环境昆虫学报 2023，45（3）：682－687
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2023. 03. 14

李强，李华金，黄宏博，刘芳，刘慧平，赵红霞. 草甘膦与微塑料对西方蜜蜂生存和糖反应行为的影响［J］. 环境昆虫学报，2023，45（3）：682－687.

草甘膦与微塑料对西方蜜蜂生存和糖反应行为的影响

李 强[1]，李华金[1]，黄宏博[1]，刘 芳[1]，刘慧平[2]，赵红霞[1*]
（1. 广东省科学院动物研究所，广东省动物保护与资源利用重点实验室，广东省野生动物保护与利用公共实验室，广州 510260；
2. 云浮市城乡规划编制研究中心，广东云浮 527300）

摘要：为分析草甘膦与微塑料对西方蜜蜂 *Apis mellifera* 存活和行为的影响。本研究利用 50% 蔗糖溶液配置的 400 mg/L 草甘膦、50 mg/L 微塑料以及两者混合物，分别饲喂 1 日龄的工蜂；每日记录西方蜜蜂的存活率，20 d 后通过伸吻反应测定它们对蜜蜂嗅觉学习行为的影响。结果发现 400 mg/L 草甘膦处理蜜蜂 20 d 后，与对照组相比，蜜蜂存活率下降了 22%，伸吻比率下降了 30%；50 mg/L 微塑料处理，与对照组相比，蜜蜂存活率下降了 9%，伸吻比率下降了 10%；用 400 mg/L 草甘膦与 50 mg/L 微塑料协同处理 20 d 后，与对照组相比，蜜蜂死亡率为 50%、伸吻比率下降了 45% 左右。结果表明草甘膦和微塑料均会导致西方蜜蜂存活率降低，影响其糖反应行为，而两者协同处理对西方蜜蜂的影响更显著。

关键词：西方蜜蜂；草甘膦；微塑料；伸吻反应
中图分类号：Q968. 1；S433 **文献标识码**：A **文章编号**：1674－0858（2023）03－0682－06

Effects of glyphosate and microplastics on the survival and sucrose responsiveness of *Apis mellifera*

LI Qiang[1], LI Hua-Jin[1], HUANG Hong-Bo[1], LIU Fang[1], LIU Hui-Ping[2], ZHAO Hong-Xia[1*] (Institute of Zoology, Guangdong Academy of Sciences, Key Laboratory of Animal Conservation and Resource Utilization of Guangdong Province, Public Laboratory of Wildlife Conservation and Utilization of Guangdong Province, Guangzhou 510260, China; 2. Research Center of Yunfu Urban and Rural Planning, Yunfu 527300, Guangdong Province, China)

Abstract: To analyze the effects of glyphosate and microplastics on the survival and behavior of *Apis mellifera*, in this study, 400 mg/L glyphosate, 50 mg/L microplastic and a mixture of both were fed to 1-day-old worker bees of *Apis mellifera*. 20 days after treatment, the survival rate of workers was recorded daily, and sucrose responsiveness of workers was measured by the proboscis extension reflex (PER) assay. The survival rate of bees treated with 400 mg/L glyphosate decreased by 22% and the sucrose responsiveness of these bees decreased by 30% compared to the control bees. And the survival rate of bees treated with 50 mg/L microplastic decreased by 9% compared to the control group, and the sucrose responsiveness was not significant. Finally, the survival rate of bees treated with mixture of both 400 mg/L glyphosateand 50 mg/L microplastic decreased by 50% and the sucrose responsiveness decreased by about 45% compared to the control group bees. Both glyphosate and microplastic could cause a decrease in

基金项目：国家蜂产业技术体系（CARS－44）；广东省基础与应用基础研究项目（2021A1515010630，2021A1515012102）；云浮市科技计划项目（2022020425）；“千名博士（后）计划”引进专项（2021GDASYL-20210103053）
作者简介：李强，男，硕士研究生，研究方向为蜜蜂分子生物学，E－mail：lq994186@163. com
* 通信作者 Author for correspondence：赵红霞，女，博士，副研究员，研究方向为蜜蜂及蜜蜂病虫害研究，E－mail：hxzh110@126. com
收稿日期 Received：2022－04－21；接受日期 Accepted：2022－08－28

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

survival rate and affected the survival of bees, respectively, while mixture of them had more stronger effect on the survival and sucrose responsiveness of honey bee than they used alone.

Key words: *Apis mellifera*; glyphosate; microglycan; PER

蜜蜂是生态系统中重要的传粉者之一，能通过采集行为进行短距离与长距离的传粉。蜜蜂除了为自然界植物传粉外，还能把采集到的花蜜花粉带回蜂巢生产蜂蜜、蜂王浆和蜂胶等营养丰富的蜂产品（胡浩等，2022）。目前研究发现蜂蜜、蜂毒和蜂王浆等蜜蜂产品具有很高的应用价值。例如，蜂蜜具有抗菌特性，蜂毒可用于治疗疾病，蜂王浆可促进健康和长寿（Marrazzo, 2021）。早在2006 年，Nature 公布了西方蜜蜂 *Apis mellifera* 基因组的测序和分析结果，指出“如果没有蜜蜂及其授粉的行为，整个自然生态系统将会崩溃”（Erika, 2006）。在中国，蜜蜂的传粉对 36 种的作物生产贡献了高达 8 860.5 亿元的经济价值（欧阳芳等，2019）。据统计，2020 年我国出口的蜂蜜高达 132 469.35 吨，其价值高达25 404.496 万美元（杜夏等，2021）。

由于农林牧业病虫害的频繁发生，种植户为了减少损失，普遍使用了化学农药（Wu *et al.*, 2012）。但这也导致农药残留和环境污染日渐严重，使蜜蜂和其他传粉者生命受到威胁。市场上销售的除草剂种类众多，草甘膦是使用最为广泛的除草剂，草甘膦在 1950 年被瑞士化学家亨利·马丁博士发现，具有高效、低成本的特点（Franz *et al.*, 1997; Giesy *et al.*, 2000; Dill *et al.*, 2010; Benbrook *et al.*, 2016）。在用草甘膦处理过的农作物相关产品中，都检测到了草甘膦的残留，除了植物，在动物体内也发现了草甘膦的存在，这是由于被草甘膦污染过的植物和水源会通过食物链进入动物体内。已有研究发现残留在蜜蜂体内的草甘膦会对蜜蜂造成负面影响，例如在蜂蜡中发现的草甘膦会导致新工蜂的触角上的鞭毛和触角产生缩短等畸形（Tom *et al.*, 2020）。此外，还有研究发现草甘膦能够导致蜜蜂咽下腺细胞的超微结构发生改变，但是对蜂王浆的产量没有明显影响（Faita *et al.*, 2018）。

除化学杀虫剂外，自上世纪起，塑料的生产和使用都在高速增加，但是塑料在自然生态系统中降解性极低，会导致严重的环境污染。污染环境的塑料主要被分为巨塑料与微塑料，微塑料是直径小于 5 mm 的颗粒（Anita *et al.*, 2021）。微塑料会进入生物体内，对生物生存造成影响，在生态环境中普遍存在微塑料。中国农业科学院蜜蜂研究所蜂产品质量与风险评估创新团队发现，微塑料暴露是危害蜜蜂健康的重要风险因子。相关研究发现，微塑料的暴露会降低蜜蜂的取食量和体重，高浓度的微塑料还会显著降低蜜蜂肠道的微生物多样性并改变肠道的微生物群的组成（沈宇涛，2022）。另外，微塑料的存在还影响蜜蜂肠道的氧化应激、解毒和免疫系统相关基因的表达。例如，微塑料增加了氧化应激相关基因 *Cat* 的表达、降低了解毒基因 *CypQ1* 和 *GstS3* 的表达，免疫相关基因 *Domeless*、*Hopscotch* 和 *Symplekin* 也会随着微塑料的剂量反应趋势受到抑制（Wang *et al.*, 2021）。

目前关于农药与蜜蜂的研究大多针对毒性较大的杀虫剂如吡虫啉和噻虫嗪开展的，而对微塑料和毒性较低的除草剂草甘膦的研究相对较少。本研究利用含 400 mg/L 草甘膦、50 mg/L 微塑料和两者混合的 50% 蔗糖溶液饲喂 1 日龄的西方蜜蜂，通过饲喂 20 d 记录生存率和进行糖反应试验来探究草甘膦与微塑料对西方蜜蜂的影响，研究结果有助于提供除草剂草甘膦和微塑料对蜜蜂潜在风险的一些主要信息，以期为除草剂草甘膦的合理使用提供理论依据，并为研究微塑料对生态系统的毒性作用奠定基础。

1　材料与方法

1.1　供试昆虫的准备

试验于 2021 年 10 月至 2021 年 12 月在广东省科学院动物研究所进行，供试昆虫为西方蜜蜂，取自广东省科学院动物研究所试验蜂场，取 3 张不同蜂群的即将出房的封盖子子脾，于培养箱（30 ± 1℃，相对湿度 80%）培养至出房后，收集 24 h 以内出房的蜜蜂（作为 1 日龄蜜蜂）。

1.2　微塑料和草甘膦浓度设置

根据 Paride（2022）检测微塑料和多磺酸粘多糖（MPs）对西方蜜蜂的存活、食物摄取、蔗糖反应性、蔗糖习惯性和食欲嗅觉学习和记忆的影响，本研究的微塑料浓度定位 50 mg/L；根据 Lou

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

（2021）检测商业草甘膦对蜜蜂嗅觉学习和记忆的影响，本研究配置的草甘膦浓度为 400 mg/L。

1.3 试验处理

将羽化的 1 日龄西方蜜蜂工蜂采集到经过处理的透明塑料航空杯里（航空杯上有喂糖水和呼吸的孔），平均分成 4 个组，每组设置 3 个重复，每个重复饲养 130 头蜜蜂，放入培养箱（29 ± 1℃，相对湿度 80%）。对照组（CK 组）用 50% 蔗糖溶液饲养，微塑料处理组（PE 组）在 50% 蔗糖溶液的基础上添加 50 mg/L 微塑料饲养，草甘膦处理组（SA 组）在 50% 蔗糖溶液的基础上添加 400 mg/L 草甘膦饲养，微塑料和草甘膦联合处理组（PEA 组）在 50% 蔗糖溶液的基础上添加 50 mg/L 微塑料和 400 mg/L 草甘膦饲养。每个组蔗糖溶液现用现配，两天更换一次食物。每天统计死亡的蜜蜂数量并及时更换蜜蜂排泄物（图 1）。

图 1 饲养西方蜜蜂的装置

Fig. 1 A device for keeping *Apis mellifera* worker bees

1.4 PER 行为实验

在饲养的第 20 天，从每个处理组随机选取 60 头蜜蜂进行伸吻反应（PER）行为测试，将选取出来的蜜蜂低温麻醉，把蜜蜂固定在空心透明塑料管中，身体固定在管里，头部外露可以自由活动。固定好的蜜蜂每头喂 5 μL 50% 蔗糖溶液后放在培养箱里（29 ± 1℃，相对湿度 80%），饥饿处理 2 h。

利用梯度浓度增加的糖水触发 PER 反应检测蜜蜂的糖反应行为（Page *et al.*，1998）。配制各不同浓度梯度的蔗糖溶液：0.1%、0.3%、1%、3%、10%、30% 和 50%（W∶W）。蜜蜂饥饿 2 h 后，首先进行蜜蜂对不同浓度蔗糖敏感性的测试，根据蔗糖浓度由低到高依次检测。具体步骤：第一，先用蘸有清水的牙签轻轻触碰蜜蜂的两只触角，观察蜜蜂伸吻情况；第二，用蘸有 0.1% 糖水的牙签触碰蜜蜂触角，观察伸吻情况；第三，接着用蘸有水的牙签轻轻触碰蜜蜂的两只触角，再用蘸有 0.3% 糖水的牙签触碰蜜蜂触角，依次进行蔗糖溶液 10%、30% 和 50%。最后，每次用不同浓度糖水检测后都用清水检测一遍，不同浓度的糖水刺激间隔在 2 ~ 3 min。蜜蜂正常表现出伸吻反应的标准：当糖水依次、轮流地接触被检测蜜蜂的两只触角时，蜜蜂能够完全伸展出它的吻，则记录该只蜜蜂对该浓度糖水做出反应；如果蜜蜂的吻没有完全伸展开，则记录该只蜜蜂未做反应。

1.5 数据分析

数据的整合处理分析和绘图利用 WPS Office 2020、IBM SPSS Statistics 25 和 GraphPad Prism 9 共 3 种软件，其中利用 WPS Office 中的 Excel 处理存活率和糖反应数据，采用 Duncan 法分析数据，用 GraphPad 作图。

2 结果与分析

2.1 草甘膦与微塑料对西方蜜蜂存活的影响

草甘膦和微塑料无论是单一还是协同，均对西方蜜蜂有潜在的风险。从 1 日龄西方蜜蜂饲养第 1 天到第 20 天，每天记录西方蜜蜂的存活情况，进行单因素方差分析，每个处理（CK、PE、SA、PEA）都有 3 个生物学重复（图 2）。与对照组 CK

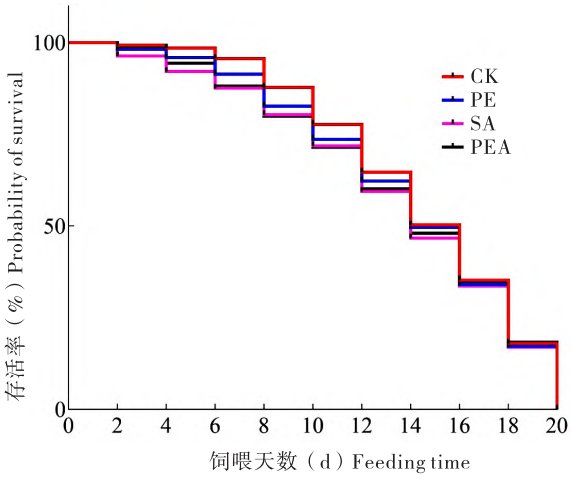

图 2 草甘膦与微塑料对西方蜜蜂存活的影响

Fig. 2 Effects of glyphosate and microplastics on the survival of *Apis mellifera*

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

相比，实验组 PE、SA 和 PEA 都降低了蜜蜂工蜂的存活率。PE 组与 CK 相比，蜜蜂的存活率在第 12 天和第 20 天分别下降了 5% 和 9%（$P>0.05$），说明微塑饲料不会对蜜蜂的存活率造成影响；SA 组与 CK 相比，蜜蜂的存活率在第12 天和第 20 天分别下降了 14% 和 22%（$P<0.05$），400 mg/L 草甘膦与 50 mg/L 微塑料相比，400 mg/L 草甘膦对蜜蜂存活率影响更加大，两者之间存活率差异显著（$P<0.05$）；微塑料与草甘膦协同处理蜜蜂的试验组，蜜蜂生存状况最差，存活率最低，与 CK 相比，蜜蜂的存活率在第 12 天和第 20 天分别下降了 17% 和 30%（$P<0.05$），与单一饲养的 PE 和 SA 组相比，其存活率均差异显著（$P<0.05$）

2.2　微塑料对西方蜜蜂糖反应的影响

蜜蜂糖反应检测结果显示 50 mg/L 微塑料处理组蜜蜂对糖的反应显著低于对照组，说明在饲养 20 d 出房蜜蜂阶段接触 50 mg/L 微塑料会降低蜜蜂对糖水溶液的敏感性，这种影响集中表现在 0.1%、0.3%、1%、3% 和 10% 的蔗糖溶液中，糖水浓度为 3% 时，微塑料处理组的伸吻反应比例与对照组相比下降了 19%，而当糖水浓度增加到 30% 时，两组蜜蜂的伸吻反应率相差仅 9%，说明 50 mg/L 微塑料处理对高浓度糖水的伸吻反射影响有所降低（图 3）。

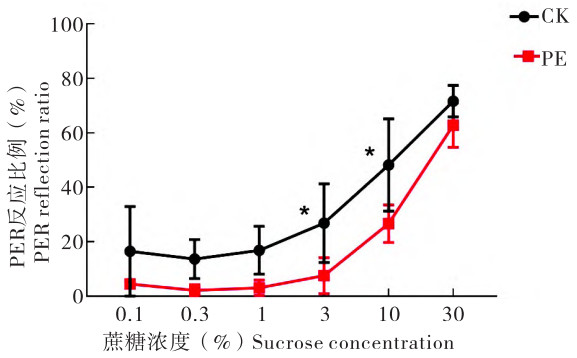

图 3　50 mg/L 微塑料对西方蜜蜂糖反应的影响

Fig. 3　Effect of 50 mg/L microplastics on sugar responses in *Apis mellifera*

注：误差线为平均值 ± 标准误，* $P<0.05$ 表示处理组与对照组蜜蜂喙伸反应率经 χ^2 检验差异显著。Note: Error lines were mean ± SE, * $P<0.05$ indicated that there was significantly different in proportion of bees showing PER in sucrose concentrations by χ^2 test between the treatment and control groups.

2.3　草甘膦对西方蜜蜂糖反应的影响

与对照组相比，400 mg/L 饲养的 SA 组蜜蜂的伸吻反应显著降低 $P<0.05$。在 0.3% ~3% 的糖水区间，试验组的伸吻反应降低不明显；当糖水浓度为 3% 时，试验组的伸吻反应与对照组相比降低了 21%；在高浓度糖水（10%、30%），试验组与对照组对糖水的伸吻反应分别降低了 33% 和 30%，说明草甘膦降低了蜜蜂的伸吻反应，在糖浓度为 10% 时影响最显著（图 4）。

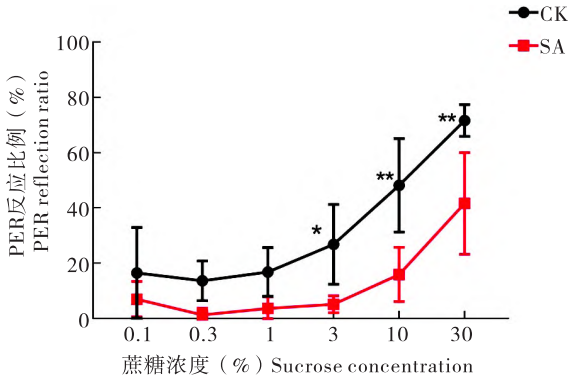

图 4　400 mg/L 草甘膦对西方蜜蜂糖反应的影响

Fig. 4　Effect of 400 mg/L glyphosate on sugar responses in *Apis mellifera*

注：误差线为平均值 ± 标准误，* $P<0.05$ 表示处理组与对照组蜜蜂喙伸反应率经 χ^2 检验差异显著，** $P<0.01$ 表示处理组与对照组蜜蜂喙伸反应率经 χ^2 检验差异极显著。Note: Error lines were mean ± SE, * $P<0.05$ indicated that there was significantly different in proportion of bees showing PER in sucrose concentrations by χ^2 test between the treatment and control groups, ** $P<0.01$ indicated that there was extremely different in proportion of bees showing PER in sucrose concentrations by χ^2 test between the treatment and control groups.

2.4　微塑料与草甘膦协同对西方蜜蜂糖反应影响

CK 与 PEA 试验组蜜蜂伸吻反应整体上都呈递增上升趋势，在 0.1% ~3% 糖水浓度之间，CK 在 10% 和 30% 糖水的伸吻反应提升明显，而 PEA 处理组伸吻反应率整体显著低于对照组。当糖水浓度为 30% 时，与对照组相比，PEA 伸吻反应率降低了 45%，效果极显著（$P<0.001$）（图 5）。在低浓度糖水时，对照组与试验组的伸吻反应没有显著差异，对高浓度糖水的伸吻反应差异明显。这一结果显示了草甘膦与微塑料两者混合在一起，

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

对蜜蜂的毒性是存在的，可能两者混合对蜜蜂的毒性更强，也可能一方增加了另一方对蜜蜂的毒性，但可以肯定的是草甘膦与微塑料混合不会减少对蜜蜂的毒性，只会增加对蜜蜂的威胁。

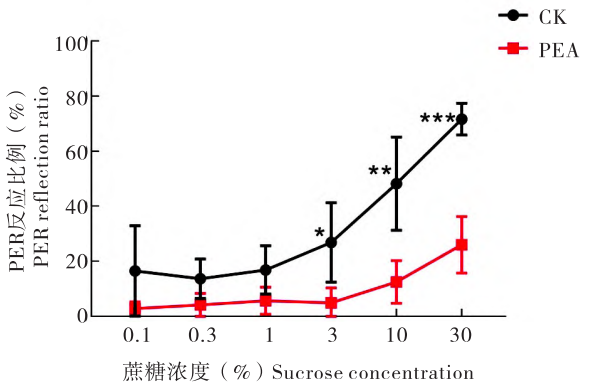

图 5　50 mg/L 微塑料与 400 mg/L 草甘膦协同对西方蜜蜂的影响

Fig. 5　Synergistic effect of 50 mg/L micro plastic and 400 mg/L glyphosate on *Apis mellifera*

注：误差线为平均值 ± 标准误，$^{*}P<0.05$ 表示处理组与对照组蜜蜂喙伸反应率经 χ^2 检验差异显著，$^{**}P<0.01$，$^{***}P<0.001$ 表示处理组与对照组蜜蜂喙伸反应率经 χ^2 检验差异极显著。Note: Error lines were mean ± SE, $^{*}P<0.05$ indicated that there was significantly different in proportion of bees showing PER in sucrose concentrations by χ^2 test between the treatment and control groups, $^{**}P<0.01$, $^{***}P<0.001$ indicated that there was extremely different in proportion of bees showing PER in sucrose concentrations by χ^2 test between the treatment and control groups.

3　结论与讨论

蜜蜂外出采集花蜜花粉时会不可避免地接触到有机磷除草剂，采集蜂会将带有草甘膦残留的花粉花蜜带回蜂巢中，导致草甘膦在蜂箱中积累，使其他蜜蜂也暴露其中（Farina *et al.*，2019）。同时不少研究发现在蜜蜂采集花蜜花粉的植物中，发现其花上有微塑料（Liebezeit *et al.*，2014），也会对蜜蜂的安全造成潜在威胁。

因此本研究主要探讨了草甘膦与微塑料对西方蜜蜂生存及糖反应的影响，结果显示 400 mg/L 的草甘膦处理组与对照组相比，蜜蜂的存活率降低了 22%，同时也显著降低了蜜蜂对蔗糖水的敏感性。与对照组相比，400 mg/L 的草甘膦处理组的伸吻反应比率降低了 30%。本研究还通过让蜜蜂食用含有微塑料的 50% 蔗糖水，让蜜蜂直接接触微塑料。试验结果表明，用 50 mg/L 微塑料饲养 20 d 后，蜜蜂的死亡率为 29%，证明微塑料会对蜜蜂的生存有潜在威胁。此外，50 mg/L 的微塑料处理后，也观察到处理组的伸吻反应比率与对照组降低了 10%，表明蜜蜂对蔗糖的敏感性显著降低。这与 Herbert（2014）发现长期和急性暴露于草甘膦均会导致西方蜜蜂工蜂的短期记忆保持能力降低的结果一致。此外，Luo（2021）发现商业草甘膦的应用也产生了类似的结果。当使用商业推荐浓度的草甘膦时，都降低了西方蜜蜂工蜂对蔗糖的反应性和嗅觉学习能力。最后，本研究还用 400 mg/L 草甘膦与 50 mg/L 微塑料协同对蜜蜂处理 20 d，结果表明，蜜蜂的存活率降低了 30%、蜜蜂的伸吻反应比率下降了 45%，与两者单一相比，蜜蜂存活率显著降低、对蔗糖水的敏感性显著降低。因此有理由相信两者在蜜蜂体内共存时会对蜜蜂的生存和日常行为有非常严重的影响。

目前除草剂对蜜蜂在生理、行为和寿命等方面已经开展相关研究（Helmer *et al.*，2015；Jumarie *et al.*，2017；Zhu *et al.*，2017），而对蜜蜂低毒的草甘膦的研究较少，微塑料对蜜蜂的研究更是少数。本研究仅从存活率和蔗糖敏感性方面探讨了 400 mg/L 草甘膦与 50 mg/L 微塑料单一或协同对西方蜜蜂的影响，通过草甘膦与微塑料单一或协同对蜜蜂的处理，揭示了对蜜蜂低毒的草甘膦也会对蜜蜂造成生命安全，威胁蜂群的生存。草甘膦与微塑料相结合，将两者对蜜蜂的危害放大，揭示了除草甘膦外其他除草剂、杀虫剂和杀螨剂等化学农药也会同微塑料一起危害蜜蜂的安全。蜜蜂是生存在一个很复杂又很开放的生态环境中，其接触到的农药不单单是草甘膦一种（陈亚南等，2021）。已有研究表明，微塑料虽然不是最强的污染物，但存在其他化学物质与微塑料结合会增加微塑料对蜜蜂的毒性，增加对蜜蜂的致死性（Graziano *et al.*，2020）。本研究结果表明草甘膦与微塑料两者协同对蜜蜂的危害要显著超过单独的危害，因此其他化学农药与微塑料对蜜蜂健康的协同效应也是今后的一个研究重点，这有助于更加科学地使用农药。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

参考文献（References）

Anita T, Lata Sheo Bachan U. Microplastics: An overview on separation, identification and characterization of microplastics [J]. *Journal of Marpolbul.*, 2021, 170: 11 – 26.

Benbrook CM. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally [J]. *Journal of Environmental Sciences Europe*, 2016, 28 (3): 2190 – 4715.

Buteler M, Alma AM, Stadler T, *et al.* Acute toxicity of microplastic fibers to honeybees and effects on foraging behavior [J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 822 (6384): 153320.

Chen YN, Wu YQ, Zheng HQ, *et al.* Progress in investigating the effects of herbicides on honey bee health [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (5): 1162 – 1167. [陈亚南, 吴雨祺, 郑火青, 等. 除草剂对蜜蜂健康影响的研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (5): 1162 – 1167]

Du X, Zeng ZJ, Wu J. Current situation, development trends and suggestions of the bee industry in 2020 [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2021, 57 (3): 252 – 257. [杜夏, 曾志将, 吴杰. 2020 年蜂产业现状、发展趋势与建议 [J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57 (3): 252 – 257]

Dill GM, Sammons RD, Feng PCC. Glyphosate: Discovery, development, applications, and propertie [J]. *Journal of Hoboken*, 2010: 1 – 33.

Erika. Pollinators in peril [J]. *Journal of Nature*, 2006, 443: 893.

Faita MR, Cardozo MM, Amandio DTT. Glyphosate – basedherbicides and *Nosema* sp. microsporidia reduce honey bee (*Apis mellifera L.*) survivability under laboratory conditions [J]. *Journal of Apicultural Research*, 2020, 59 (2): 332 – 342.

Farina WM, Balbuena M. Effects of the herbicide glyphosate on honey bee sensory and cognitive abilities: Individual impairments with implications for the hive [J]. *Journal of Insects*, 2019, 10 (10): 354.

Franz JE, Mao MK, Sikorski JA. Glyphosate: A unique global herbicide [J]. *Journal of ACS Monograph Series*, 1997: 189.

Giesy JP, Dobson S, Solomon KR. Ecotoxico logical risk assessment for *Roundup herbicide* [J]. *Journal of Environmental Contamination and Toxicology*, 2020, 167: 35 – 120.

Graziano X. Geography of the use of agrochemicals in Brazil and connections with the European Union [J]. *Journal of Acta Scientific Agriculture*, 2020, 4: 36 – 37.

Helmer SH, Kerbaol A, Aras P. Effects of realistic doses of atrazine, metolachlor, and glyphosate on lipid peroxidation and diet derived antioxidants in caged honey bees (*Apis mellifera*) [J]. *Journal of Environmental Science and Pollution Research*, 2015, 22 (11): 8010 – 8021.

Herbert LT, Vazquez DE, Arenas A, *et al.* Effects of field – realistic doses of glyphosate on honeybee appetitive behaviour [J]. *Journal of Exp. Biol.*, 2014, 217 (19): 3457 – 3464.

Hu H, Qiao JT, Zhang HC. Effects of the active components in honeybee products on honeybee health [J]. *Journal of China Bee Industry*, 2022, 73 (1): 24 – 26. [胡浩, 乔江涛, 张红城. 蜂产品中活性成分对蜜蜂健康的影响 [J]. 中国蜂业, 2022, 73 (1): 24 – 26]

Jumarie C, Aras P, Boily M. Mixtures of herbicides and metals affect the redox system of honey bees [J]. *Journal of Chemosphere*, 2017, 168: 163 – 170.

Kucharski R, Maleszka R. Evaluation of differential gene expression during behavioral development in the honeybee using microarrays and northern blots [J]. *Genome Biol.*, 2002, 3: 1 – 9.

Luo QH, Gao J, Guo Y, *et al.* Effects of a commercially formulated glyphosate solutions at recommended concentrations on honeybee (*Apis mellifera* L.) [J]. *Journal of Behaviours*, 2021, 11 (1): 1 – 8.

Paride B, Giorgia G, Sara S, *et al.* Acute and chronic ingestion of polyethylene (PE) microplastics has mild effects on honey bee health and cognition [J]. *Environmental Pollution*, 2022, 305: 119318.

Pankiw T, Waddington KD, Page RE. Modulation of sucrose response thresholds in honey bees (*Apis mellifera L.*): Influence of genotype, feeding, and foraging experience [J]. *Journal of Comparative Physiology*, 2001, 187 (4): 293 – 301.

Rossi M, Marrazzo P. The potential of honeybee products for biomaterial applications [J]. *Journal of Biomimetics*, 2021, 6 (1): 6.

Sandra, Loo ME. BittermanLearning in Honeybees (*Apis mellifera*) as a Function of Sucrose Concentration [J]. *Journal of Comparative Psychology*, 1992: 29 – 36.

Shen YT, Hu FL. Environmental pollution forces honey bees to bear multiple stresses [J]. *Journal of Bee*, 2022, 42 (1): 17 – 19. [沈宇涛, 胡福良. 环境污染迫使蜜蜂承受多重压力 [J]. 蜜蜂杂志, 2022, 42 (1): 17 – 19]

Tom HV, Schmehl DR, Wedde AE, *et al.* Frequently encountered pesticides can cause multiple disorders in developing worker honey bees [J]. *Journal of Environ. Pollut.*, 2020, 256: 113420.

Wang K, Li JH, Zhao LW. Cut microbiota protects honey bees (*Apis mellifera* L.) against polystyrene microplastics exposure risks [J]. *Journal of Hazard Mater*, 2021, 402: 123828.

Wu JY, Smart MD, Anelli CM. Honey bees (*Apis mellifera*) reared in brood combs containing high levels of pesticide residues exhibit increased susceptibility to *Nosema* (*Microsporidia*) infection [J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2012, 109 (3): 326 – 329.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net