

利用声音收集监测蜂群状况研究进展

徐敏¹ 曾志将²

(1 江西农业大学蜜蜂研究所, 南昌 330045; 2 蜜蜂生物学与饲养江西省重点实验室, 南昌 330045)

摘要: 蜜蜂作为生态系统重要授粉昆虫, 对维持生物多样性及保障农业生产具有重要的生态价值。而蜂群崩溃失调 (CCD) 现象的频发, 使研发新型蜂群健康监测技术的需求显著上升。与传统的通过人工检查蜂箱内部蜂群健康状况的方法相比, 新提出的通过收集蜂箱内部蜂群声音交流的信息, 来监测、分析蜂群状况具有实时、便捷、智能等优势。本文将从声学信息特点出发, 介绍蜜蜂声音特点以及利用声音监测蜂群的可行性及研究进展。

关键词: 蜜蜂; 声音监测; 研究进展

蜜蜂是重要的经济昆虫, 对全球作物生产至关重要, 为人类提供蜂蜜、蜂花粉、蜂胶等蜂产品的同时, 也对维持生态平衡起着至关重要的作用^[1,2]。但自2006年起, 蜂群崩溃失调症 (Colony Collapse Disorder, 简称CCD) 现象席卷全球几十个国家, 蜂群损失惨重, 对蜂农造成严重打击^[3]。气候变化、集约化农业、土地利用变化、农药使用、生物多样性丧失、瓦螨以及环境污染等都是造成CCD现象的原因。随着CCD现象的加剧, 及时发现蜂群健康状况的变化尤为重要, 养蜂人和研究人员对蜂群健康监测新方法的需求日益增长^[4]。传统上, 监测蜂群健康状况是通过人工定期开蜂箱, 以检查蜂巢内部情况。但这种方法不仅既耗时又费力, 而且在操作过程中极易出现人为失误, 尤其是对于那些初涉养蜂领域, 没有经验的人, 同时还会给蜜蜂带来压力甚至恐慌, 影响养蜂生产效率^[5,6]。针对蜂群健康状况监测, 研究者提出多种方法, 如监测蜂巢内声音、重量、温度、湿度和气体浓度等, 其中利用蜂巢内声音收集技术监测最具发展前景。近年来, 利用声音信息收集监测蜂群内部健康状况的研究不断深入且已取得一定成效。

1 声音的基本信息

1.1 声音的基本概念

声音是信息传递的方式之一。声音是由物体振动产生的声波, 通过介质 (空气、固体或液体) 传播并能被人或动物听觉器官所感知的波动现象, 且在固体中的传播速度属三种介质中最快的。当物体振动时, 会使周围介质产生疏密变化, 形成机械波, 这种波以

一定速度在介质中传播。当传播到人耳时, 引起鼓膜振动, 再经过听觉神经的传导, 最终在大脑中形成听觉。

1.2 声音的特性

声音具有音调、响度、音色的特性。音调指声音高低, 由发声体振动频率 (每秒振动次数, 单位赫兹, 简称Hz) 决定, 频率越高音调越高, 越低则音调越低; 响度指声音强弱或大小, 与发声体振幅 (振动时偏离平衡位置的最大距离) 和距发声体远近有关, 振幅越大、距离越近, 响度越大; 音色也叫音品, 反映声音品质与特色, 不同发声体因材料、结构不同, 音色也不同。

2 蜂群中的声音

多年来, 研究者提出多种蜂群声音和振动信号监测方法, 其中基于声音分析的方法最具发展前景, 因其蜜蜂声音交流普遍且信息采集便捷。蜜蜂在蜂巢内通过声音交流, 分析这些声音可提供蜂群健康关键信息、检测突然变化, 且信息收集用简单麦克风和采集系统即可实现^[7]。

2.1 蜜蜂如何发声

蜜蜂没有专门的发声器官, 但能通过振翅产生嗡嗡的声音, 还可以通过胸部肌肉带动翅膀, 蜜蜂振翅发热, 产生与嗡嗡声具有明显差异的声音信号, 以及将胸部压在基质或另一只蜜蜂上^[8]。

声波传递由压力变化和粒子运动构成, 其频率以赫兹 (Hz) 为单位测量, 1 赫兹表示每秒振动1个周期。蜜蜂产生振动和声音, 频率从小到10Hz到超过

基金项目: 国家重点研发计划课题 (2022YFD1600202); 蜜蜂生物学与饲养江西省重点实验室 (2024SSY04151)

作者简介: 徐敏 (2003-), 女, 硕士生, 研究方向为蜜蜂生物学与饲养, E-mail: 3070408131@qq.com

1000 Hz不等^[9]。

2.2 蜜蜂声音的种类

除蜂群常见的嗡嗡声外，还有新生蜂王“嘟嘟”声、老蜂王“嘎嘎”声及蜜蜂摆尾舞的声音振动等。不同声学信号有独特生物学功能，即便常见的“嗡嗡”声，经专业声学监测设备分析，也能解析出不同行为意义。

有学者将蜜蜂的声音状况分为6种：1.失王：影响蜜蜂产卵，导致出现蜂群被遗弃或蜜蜂逃逸现象；2.敌害：有其他蜂巢蜜蜂或其他蜂种入侵；3.烟雾：会影响工蜂采花蜜和花粉，工蜂会通过拍打翅膀来驱散烟雾；4.蜂螨：吸食蜜蜂幼虫直至成年蜜蜂的血淋巴，同时是病毒等病原体的传播媒介；5.食物匮乏：外界蜜源植物不足，影响蜂群生存；6.正常：蜂箱内无异常情况^[4]。

3 蜂群中的声音监测

3.1 繁殖期的监测

有研究者通过在巢脾下方安装加速度计进行蜂巢振动测量，获取有关蜂群活动和发展的信息，同时进行人工查蜂。将振动测量数据与人工查蜂所记录的数据进行比较，发现振动振幅数据与幼虫周期之间存在显著的相关性，并且正常状况下的振动振幅数据在失王、群体衰竭等情况下也会发生明显变化^[10]。

3.2 有王与无王的监测

Luca Barbisan等人比较了支持向量机（SVM）和神经网络（NN）两种技术对蜂群中蜂王的存在性监测的应用，这两种技术对蜂王是否存在于蜂群中的鉴别均表现出色，能够根据收集的信息准确的判断蜂群是否失王^[11]。

3.3 关于分蜂现象的监测

Michael-Thomas Ramsey利用振动声学信息，提出了两种基于振动数据的机器学习算法，实验数据同样是通过在蜂巢中心放置加速度计记录。通过算法，能够根据声音数据区分出蜂群是否有意分蜂，准确率高达90%，且可在分蜂发生前30天进行预测，这说明利用振动声学信息预测蜂群行为的方向是完全可行的^[12]。

3.4 新老蜂王间的交流

Dominique Fourer等分析了蜂王发出的“嘟”声和“嘎”声两种类型的蜂鸣声。新生处女王通常会发出

“嘟嘟”声，以告知蜂群自己的到来，此时蜂群中老蜂王，则会以“嘎嘎”声进行回应，并带领蜂群中的一部分蜜蜂分蜂，为新生蜂王留下发育的空间^[13,14]。

4 利用声音监测蜂群健康状况存在的问题及发展前景

4.1 声音监测存在的问题

4.1.1 声音信号干扰因素多

蜂群声音含多种频率和强度信号，受蜜蜂自身行为及外界环境因素干扰。环境杂音、蜂箱材质与结构等物理因素，会使采集的声音信号混杂大量噪声，增加有效信号提取难度。

4.1.2 声音特征与健康指标关联机制不明

虽已有研究者识别出部分与蜜蜂特定行为或状态相关的声音模式，如分蜂前“嗡嗡”声变化，但声音特征与蜂群健康指标的定量关系和内在作用机制研究尚处初级阶段。蜂群感染蜜蜂孢子虫病或受蜂螨侵害时，声音信号会改变，然而声音变化如何准确反映疾病类型、严重程度，以及声音特征与生理指标的对应关系，仍缺乏深入研究，限制了声音监测技术在实际蜂群健康诊断中的应用。

4.1.3 实际应用适配性与推广困难

声音监测技术在实验环境有成效，但在实际蜂场应用中，存在设备成本高、操作复杂、数据处理难等问题。养蜂从业者缺乏声学和计算机专业知识，难以独立维护监测系统。而且，不同养蜂模式和蜂场规模对设备需求不同，现有技术暂无法满足多样化场景，导致技术推广受限。

4.2 发展前景

随着蜂业数字化、智能化需求增长，声音监测技术将在蜂群管理、疾病预警、产量预测等方面发挥关键作用，如实时监测蜂群声音发现异常；结合气象、蜜源数据预测产量，优化生产。此外，该技术还可用于蜜蜂行为学研究、生态环境监测等领域，拓展应用边界。

参考文献

- [1]曾志将. 养蜂学(第4版)[M].北京:中国农业出版社,2023.
- [2]Dainese M, Martin E A, Aizen M A, et al. A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production[J]. Science advances, 2019, 5(10): eaax0121.
- [3]Cox-Foster D L, Conlan S, Holmes E C, et al. A metagenomic survey

(下转第48页)

差异显著的氨基酸有： γ -氨基丁酸、精氨酸、缬氨酸、赖氨酸等4种和EAA氨基酸；与河北（非赞皇）地区枣花蜂蜜样品差异显著的氨基酸有：丝氨酸、天冬酰胺、谷氨酰胺、酪氨酸、异亮氨酸、色氨酸等6种和TAA氨基酸。



3 结论

通过对枣花蜂蜜中糖类和氨基酸组分的系统分析，本研究揭示了赞皇三倍体枣花蜂蜜与河北其他产区、山西、新疆产区存在的显著组分差异特征。与河北其他产区：葡萄糖、葡萄糖+果糖、丝氨酸、天冬酰胺、谷氨酰胺、酪氨酸、异亮氨酸等7项指标差异显著；与山西产区：果糖/葡萄糖比（F/G）、谷氨酸2项指标差异显著；与新疆产区：葡萄糖、葡萄糖+果糖、F/G、异麦芽糖、吡喃葡萄糖基蔗糖、松二糖、麦芽酮糖、 γ -氨基丁酸、精氨酸、缬氨酸、赖氨酸等11项指标差异显著。

本研究仅通过糖类及氨基酸的分析，在区分特征产区方面具有一定的局限性，且单一指标难以实现对所有产区的一致性区分，不同产区需针对性选择特征指标（如赞皇与河北其他产区以氨基酸差异为主，与

新疆产区以F/G及低聚糖差异为主）。虽然本研究具有一定的局限性，但是通过多指标分析，为构建“分产区-多指标”的产地鉴别体系提供了科学依据，对地理标志产品保护具有重要的实践指导价值。

参考文献

- [1] Davies A. M. C., Harris R. G. Free amino acid analysis of honeys from England and Wales: application to the determination of the geographical origin of honeys[J]. *Journal of Apicultural Research*, 1982, 21(3): 168-173.
- [2] 孙晓杰, 黄学者, 赵玉强, 等. 云南5种蜂蜜12种糖组分和20种氨基酸含量的测定与分析[J]. *食品科学*, 2025, 46(02): 148-155.
- [3] 贾茹, 黄学者, 贾光群, 等. 超高效液相色谱-蒸发光散射检测法测定蜂蜜中12种糖组分[J]. *分析测试学报*, 2022, 41(06): 851-857.
- [4] Yang J, Liu Y, Cui Z, et al. Analysis of free amino acid composition and honey plant species in seven honey species in China[J]. *Foods*, 2024, 13(7): 1065.
- [5] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准蜂蜜: GB 14963-2011[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [6] 张晓华. 蜂蜜中糖类的高效液相色谱测定及其在蜂蜜品质控制中的应用研究[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(16): 74-79. 
- [7] of microbes in honey bee colony collapse disorder[J]. *Science*, 2007, 318(5848): 283-287.
- [8] Mekha P, Teeyasuksaet N, Sompowloy T, et al. Honey bee sound classification using spectrogram image features[C]//2022 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI DAMT & NCON). IEEE, 2022: 205-209.
- [9] Ho H T, Pham M T, Tran Q D, et al. Evaluating audio feature extraction methods for identifying Bee Queen presence[C]//Proceedings of the 12th International Symposium on Information and Communication Technology. 2023: 93-100.
- [10] Underwood B, Tashakkori R. Detecting anomalies in honey bee hives using their audio recordings[C]//SoutheastCon 2022. IEEE, 2022: 173-177.
- [11] Kampelopoulos D, Sofianidis I, Tananaki C, et al. Analyzing the beehive's sound to monitor the presence of the queen bee[C]//2022 Panhellenic Conference on Electronics & Telecommunications (PACET). IEEE, 2022: 1-4.
- [12] Terenzi A, Cecchi S, Spinsante S. On the importance of the sound emitted by honey bee hives[J]. *Veterinary Sciences*, 2020, 7(4): 168.
- [13] 方兵兵. 蜜蜂的发声及听力[J]. *中国蜂业*, 2017, 68(9): 66-66.
- [14] Bencsik M, Le Conte Y, Reyes M, et al. Honeybee colony vibrational measurements to highlight the brood cycle[J]. *PloS one*, 2015, 10(11): e0141926.
- [15] Barbisan L, Turvani G, Fabrizio R. Audio-based identification of queen bee presence inside beehives[C]//2023 IEEE Conference on AgriFood Electronics (CAFE). IEEE, 2023: 70-74.
- [16] Ramsey M T, Bencsik M, Newton M I, et al. The prediction of swarming in honeybee colonies using vibrational spectra[J]. *Scientific reports*, 2020, 10(1): 9798.
- [17] Fourer D, Orlowska A. Detection and identification of beehive piping audio signals[C]//7th Workshop on Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events (DCASE 2022). 2022.
- [18] Kirchner W H. Acoustical communication in honeybees[J]. *Apidologie*, 1993, 24(3): 297-307. 

（上接第43页）

of microbes in honey bee colony collapse disorder[J]. *Science*, 2007, 318(5848): 283-287.

[4] Mekha P, Teeyasuksaet N, Sompowloy T, et al. Honey bee sound classification using spectrogram image features[C]//2022 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI DAMT & NCON). IEEE, 2022: 205-209.

[5] Ho H T, Pham M T, Tran Q D, et al. Evaluating audio feature extraction methods for identifying Bee Queen presence[C]//Proceedings of the 12th International Symposium on Information and Communication Technology. 2023: 93-100.

[6] Underwood B, Tashakkori R. Detecting anomalies in honey bee hives using their audio recordings[C]//SoutheastCon 2022. IEEE, 2022: 173-177.

[7] Kampelopoulos D, Sofianidis I, Tananaki C, et al. Analyzing the beehive's sound to monitor the presence of the queen bee[C]//2022 Panhellenic Conference on Electronics & Telecommunications (PACET). IEEE, 2022: 1-4.