

西藏传粉昆虫研究进展

郑少秋¹, 达娃², 刘秀薇³, 普布¹

(1.西藏大学生态环境学院,西藏拉萨 850000;2.西藏自治区高原生物研究所,西藏拉萨 850000;3.云南省农业科学院农产品加工研究所,云南昆明 650032)

摘要:西藏因其得天独厚的自然生态和地理环境,孕育了许多珍稀和特有物种,是我国传粉昆虫资源不可或缺的组成部分。通过总结西藏地区传粉昆虫多样性、在生态系统中的作用、设施农业上的应用,以及其所面临气候、农药、入侵与引进物种等威胁的现状,结合现有保护对策分析西藏传粉昆虫存在的主要问题,提出可能解决的方向,为西藏今后对传粉昆虫多样性的保护和在设施农业上的应用提供重要的理论依据。

关键词:西藏传粉昆虫;现状;威胁;保护对策

中图分类号:S476.3

文献标识码:A

Research Progress on Pollinating Insects in Xizang

ZHENG Shaoqiu¹, Dawa², LIU Xiuwei³, Pubu¹

(1.College of Ecology and Environment, Xizang University, Lhasa Xizang 850000, China; 2. Institute of Plateau Biology, Xizang Autonomous Region, Lhasa Xizang 850000, China; 3. Institute of Agricultural Product Processing, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming Yunnan 650032, China)

Abstract: Due to its unique natural ecology and geographical environment, Xizang has given birth to many rare and endemic species, which are an indispensable part of China's pollinating insect resources. This review aims to summarize the diversity of pollinating insects in Xizang, their role in the ecosystem, their application in facility agriculture, and the current situation of threats they face, such as the climate, pesticides, invasive and introduced species. By combining existing protection measures and based on the above research, this review analyzes the main problems existing in pollinating insects in Xizang and proposes possible solutions for providing an important theoretical basis for the protection of pollinating insect diversity and their application in facility agriculture in the Xizang region in the future.

Key words: pollinating insects in Xizang; current situation; threat; protection countermeasures

西藏位于北纬 $26^{\circ}\sim 36^{\circ}$,东经 $78^{\circ}\sim 96^{\circ}$,面积约120多万平方公里,海拔一般在3000 m以上,高原中心地带超过4500 m,拥有号称世界屋脊的青藏高原,是青藏高原的组成部分^[1]。青藏高原分布着许多植物及特有物种,其中95.4%的植物由膜翅目、双翅目、鳞翅目昆虫授粉,仅不到4%的植物由鞘翅目昆虫、蝙蝠和鸟类授粉^[2]。1976—1981年,杨冠煌等人对西藏地区进行中华蜜蜂调查发现,山南、昌都、察隅、林芝等地区存有大量野生中蜂,少数当地农户会用传统的木桶

饲养中蜂^[3]。然而,全球气候变暖正在打破传粉昆虫和虫媒植物之间的同步性。1996—2009年,北极地区因气候变暖导致虫媒植物的开花季节缩短,传粉昆虫的数量随之减少^[4],因此,对于传粉昆虫多样性的保护已刻不容缓,这不仅关乎生态系统的稳定,也对保障粮食安全和推动设施农业可持续发展具有深远意义。西藏的传粉昆虫研究虽已取得一定进展,但整体仍处于起步阶段,深入研究西藏传粉昆虫的多样性、生态功能及其面临的威胁,并采取有效的保护对策,对于

收稿日期:2024-11-12

基金项目:基于吉隆沟生物多样性观测研究站的西藏特色生物资源调查与评估创新基地建设项目(XZ202301YD0007C)。

作者简介:郑少秋(2000—),男,硕士研究生,主要从事动物生态研究,E-mail:2605835758@qq.com。

通信作者:普布(1970—),男,硕士,副教授,主要从事动物生态研究,E-mail:purbuzd@163.com。

推动西藏乃至全球传粉昆虫多样性的保护和设施农业的发展具有重要的理论和实践价值。

1 西藏传粉昆虫多样性研究

西藏因其得天独厚的自然生态和地理环境,拥有丰富的昆虫代表类群,是世界上生物多样性最为典型的地区之一。已知西藏记载的昆虫有4 200余种,其中特有种1 000余种,约占1/4^[5]。从藏东南的热带雨林区到藏南的河谷区,再到藏北的高寒高原区,传粉昆虫的多样性及其分布呈现出显著的区域差异性。藏东南地区的传粉昆虫种类最多,以蝶类、蛾类、蜂类和食蚜蝇等为主,特有植物塔黄与蕈蚊形成了专化共生关系。其中墨脱一察隅区域不仅生态环境复杂多样、昆虫种类丰富、特有物种繁多,还保存了众多的古老类群和珍稀物种^[6],是许多动植物的模式标本采集地。藏南地区的传粉昆虫种类较多,以蜂类和蝇类等为主,本地熊蜂包括克什米尔熊蜂和苏氏熊蜂,为满足当地大规模的农业生产,引进了意大利蜜蜂(*Apis mellifera*)。藏北地区的传粉昆虫较为稀少但高度特化,以熊蜂和蓟马等耐寒类群为主。

传粉昆虫主要隶属于膜翅目、鳞翅目、双翅目、鞘翅目^[7]。自20世纪50年代开始,中国科学院组织了多次综合科学考察,取得了显著成效。陈世骧等(1982年)出版了《西藏昆虫》,共记录鳞翅目异角亚目29科、锤角亚目10科,双翅目9科,膜翅目16科;黄复生等(1988年)出版了《西藏南迦巴瓦峰地区昆虫》,共记录鳞翅目异角亚目27科,双翅目9科,膜翅目19科,鞘翅目30科;王保海(1992年)出版了《西藏昆虫区系及其演化》,为西藏昆虫的分类和区系研究提供了重要参考。

何潭通过多年考察并结合以往有关文献和西藏资源昆虫的研究,表明西藏的传粉昆虫以膜翅目蜜蜂总科为主,有200余种,少数为双翅目、鳞翅目、鞘翅目、半翅目^[8]。牛泽清等在2019—2021年期间对西藏自治区日喀则、林芝、那曲、山南和阿里等地调查发现,膜翅目昆虫有6科26属139种^[9];王香等在2019年对西藏地区食蚜蝇科昆虫进行地理分布统计与分析发现,双翅目食蚜蝇科昆虫有43属117种^[10];胡凡等人在2019—2021年对西藏自治区拉萨市、墨脱县、察隅县、吉隆县、芒康县、波密县、左贡县、错那县、朗县等地调查发现,鳞翅目的蝶类昆虫有12科

247属751种^[11];鞘翅目是西藏昆虫中一个比较大的类群,有771种,占西藏已知品种的1/6^[12]。2020年9月,达娃等在察隅县发现白灰蝶,增加了国内蝶类的地理分布。2023年11月,王敏等在墨脱县发现高夜蛾,打破了高夜蛾属此前仅两个物种的格局。随着西藏生物多样性相关研究取得的显著成果,将进一步提升西藏在全球生物多样性研究和生态系统保护领域的重要地位。

2 在维护生态系统中的重要作用

西藏地区典型的高原气候和独特的生态环境造就了生物的多样性,全世界约90%的野生植物和75%的粮食作物是由昆虫进行传粉^[13]。在青藏高原低温、多风和强辐射等恶劣环境的影响下,植物个体的花变得更小、花管更长、花蜜蔗糖更多,相应地蜜蜂传粉者的数量减少,从而导致了植物形成花粉限制^[14]。为了克服花粉限制,高海拔地区的植物通过自花授粉、风授粉、延长花期等策略来完成繁殖^[15-16],因此,长期以来被认为植物在高海拔地区不太依赖传粉昆虫生产种子。但是,近期的一项研究结果表明,青藏高原地区的开花植物高度依赖传粉昆虫生产种子,其中76.2%的种子生产是由传粉昆虫贡献,44.6%的植物在没有传粉昆虫访问的情况下不会产生种子^[17],这是因为虽然蜜蜂的访问率随着海拔高度的增加而显著下降,但是蝇类却保持不变^[18]。例如青藏高原地区的特有植物银露梅,64%的传粉昆虫为蝇类,25%的传粉昆虫为蜜蜂^[19]。

青藏高原及周边的山脉是全世界最大的熊蜂多样性热点地区^[20],其中西藏地区共记录有42种^[21]。与其他传粉昆虫相比,熊蜂在为生态系统提供授粉服务方面表现出一系列优势^[22]。其体覆厚厚的绒毛,对寒冷环境具有较强的适应能力,承担着许多野生和濒危植物的传粉任务。青藏高原一些物种丰富的植物群完全依赖熊蜂进行授粉,例如马先蒿属^[23]。西藏雪莲是西藏4 000~5 500 m的高山地区特有,其主要传粉昆虫为冰川熊蜂、白尾熊蜂和草地熊蜂^[24]。此外,一些虫媒植物还存在欺骗性传粉行为,其中兰科植物最为典型,例如西藏杓兰诱骗熊蜂蜂王为其传粉^[25]。

在农业生产上,传粉昆虫为水果、蔬菜、油料作物、谷物等农作物授粉,完成了全球近1/3的粮食产量^[26]。昆虫授粉不仅可以提高农作物的产量,而且还能改善农作物的质量,即提高或改

变粮食作物内含物如淀粉、蛋白质等的含量,增加油料作物的含油量,改善瓜果类作物果型的大小、匀称性及提高其内容物、维生素、微量元素等含量^[27]。显而易见,昆虫传粉能为日益增长的人口提供可持续的粮食安全保障。此外,有大量研究发现鳞翅目的蝶类和蛾类对环境变化特别敏感,被认为是监测环境变化的指示物种之一^[28]。通过监测传粉昆虫的种类、数量和行为,可以提前发现生态环境的潜在威胁并及时做出应对措施。因此,传粉昆虫是西藏地区生态系统的重要组成部分,能维持生态系统的动态平衡和相对稳定。

3 在设施农业上的应用

近年来,设施农业在青藏高原地区发展迅速,截至2018年,青藏高原地区的设施农业总面积达7 821.74 hm²^[29],拉萨市设施农业面积从2008年的616.12 hm²增加到了2018年的1 448.30 hm²^[30]。西藏自治区农业农村厅表示,到2030年的主要目标是进一步扩大全区现代设施农牧业规模,设施蔬菜产量占蔬菜总产量比重提升到40%,畜牧养殖规模化率达到45%^[31]。拉萨市堆龙德庆区目前已建成337栋温室大棚,主要以种植蔬菜为主,其蔬菜自给率达80%^[32]。

21世纪粮食安全的核心任务是建立持续的粮食增产和稳产系统,而持续的粮食增产离不开传粉昆虫^[33]。西藏大部分地区由于严寒、低温、干旱等恶劣气候环境的原因,农田主要分布在藏东三江流域和藏南雅鲁藏布江流域,耕地面积约22.67万hm²,占西藏总土地面积的0.18%^[34]。昆虫传粉是一项能够有效地提高农作物产量和质量、不扩大耕地面积、不增加生产投资的重要措施^[35],对西藏地区设施农业至关重要。西藏农牧科学院于2004年开展高原蜜蜂养殖技术越冬适应性试验获得成功,标志着西藏地区正式开启了蜜蜂养殖和授粉技术的应用。2021年的报告显示,针对番茄、草莓等温室农作物引入蜜蜂授粉替代人工激素,其授粉效率提升约25%。

西藏是中国五大牧区之一,其草原面积约占全国的30%。随着西藏地区设施畜牧业的迅速发展,对牧草的需求量也在持续增长^[36],牧草的好坏,对设施畜牧业的牛羊等食草动物的生长发育、畜产品的产量与品质、养殖成本及经济效益起到至关重要的作用。苜蓿作为高质量牧草不仅产量高、营养全、品质佳、适口性好,而且抗逆

性强,享有“牧草之王”的美誉,尤以紫花苜蓿最佳^[37]。苜蓿种子繁育主要依赖于昆虫传粉,一头蜜蜂的授粉服务效益可弥补3 500头苜蓿盲蝽所造成的种子损失^[38]。研究表明,蜜蜂为紫花苜蓿授粉无论是在哪种土地类型和种植模式下,均能显著提高紫花苜蓿种子的产量^[39]。同样是种植1 hm²的苜蓿田,对照田的苜蓿种子产量为60.30 kg,而放蜂田产量为124.65 kg,是对照田的两倍多^[40]。因此,传粉昆虫为苜蓿授粉能够有效地提高牧草的产量和品质,有利于西藏地区设施畜牧业的发展。

4 面临的威胁

随着气候变化、人为活动、农药滥用、外来物种入侵与引进等影响,全球传粉昆虫的数量和多样性正处于逐年递减的趋势,其多样性每10年平均减少约1%~10%^[41],在这样的全球背景下,西藏传粉昆虫也正面临着诸多威胁:

1)气候变暖导致雪莲的总体密度降低,其单位面积的花蜜产量减少了90%,相应地其传粉昆虫的数量和多样性也随之减少^[42]。2021年,陈恩勇等人发现云纹黛眼蝶和戈黛眼蝶只有雄蝶没有雌蝶并且种群数量极少,这表明如果藏东南地区气候环境再恶化,它们可能会从西藏消失^[43]。

2)草原生态系统覆盖了青藏高原60%以上的面积,这些草原由于海拔高、温度低,生态系统十分脆弱,对人为活动和全球变化很敏感^[44]。随着海拔的升高,栖息地覆盖率取代气候成为影响传粉昆虫的主要因素^[22],由于过度放牧和降水改变,高山草甸遭受严重退化,导致传粉昆虫的栖息地减少^[45]。

3)近年来温室大棚技术在西藏各地蓬勃发展,逐渐地改善了西藏物质匮乏的面貌,与此同时也导致了化学农药的大量使用^[46]。大多数当地农民非选择性地使用化学农药,并且有可能在农作物的开花期喷洒,喷洒对传粉昆虫毒性较高的农药,可能会造成传粉昆虫授粉效率降低甚至中毒死亡,从而导致农作物产量大幅度地下降^[47]。

4)中国是世界上遭受外来入侵物种危害最严重的国家之一,目前在已发现的660多种外来入侵物种中入侵昆虫数量约140余种^[48]。一方面,曼陀罗、印加孔雀草、野燕麦等恶性入侵植物已在西藏大势扩散并蔓延,一部分已经在西藏局

部地区成为了优势种群^[49]。随着入侵植物的快速生长并扩散,导致西藏本地植物的种类和数量减少,一些专化传粉昆虫将会失去蜜源而死亡。另一方面,还有意大利蜜蜂等引进传粉昆虫与本地传粉昆虫竞争,会导致西藏本地传粉昆虫的种类和数量减少。在这两方面的影响下,将会给西藏地区带来巨大的生态和经济损失,当务之急是实施一些有效的对策,来保护西藏地区的传粉昆虫多样性。

5 保护对策

针对传粉昆虫所面临的威胁,现阶段已从各个层面有了一些相应的保护对策。2023年4月通过了《中华人民共和国青藏高原生态保护法》,划定生态保护红线,严格保护重要生态系统,如高寒草甸、森林边缘和湿地等。目前,已建立了珠穆朗玛峰、拉鲁湿地、雅鲁藏布大峡谷、纳木措、色林措、羌塘等多个自然保护区。

相应地西藏也实施了一系列的保护措施,为了保护传粉昆虫的自然栖息地,藏族牧民自2003年以来一直遵循政府严禁在草原生长季节放牧的制度,以恢复和保护高山草甸^[45]。同时为了提高传粉昆虫在设施农业中的应用,鼓励西藏当地的蜂农采取科学的养蜂技术。2009年,西藏农牧科学院首次开展中华蜜蜂养殖技术改良与培训并进行了西藏中华蜜蜂资源调查^[50]。为了减轻化学农药对传粉昆虫的影响,2017年修订的《农药管理条例》对农药使用方法和范围提出了严格要求,规定使用者应当保护有益生物和珍稀物种,对高毒风险农药采取禁用或限用管理措施。为了防止传粉昆虫种质资源的流失,达娃等编纂的《西藏蝴蝶名录》首次系统、全面整理西藏分布的蝴蝶超600种,为制定西藏地区性传粉昆虫保护政策提供了初步的科学依据。

6 总结与展望

西藏传粉昆虫的研究还属于刚起步阶段,主要存在以下问题:1)西藏传粉昆虫本底不清,缺乏长期性的、系统性的监测与评估体系,难以准确把握传粉昆虫种群动态变化及与环境变化的关系;2)入侵与引进物种和本地传粉网络的相互作用机制不明确;3)在设施农业上应用传粉昆虫增产还没有很好的本土实例,缺乏科学的数据参考。

基于存在的问题,建议通过监测站点进行长

期监测,系统调查西藏本地传粉昆虫的种类、分布及生态功能,结合DNA条形码技术完善分类体系,建立西藏传粉昆虫数据库,及时掌握传粉昆虫的动态变化,为保护措施的实施提供科学依据;通过量化入侵与引进物种对传粉网络的生态影响,制定有效地防控对策;通过开展更多的田间调查和试验,对比自然授粉、人工授粉和传粉昆虫授粉的生产效率,以识别和利用本土有效的传粉昆虫,推动其在设施农业上的应用。随着对高原传粉昆虫多样性的保护和授粉服务功能的深入研究,西藏将会为全球传粉昆虫多样性保护与在设施农业上的应用奠定更为坚实有力的基础。

参考文献:

- [1] 黄复生.西藏独特的自然和它的昆虫[J].昆虫知识,1980(2):87-89.
- [2] TONG Z Y, WU L Y, HUANG S Q. Reproductive strategies of animal-pollinated plants on high mountains: A review of studies from the "Third Pole"[J]. Journal of Systematics and Evolution, 2021, 59(6): 1159-1169.
- [3] 杨冠煌.引入西方蜜蜂对中蜂的危害及生态影响[J].昆虫学报,2005(3):401-406.
- [4] HØYE T T, POST E, SCHMIDT N M, et al. Shorter flowering seasons and declining abundance of flower visitors in a warmer Arctic[J]. Nature climate change, 2013, 3(8): 759-763.
- [5] 王保海,黄复生,李宝海,等.西藏昆虫研究进展[J].中国工程科学,1999,1(3):86-92.
- [6] 黄复生,宋志顺,姜胜巧,等.西藏东南部边缘地区昆虫多样性的特点[J].西南农业学报,2006,19(2): 314-322.
- [7] 王菊.神农架农门河风景区农林交错带传粉昆虫多样性研究[D].武汉:湖北大学,2022.
- [8] 何潭.西藏的资源昆虫及其开发利用探讨[J].西藏农业科技,1990,12(1):22-23.
- [9] 牛泽清,吴清涛,周青松,等.第二次青藏高原综合科学考察:西藏蜜蜂类图鉴[M].北京:中国林业出版社,2022.
- [10] 王香,翟卿,曹龙,等.西藏食蚜蝇科昆虫地理分布与区系分析[J].西南农业学报,2019,32(9):2053-2060.
- [11] 胡凡.西藏蝶类物种多样性及区系分析[D].拉萨:西藏大学,2022.
- [12] 王保海,王翠玲,王文峰,等.西藏鞘翅类昆虫的分化研究[J].西藏科技,2008(5):73-77.
- [13] 徐春阳,刘秀徽,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.
- [14] LIU J Q, LI J L, LAI Y J. Plant diversity and ecology on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Journal of Systematics and Evolution, 2021, 59(6): 1139-1141.
- [15] WANG L L, ZHANG C, YANG M L, et al. Intensified wind pollination mediated by pollen dimorphism after range

- expansion in an ambophilous biennial *Aconitum gymnan-*
drum[J]. *Ecology and Evolution*, 2017, 7(2): 541-549.
- [16] WANG Y X, LIU Z J, ZHAO Z G, et al. Responses of floral longevity to pollination environments in 11 species from two alpine meadows [J]. *Biodiversity Science*, 2018, 26(5): 510-518.
- [17] XU Y W, SUN L, MA R, et al. Does pollinator dependence decrease along elevational gradients? [J]. *Plant Diversity*, 2023, 45(4): 446-455.
- [18] ZHAO Z G, WANG Y K. Selection by pollinators on floral traits in generalized *Trollius ranunculoides* (Ranunculaceae) along altitudinal gradients [J]. *PLoS One*, 2015, 10(2): e0118299.
- [19] WANG L L, YANG N C, CHEN M Y, et al. Polyploidization and sexual dimorphism of floral traits in a subdioecious population of *Dasiphora glabra* [J]. *Journal of Plant Ecology*, 2021, 14(2): 229-240.
- [20] WILLIAMS P H, BYSTRIAKOVA N, HUANG J X, et al. Bumblebees, climate and glaciers across the Tibetan plateau (Apidae: *Bombus Latreille*) [J]. *Systematics and Biodiversity*, 2015, 13(2): 164-181.
- [21] 黄家兴, 安建东. 中国熊蜂多样性、人工利用与保护策略 [J]. *生物多样性*, 2018(5): 486-497.
- [22] LIANG C B, LIU D X, JIANG F, et al. In plateaus, land cover replaced climate as the vital environmental factor on the spatial composition of bumblebees with the altitude rising [J]. *Ecological Entomology*, 2023, 48(4): 409-420.
- [23] LIANG H, ZHAO Y-H, RAFFERTY N E, et al. Evolutionary and ecological factors structure a plant-bumblebee network in a biodiversity hotspot, the Himalaya-Hengduan Mountains [J]. *Functional Ecology*, 2021, 35(11): 2523-2535.
- [24] 戴攀峰. 雪莲繁殖生态学研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2008.
- [25] 蒋宏, 杓兰: “女神之花” [J]. *森林与人类*, 2019(11): 56-67.
- [26] 张立微, 张红玉. 传粉昆虫生态作用研究进展 [J]. *江苏农业科学*, 2015, 43(7): 9-13.
- [27] 罗峰. 传粉昆虫: 被轻视的“濒危动物” [J]. *科技潮*, 2005(12): 48-49.
- [28] 黄浪. 九连山农林交错带传粉昆虫资源调查及油茶传粉初步研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2021.
- [29] HUI W, CHANGHE L, YAQUN L, et al. Spatial distribution and temporal changes of facility agriculture on the Tibetan Plateau [J]. *Resources Science*, 2019, 41(6): 1093-1101.
- [30] WEI H, C H L, K J Y. Spatial Distribution Datasets for Facility Agriculture in the Tibetan Plateau and Two Typical Regions [J]. *Journal of Global Change Data & Discovery*, 2019, 4: 364-369.
- [31] 西藏自治区农业农村厅. 关于印发《关于发展现代设施农牧业的实施意见》的通知 [J]. *西藏自治区人民政府公报*, 2023(11): 20-25.
- [32] 《西藏商报》报社. 西藏大力发展设施农业、城郊都市农业 [J]. *农业工程技术*, 2023, 43(21): 15-16.
- [33] 杨大荣. 传粉昆虫的研究进展 [J]. *云南农业科技*, 2018(S1): 3-7.
- [34] 章士美. 西藏农业昆虫考察简记 [J]. *江西植保*, 1984, 7(4): 5-6, 31.
- [35] 曾志将. 试谈蜜蜂授粉的重要性 [J]. *养蜂科技*, 1988(1): 24.
- [36] 巴桑. 西藏苜蓿牧草种植与饲草饲料加工技术研究 [J]. *农家参谋*, 2022(24): 45-47.
- [37] 王颖, 张宇, 朱猛蒙, 等. 苜蓿切叶蜂种群数量对苜蓿结实率和产量的影响 [J]. *植物保护学报*, 2023, 50(4): 1107-1108.
- [38] 刘红平, 金樑, 王晓娟. 苜蓿与传粉昆虫的互作 [J]. *草业科学*, 2008, 25(3): 56-60.
- [39] 刘祥伟. 蜜蜂为紫花苜蓿授粉的增产效果研究 [J]. *黑龙江农业科学*, 2011(2): 61-62.
- [40] 陈合明, 李瑞军, 张青文, 等. 苜蓿切叶蜂一年异地两次为苜蓿授粉的研究 [J]. *草地学报*, 1995(4): 289-296.
- [41] POTTS S G, BIESMEIJER J C, KREMEN C, et al. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers [J]. *Trends in ecology & evolution*, 2010, 25(6): 345-353.
- [42] MU J P, PENG Y H, XI X Q, et al. Artificial asymmetric warming reduces nectar yield in a Tibetan alpine species of Asteraceae [J]. *Annals of botany*, 2015, 116(6): 899-906.
- [43] 陈恩勇, 鲜春兰, 潘朝晖. 黛眼蝶属 5 种西藏新记录种记述 (鳞翅目: 蛱蝶科) [J]. *高原农业*, 2021(6): 559-563.
- [44] WANG L L, REN F, ZHANG C, et al. The effects of changes in flowering plant composition caused by nitrogen and phosphorus enrichment on plant-pollinator interactions in a Tibetan alpine grassland [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 964109.
- [45] GAO E L, WANG Y X, BI C, et al. Restoration of degraded alpine meadows improves pollination network robustness and function in the Tibetan plateau [J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2021, 9: 632961.
- [46] 朱权辉. 生物农药开发与运用的现状及其在西藏的前景和可行性初探 [J]. *河南农业*, 2021(23): 42-43.
- [47] 武文卿, 贺娟, 宋怀磊, 等. 苜蓿花期喷施阿维菌素对蜜蜂及野生传粉昆虫的影响 [J]. *中国植保导刊*, 2021, 41(12): 9-13.
- [48] 陈宏, 洗晓青, 谢骞, 等. 外来入侵昆虫数字化野外调查平台构建与应用 [J]. *应用昆虫学报*, 2023, 60(3): 1016-1026.
- [49] 庞博, 洪大伟, 扎西. 西藏农田入侵植物种类及防控策略 [J]. *西藏农业科技*, 2024, 46(3): 65-69.
- [50] 王文峰, 扎罗, 2016. 西藏中华蜜蜂资源分布及养蜂现状初报 [C] // 中国养蜂学会, 中国农业科学院蜜蜂研究所, 西藏自治区农牧科学院农业研究所. 二十一世纪第二届全国蜂业科技与蜂产业发展大会资料选. 北京: 中国养蜂学会: 219-220.