3	PLOS ONE	12	USA	2.9	AM J BOT	50 3	USA	2.4
4	APIDOLOGIE	11	France	2.4	J APPL ECOL	43 7	United Kingd om	5.0
5	PLANT BIOLOGY	10	Germany	4.2	PLOS ONE	42 4	USA	2.9
6	FUNCTIONAL ECOLOGY	9	United Kingdo m	4.6	P ROY SOC B-BIOL SCI	42 3	United Kingd om	3.8

7	JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY	9	United Kingdom	5	SCIENCE	396	USA	44.8
8	SCIENTIFIC REPORTS	9	United Kingdom	3.8	OIKOS	375	Denmark	3.1
9	ARTHROPOD-PLANT INTERACTIONS	9	Netherlands	1.2	ECOLOGICAL LETTERS	373	United Kingdom	7.6
10	AMERICAN JOURNAL OF BOTANY	9	USA	2.4	EVOLUTION	362	USA	3.1

期刊共被引与知识流动：期刊共被引网络（图 4）和双图叠加分析（图 5）揭示了该领域的核心期刊群及其知识流动路径。

主要的知识流向是从基础的“植物学、生态学、动物学”领域向应用性更强的“生态学、地球科学、海洋科学”等领域发展，反映了研究从理论基础到应用实践的演进。

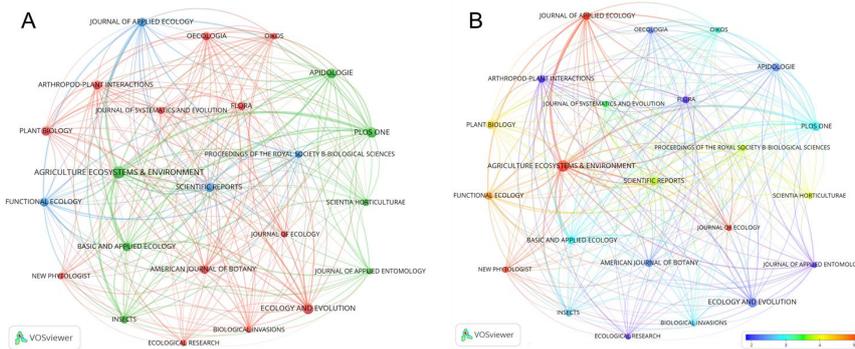


图 4. A 期刊共引用网络图(耦合分析), B 发文期刊影响因子叠加

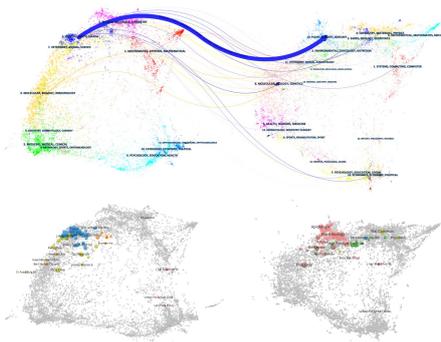


图 5 期刊双图叠加

### 3 讨论：熊蜂授粉研究对蓝莓授粉应用的启示与展望

上述文献计量分析为我们描绘了“熊蜂与授粉”研究领域的宏观图景。这些研究成果，特别是关于熊蜂授粉机制、效率、影响因素及

其在不同作物中应用的研究,对于提升蓝莓(*Vaccinium* spp.)的授粉管理水平具有重要的启示意义。

### 3.1 熊蜂震动授粉机制对蓝莓授粉的特殊价值

蓝莓花具有坛状或钟状花冠和孔裂式花药,传统授粉昆虫如蜜蜂难以高效获取其花粉。而熊蜂的震动授粉能力恰好能够克服这一物理障碍。文献计量分析中,核心作者如 Vallejo-Marín, M. (其研究方向包含震动授粉)的研究,以及植物学、生态学期刊(如 AM J BOT, PLANT BIOLOGY, FUNCTIONAL ECOLOGY)上发表的相关成果,为理解熊蜂如何通过振动高效释放蓝莓花粉提供了理论基础。Vallejo-Marín 等人(2020)的田间实验(如素材中提及)直接证实了熊蜂授粉能使蓝莓坐果率提高超过 30%,并缩短果实成熟期。这充分说明,将熊蜂授粉研究中关于震动授粉的原理和应用经验推广到蓝莓生产中,具有巨大的增产提质潜力。

### 3.2 熊蜂对环境的适应性与蓝莓授粉的稳定性

熊蜂通常能在较低温和阴天条件下活动,这对于早春开花或高海拔、气候多变地区的蓝莓尤为重要。文献中关于熊蜂生态适应性、觅食行为与环境因子关系的研究(常见于 ECOLOGY, OECOLOGIA, AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT 等期刊),为选择和管理适应特定蓝莓产区气候条件的熊蜂种类提供了依据。利用熊蜂的这一特性,可以弥补蜜蜂在不良天气下授粉不足的缺陷,提高蓝莓授粉的稳定性和可预测性。

### 3.3 商业熊蜂应用与蓝莓生产的结合

许多研究(如发表在 JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY, APIDOLOGIE 上的文章)关注商业熊蜂的饲养、管理及其在温室和露地作物中的应用效果。这些研究成果可以直接借

鉴用于蓝莓的商业化授粉。例如,如何选择合适的熊蜂种类、确定最佳的蜂群投放密度、蜂箱的布局和管理、以及如何与蓝莓的农事操作(如农药使用)相协调等,都是熊蜂授粉研究可以为蓝莓生产提供的实践指导。

### 3.4 熊蜂保护与蓝莓可持续农业

文献计量分析显示,熊蜂保护是该领域的一个重要议题(如 Goulson, D.等作者的研究)。农药使用、栖息地丧失等因素对熊蜂种群的威胁,同样也影响着蓝莓授粉服务的可持续性。因此,在蓝莓种植中推广熊蜂授粉,必须结合熊蜂保护的科研成果,倡导建立花源多样、农药友好和生态连通的农业景观。这不仅能保障蓝莓的授粉需求,也有助于维护区域生物多样性和生态系统的健康,实现作物增产和传粉者保护的双赢。

### 3.5 未来蓝莓授粉研究中可借鉴的方向

基于对“熊蜂与授粉”研究态势的分析,未来针对蓝莓授粉的研究可以侧重以下方向:

a) 特定品种的授粉优化。深入研究不同蓝莓品种的花部特征与不同熊蜂种类(包括本地熊蜂)的授粉匹配度,筛选最优的“蓝莓品种-熊蜂种类”组合。

b) 协同授粉机制与效应。探究熊蜂与蜜蜂或其他本地传粉昆虫在蓝莓授粉中的协同作用或竞争关系,优化多元化授粉策略。

c) 环境胁迫下的授粉管理。结合气候变化和农药使用背景,研究熊蜂在蓝莓田的适应性、行为变化及授粉效能,制定应对策略。

d) 智能化授粉监测与管理。利用现代技术(如传感器、图像识别)监测熊蜂在蓝莓园的活动和授粉效果,实现精准授粉管理。

e) 本土熊蜂资源的开发与利用。加强对蓝莓产区本地熊蜂资源的调查、保护和驯化利用研究,减少对商业进口熊蜂的依赖,降低生物入侵风险。

## 结论

本研究通过文献计量学方法分析了2005年至2024年间“熊蜂与授粉”领域的研究态势，揭示了该领域的主要贡献国家、核心作者与机构、主流期刊以及国际合作格局。研究表明，熊蜂授粉领域的研究持续活跃，并取得了丰硕成果。这些成果，特别是关于熊蜂震动授

粉机制、环境适应性、商业化应用以及种群保护的研究，为提升蓝莓等具有特殊授粉需求的作物的授粉效率和实现农业可持续发展提供了重要的理论依据和实践指导。未来，应进一步将熊蜂授粉的普适性研究成果与蓝莓的具体生产需求相结合，开展更具针对性的应用研究，以充分发挥熊蜂在现代蓝莓产业中的重要作用。

## 参考文献

- [1] 侯昕彤, 郑浩, 王凯. 传粉昆虫: 研究进展与展望[J]. 昆虫学报, 2025, 68(03): 253-259.
- [2] 刘玉玲, 徐凯, 何金明, 等. 飞行医生——传粉蜜蜂的新功能介绍[J]. 中国蜂业, 2024, 75(08): 42-43.
- [3] 徐春阳, 刘秀薇, 贺春玲, 等. 全球变化格局下重要传粉昆虫大蜜蜂的潜在适生区变化[J]. 昆虫学报, 2021, 64(11): 1313-1327.
- [4] 石敏, 刘琳琳, 李文敏, 等. 熊蜂授粉研究进展[J]. 中国蜂业, 2024, 75(02): 56-59+35.
- [5] 展江, 梁铨, 秦加敏. 草莓熊蜂授粉研究进展[J]. 蜜蜂杂志, 2023, 43(09): 19-22.
- [6] 黄训兵, 李辉, 代晓彦, 等. 熊蜂行为特性与授粉应用研究进展[J]. 山东农业科学, 2021, 53(08): 130-137.
- [7] 赵博光, 徐梦阳. 设施番茄生产中的熊蜂授粉技术[J]. 农业工程技术, 2018, 38(10): 92-93.
- [8] 高勇, 郑建立, 廖甜甜, 等. 设施蓝莓授粉好帮手——熊蜂[J]. 果农之友, 2017, (12): 22.
- [9] 唐茜, 刘婷, 王宁宁. 熊蜂与蜜蜂对设施蓝莓授粉习性及授粉效果分析[J]. 中国南方果树, 2017, 46(05): 107-109.
- [10] 周峰, 姚丽媛, 石涵, 等. 传粉熊蜂访花行为的研究进展[J]. 昆虫学报, 2023, 66(03): 419-438.
- [11] 赵亚周, 安建东, 周志勇, 等. 意大利蜜蜂和小峰熊蜂在温室桃园的传粉行为及其影响因素[J]. 昆虫学报, 2011, 54(01): 89-96.

基金项目: 吉林省科技厅中青年科技创新创业卓越人才(团队)项目(创新类): “蓝莓高产及功能性质开发技术团队”(20240601090RC)。

作者简介: 第一作者: 赵婉如, 在读硕士研究生, 研究方向为小浆果品质改良

通讯作者: 宋凯, 博士, 教授, 从事生物技术研究, songkai@ccsfu.edu.cn。