环境昆虫学报 2021，43（5）：1162－1167
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2021. 05. 10

陈亚南，吴雨祺，郑火青，胡福良．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.

除草剂对蜜蜂健康影响的研究进展

陈亚南，吴雨祺，郑火青，胡福良*
（浙江大学动物科学学院，杭州 310058）

摘要：除草剂是农业生产中一种被广泛使用的农药，是当前种植业重要的一环，但其长期使用也导致了自然界中广泛存在除草剂残留和污染。蜜蜂作为自然界最主要的传粉者，具有重要的经济和生态价值。近年来的研究发现，除草剂对蜜蜂有着明显的负面作用，可能会导致蜜蜂个体健康受损、蜂群损失和其在蜂产品中残留等问题。本文综述了除草剂对蜜蜂生理、行为、寿命和肠道菌群稳态的影响，旨在为进一步探索除草剂对蜜蜂危害的相关研究提供基础，并为未来除草剂的科学使用提供参考。

关键词：蜜蜂；除草剂；草甘膦；行为；发育
中图分类号：Q965. 9；S89　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674－0858（2021）05－1162－06

Research advances in the effects of herbicides on honey bee health

CHEN Ya-Nan，WU Yu-Qi，ZHENG Huo-Qing，HU Fu-Liang*（College of Animal Sciences，Zhejiang University，Hangzhou 310058，China）

Abstract：Herbicide is a widely used pesticide in agricultural production and an important part of current planting industry. However，its long-term use has also led to widespread herbicide residues and pollution in nature. As the most important pollinators in nature，honey bee has important economic and ecological value. Research in recent years has found that herbicides have obvious negative effects on honey bees，which may result in individual health damage，loss of bee colonies and residues in bee products. This article summarizes the effect of herbicides on physiology，behavior，life and intestinal flora homeostasis of honeybees and aims to provide a basis for further research on the hazards of herbicide to bees and provide references for the scientific use of herbicide in the future.

Key words：Honey bee；herbicides；glyphosate；behavior；development

蜜蜂 *Apis* spp. 是一种重要的经济昆虫，有着极高的经济价值和生态价值，对农业生产和自然环境的保护都有着重要的作用。全世界 115 种主要农作物中的 75% 都依赖蜂类授粉。蜂类授粉贡献了全球 35% 的农作物产值，在这之中蜜蜂起着非常重要的作用（Klein *et al.*，2006）。但是近年来，全球各地的蜂群均出现了严重的越冬损失（Van *et al.*，2012；Brodschneider *et al.*，2016；Brodschneider *et al.*，2018），对蜜蜂种群和蜂产业发展造成了严重的不利影响。养蜂者和很多学者都极度地关注蜜蜂损失的原因，农业生产中农药的大量使用被普遍认为是造成这一问题的关键因素之一（Wu *et al.*，2012；Goulson *et al.*，2015）。农药会影响蜜蜂的生存率、采集行为、视觉或嗅觉功能、生长、繁衍等，对蜜蜂健康有着显著的负面影响（Rortais *et al.*，2005；Jumarie *et al.*，2017）。

基金项目：国家自然科学基金（31872431）；国家蜂产业技术体系专项（CARS－44）；浙江省重大科技专项（2016C02054－11）
作者简介：陈亚南，硕士，研究方向为特种经济动物饲养，E－mail：yananchen502@163. com
* 通讯作者 Author for correspondence：胡福良，博士，教授，研究方向为蜜蜂科学，E－mail：flhu@zju. edu. cn
收稿日期 Received：2020－06－23；接受日期 Accepted：2020－08－12

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

除草剂是农业生产中一种必不可少的农药，被广泛用于消灭或抑制杂草、杂灌和杂树等有害植物（Giesy *et al.*，2000；Long and Krupke，2016）。在全世界 50 多种农作物的杂草控制中有着几十年的应用史，长期的使用也使除草剂对人类和环境安全构成了一定威胁（Simoneaux and Gould，2008；Leyva *et al.*，2014）。目前市场上的除草剂种类众多，其中使用最为广泛和最多的除草剂是在 1950 年被瑞士化学家亨利·马丁博士发现的草甘膦（Franz *et al.*，1997；Giesy *et al.*，2000；Dill *et al.*，2010；Benbrook，2016），具有高效、低成本的特点。从 1974 年至 2014 年，全球有超过 86 亿公斤的草甘膦被使用（Benbrook，2016）。它存在于所有经过处理的植物产品中，同时很多的研究表明草甘膦对蜜蜂在内的动物有不良影响（Herbert *et al.*，2014；Mengoni and Farina，2018；Motta *et al.*，2018；Dai *et al.*，2018）。其次是使用较多的除草剂阿拉特津、甲草胺和三嗪类除草剂（Graziano，2020），其中关于阿拉特津的很多研究证明其对动物的氧化应激反应和酶活性的影响（Le Goff *et al.*，2006；Mann *et al.*，2009；Nwani *et al.*，2010；Singh *et al.*，2010；Thornton *et al.*，2010），同时对蜜蜂的生长发育和过氧化反应也产生一定的影响（Jumarie *et al.*，2017；Faita *et al.*，2018；Farina *et al.*，2019）。至于甲草胺和三嗪类除草剂的相关研究，仅报道三嗪类除草剂在蜂蜜中的存在（Wang *et al.*，2018），甲草胺能影响蜜蜂的糖浆消耗量和脂质过氧化反应（Helmer *et al.*，2015）。

除草剂在农业生产中的广泛使用，导致植物和周边环境被除草剂污染，当蜜蜂在污染环境进行采集时，会将被除草剂污染的花蜜、花粉、环境水等运回蜂巢，导致蜜蜂长期的、持续性接触（Papaefthimiou *et al.*，2002；Karise *et al.*，2007；Herbert *et al.*，2014；Mengoni and Farina，2018）。近年来的相关研究都表明除草剂对蜜蜂的健康有着一定的负面影响，可能是造成蜂群损失的一个重要原因。因此，本文对近年除草剂和蜜蜂健康的研究进行综述，以期为相关领域的进一步研究提供借鉴。

1　除草剂在蜂产品中的残留

除草剂在农作物中的使用方法使其不可避免地在植物的表面产生残留，而这些残留能够进一步转移到花蜜和花粉中（Stoner and Eitzer，2012），最终导致了蜂蜜和花粉等一些蜂产品中除草剂的残留。目前，一般使用高通量液相色谱/串联质谱（LC-MS/MS）的方法（Vargo，2017）检测蜂产品中除草剂及其降解物的残留量。现有的研究表明花粉、花蜜、蜂蜜和蜜蜂幼虫中都能检测到一种或者多种除草剂的存在（Thompson *et al.*，2014；Emily，2014；Zhu *et al.*，2017；Vargo，2017）。

蜂蜜是蜜蜂从开花植物的花中采得的花蜜在蜂巢中经过充分的酿造而形成的天然甜物质。关于蜂蜜中草甘膦残留量的研究，Pareja 等（2019）的研究发现，超过 81% 蜂蜜样本中检测到草甘膦的残留，其中 41% 样本中草甘膦的残留量超过 0.05 mg/kg，但是在所有被检测的样本中没有检测到草甘膦降解物氨甲基膦酸酯（AMPA）的存在；Thompson 等（2014）检测的蜂蜜样本中有 59% 样本有草甘膦的存在，浓度范围在 17 ~ 169 ppb。同时蜂蜜的生产方式也会影响蜂产品中草甘膦的浓度（Emily，2014）。花粉也是蜜蜂生产的重要的蜂产品之一，Agrebi 等（2020）在花粉中检测到了 87.2 ~ 629 mg/kg 的草甘膦除草剂残留。

Umsza-Guez 等（2019）对巴西的棕色、绿色、红色和黄色蜂胶进行除草剂残留检测发现，47% 蜂胶样本中能检测到阿拉特津（5 ~ 17.4 μg/g）和氨甲基磷酸（10.2 ~ 11.3 μg/g），不过其在蜂胶中的残留浓度低于国际最大残留水平标准，对非靶标生物危害较小。此外，在蜂蜡和蜂粮中也有检测到草甘膦除草剂的存在，且蜂粮中的浓度高于蜂蜡中除草剂的浓度；而在蜂粮中还能检测到 AMPA（Agrebi *et al.*，2020）。对于之前的研究指出蜂蜜中的草甘膦残留量远低于蜂粮、花粉、蜂蜡中的残留量（Thompson *et al.*，2014；Karise *et al.*，2017），但是对于这一现象还没有具体的科学解释，需要进一步的研究去探究其原因。

2　除草剂对蜜蜂健康的影响

Kasiotis 等（2018）的研究发现蜜蜂的体内也能检测到草甘膦和 AMPA，这说明草甘膦能够稳定的存在于蜜蜂的体内，从而干扰蜜蜂体内一些生理反应并对其健康造成一定程度的威胁。

2.1　除草剂对蜜蜂生理的影响

除草剂及其降解物能稳定存在于蜜蜂的体内，

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

参与蜜蜂体内的一些反应从而导致一些物质的变化。3 个研究团队通过蜜蜂笼养实验发现，除草剂能够影响蜜蜂体内的 β-胡萝卜素、蛋白质、全反式视黄醇及抗氧化剂等物质的水平（Helmer *et al.*，2015；Jumarie *et al.*，2017；Zhu *et al.*，2017）。同时，Boily 等（2013）发现除草剂还能够改变乙酰胆碱酶的活性，但是不同类型的除草剂的作用效果却不同，草甘膦能够降低乙酰胆碱酶的活性，而阿拉特津却能提高其活性。这可能是由于草甘膦主要是作用于植物和一些微生物体内的莽草酸酯合成途径中的 5-烯醇丙酮酸-3-磷酸合酶（EPSPS）（Shilo *et al.*，2016），而阿拉特津对动物的氧化应激反应及脂质过氧化产生影响（Helmer *et al.*，2015）。推测导致草甘膦和阿拉特津产生不同作用效果的原因可能是两种除草剂在蜜蜂体内的作用机制不同。

除草剂与其它农药或有害金属元素的共同作用，也会对蜜蜂体内的生理活动产生负面影响。草甘膦、阿拉特津和镉的混合物能够诱导蜜蜂体内的脂质过氧化反应，导致硫代巴比妥酸反应性物质（TBARS）显著增加（Helmer *et al.*，2015），研究者推测在除草剂和金属的共同存在下，可能干扰了维生素 A 代谢途径，进而影响了蜜蜂体内的脂质过氧化反应（Jumarie *et al.*，2017）。除此以外，病原菌与除草剂能够相互协同显著的增加蜜蜂的死亡率（Motta *et al.*，2018）。

此外，还有除草剂影响蜜蜂发育方面的研究。Thompson 等（2014）的研究表明，草甘膦（62.27%、46.14%、30.68%）对蜂群、成年蜂和幼虫的发育没有影响。Farina 等（2019）的研究表明幼虫的发育会因为草甘膦（2.0 mg/mL、2.5 mg/mL）的存在而产生延迟。咽下腺是工蜂一个重要的外分泌腺，研究发现草甘膦能够导致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）。

2.2 除草剂对蜜蜂行为影响

蜜蜂在采集过程中，工蜂需要通过嗅觉、触觉等来寻找食物、记忆飞行的路径、确定花粉和花蜜的位置并将这些信息传递给同伴，这些都离不开蜜蜂的学习和记忆能力（Morse，1994；Jay，2009；Lihoreau *et al.*，2011）。正常情况下，蜜蜂能够在蜂巢周围几公里的范围内导航，并通过摆尾舞来传递飞行方向的信息，从而到达觅食地点或筑巢地点（Morse，1994）。

有研究表明，除草剂的使用会影响蜜蜂的学习和记忆的过程，间接的干扰蜜蜂的觅食、飞行等行为（Herbert *et al.*，2014；Balbuena *et al.*，2015；Mengoni and Farina，2018；Abou-Shaara，2018；Farina *et al.*，2019）。但是蜜蜂的采集周期、访花频率、舞蹈概率、摇摆次数、舞蹈错误的百分比没有受到除草剂的影响，蜜蜂仍旧以恒定的速度访问和采集人工饲喂器中的食物（Herbert *et al.*，2014）。然而蜜蜂长期或者急性暴露于草甘膦下，则会使成年工蜂及幼虫的感官敏感性和认知出现缺陷，导致蜜蜂对蔗糖的敏感性和学习能力降低，这些可能影响工蜂联想记忆的顺利建立，从而导致食物的摄取量降低、蜂群的采集效率下降，最终危及蜂群的生存（Herbert *et al.*，2014；Mengoni and Farina，2018；Farina *et al.*，2019）。同时在 Mengoni 等（2018）的研究中发现暴露于草甘膦（2.5 mg/mL），蜜蜂的食欲会受到影响，从而导致蜜蜂食物分配能力、嗅觉信息传播能力和巢内任务协调能力降低，这些都体现了除草剂对蜜蜂的学习和记忆能力的影响。此外，饲喂含 10 mg/L 草甘膦溶液的蜜蜂需要更多的时间返回蜂巢房（Balbuena *et al.*，2015），但在 Hossam 等（2018）的实验中，工蜂的导航和学习能力并没有受到削弱。

2.3 除草剂对蜜蜂寿命的影响

除草剂对蜜蜂毒性的相关报道首见于 1970 年，Howard 等（1972）研究了其对新出房蜜蜂毒性，他们使用了 18 种除草剂饲喂蜜蜂，发现在 100 和 1 000 ppm 浓度下百草枯、MAA、Monosodium Methancarsonatee（MSMA）、Disodium Methancarsonate（DSMA）和二甲胂酸对蜜蜂是有剧毒的，二溴苯二甲醚和草藻灭则只有在 1 000 ppm 的浓度下才有毒性，百草枯、MAA 和二甲胂酸在 10 ppm 时则表现出中等毒性。

在急性接触和口服的试验中，草甘膦被认为对蜜蜂是无毒的，但对无刺蜂具有高度毒性。暴露于草甘膦的无刺蜂在几天内就被杀死，同时会对无刺蜂产生亚致死效应，严重影响其群体生长和生活力，降低授粉能力（Seide *et al.*，2018）。在蜜蜂的研究中，给成年工蜂饲喂 2.5 ~ 5.0 mg/L 或 1.25、2.5 、5 ng/头剂量的草甘膦，不会对其生存产生明显的影响（Herbert *et al.*，2014；Helmer *et al.*，2015），自然环境浓度（75 mg/kg）的草甘膦不会对幼虫的寿命、发育和蛹的平均体

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

重造成明显的影响（Thompson *et al.*，2014），但是实验室条件下，饲喂 4 mg/L 或 20 mg/L 草甘膦的幼虫存活率却下降（Dai *et al.*，2018）。草甘膦和 AMPA 单独或联合使用对蜜蜂的生存率没有造成影响（Blot *et al.*，2019），但最新的研究报道以草甘膦为基础的除草剂（2.16 μg/g）与微孢子虫相互作用，却显著的降低了蜜蜂的生存率（Faita *et al.*，2020）。因此，在现代农业生态环境下大量使用除草剂可能损害蜂群健康，从而造成蜂群的大量损失。

2.4　除草剂对蜜蜂肠道微生物的影响

蜜蜂肠道微生物群可以帮助蜜蜂消化食物，排除有害物质，提供必要的营养物质，抵御病原体和寄生虫的入侵，中和食物中的毒素，调节发育和免疫，因此肠道菌群的平衡对蜜蜂健康是至关重要的（Engel *et al.*，2012；Engel and Moran，2013；Kwong *et al.*，2014；Lee *et al.*，2015；Schwarz，2015；Kwong and Moran，2016）。在自然环境中，通过食物的摄入进入蜜蜂体内的除草剂会扰乱蜜蜂的肠道微生物群的平衡，增加其对病原体的易感性和宿主营养不良的风险，对宿主的整体健康产生了负面影响（Dai *et al.*，2018；Motta *et al.*，2018；Blot *et al.*，2019）。草甘膦主要作用于植物和一些微生物体内的莽草酸酯合成途径中的 5-烯醇丙酮酸-3-磷酸合酶（EPSPS），然而编码 EPSPS 的基因几乎存在于所有的蜜蜂肠道细菌的基因组中，这说明蜜蜂的肠道微生物可能对草甘膦非常敏感（Shilo *et al.*，2016）。Motta 等（2018）的研究发现草甘膦是通过影响蜜蜂肠道细菌的 EPSPS 从而引起蜜蜂肠道菌群紊乱，进而造成工蜂肠道核心菌群的相对和绝对丰度都有所下降，最终会导致宿主对病原微生物抵抗力下降。使用 20 mg/L 草甘膦处理工蜂幼虫后，发现其肠道核心菌群的物种多样性和丰富度发生了显著性的变化（Dai *et al.*，2018）。以上的研究证明除草剂对蜜蜂的肠道菌群稳态有着明显的负面影响。此外，草甘膦影响中肠细胞的生存，Gregorc 等（2011）使用 400 ppm 的草甘膦处理了工蜂幼虫中肠细胞，发现能导致 69% 的细胞死亡，由此推测草甘膦可能通过干扰中肠细胞生存，从而影响蜜蜂肠道微生物的平衡。

3　总结与展望

除草剂的使用已有几十年的时间，其在农业生产中的大量使用，对农作物花粉、花蜜以及周围的水源都会造成一定的污染，因为蜜蜂能够通过采集行为将这些被污染的花粉和花蜜等带入蜂巢中，间接或直接的对蜜蜂造成危害。目前的研究表明除草剂在环境中的实际浓度不会导致蜜蜂急性死亡，但是其对蜜蜂表现出了多样的亚致死作用，这是对蜜蜂健康的一个迫在眉睫的威胁。

目前除草剂在蜜蜂生理、行为、寿命和肠道菌群稳态的影响的研究已有许多报道，但在其机理性和蜂群水平的研究很少，仅有的研究只是提到可能是由于除草剂中含有的惰性成分起到重要作用（Williams *et al.*，2000；Séralini *et al.*，2012；Sribanditmongkol *et al.*，2012），但是仍缺乏相应的证据。通过蜂群和除草剂在蜜蜂方面作用机制的研究相结合，能够更好的揭示除草剂对蜜蜂的危害；同时，蜜蜂生存在一个开放且复杂的生态环境中，其接触到的农药可能不是单独一种或在接触除草剂的同时还会有其它的病原菌的存在，因此除草剂和其它蜂群常见农药或病原菌对蜜蜂健康的协同效应也是未来研究的一个重点，这些研究也有助于未来农药的科学使用。

东方蜜蜂作为亚洲的本土蜂种，是我国养蜂业非常重要的组成部分。但是目前关于除草剂危害的研究主要集中于西方蜜蜂，对于东方蜜蜂的相关研究尚比较缺乏。东方蜜蜂和西方蜜蜂在生理、行为上有着一定相似性，也有很多不同的地方；通过比较在除草剂作用下这二者的异同，既能增加我们对蜜蜂生理学的了解，也能为养蜂业的健康和可持续发展提供参考。

参考文献（References）

Abou-Shaara H. Effects of two herbicides on healthy and *Nosema* infected honey bee workers［J］. *Arthropods*，2018，7（2）：31－41.

Balbuena MS，Tison L，Hahn ML，*et al.* Effects of sublethal doses of glyphosate on honeybee navigation［J］. *Journal of Experimental Biology*，2015，218（17）：2799－2805.

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

Blot N，Veillat L，Rouzé R，*et al.* Glyphosate，but not its metabolite AMPA，alters the honeybee gut microbiota［J］. *PLoS ONE*，2019，14（4）：e215466.

Boily M，Sarrasin B，DeBlois C，*et al.* Acetylcholinesterase in honey bees（*Apis mellifera*）exposed to neonicotinoids，atrazine and glyphosate：Laboratory and field experiments［J］. *Environmental Science and Pollution Research*，2013，20（8）：5603－5614.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Brodschneider R, Gray A, Van der Zee R, *et al.* Preliminary analysis of loss rates of honey bee colonies during winter 2015/16 from the coloss survey [J]. *Journal of Apicultural Research*, 2016, 55 (5): 375 – 378.

Brodschneider R, Gray A, Adjlane N, *et al.* Multi-country loss rates of honey bee colonies during winter 2016/2017 from the coloss survey [J]. *Journal of Apicultural Research*, 2018, 57 (3): 452 – 457.

Dai P, Yan Z, Ma S, *et al.* The herbicide glyphosate negatively affects midgut bacterial communities and survival of honey bee during larvae reared *in vitro* [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66 (29): 7786 – 7793.

Dill GM, Sammons RD, Feng PCC, *et al.* Glyphosate: Discovery, Development, Applications, and Properties [M]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2010: 1 – 33.

El Agrebi N, Tosi S, Wilmart O, *et al.* Honeybee and consumer's exposure and risk characterisation to glyphosate-based herbicide (GBH) and its degradation product (AMPA): Residues in beebread, wax, and honey [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 704: 135312.

Emily Guo FR. Survey of glyphosate residues in honey, corn and soy products [J]. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 2014, 5 (1): 1000249.

Engel P, Martinson VG, Moran NA. Functional diversity within the simple gut microbiota of the honey bee [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012, 109 (27): 11002 – 11007.

Engel P, Moran NA. The gut microbiota of insects-diversity in structure and function [J]. *FEMS Microbiology Reviews*, 2013, 37 (5): 699 – 735.

Faita MR, Cardozo MM, Amandio DTT, *et al.* Glyphosate-based herbicides and *Nosema* sp. microsporidia reduce honey bee (*Apis mellifera* L.) survivability under laboratory conditions [J]. *Journal of Apicultural Research*, 2020: 1 – 11.

Faita MR, Oliveira EDM, Alves VV, *et al.* Changes in hypopharyngeal glands of nurse bees (*Apis mellifera*) induced by pollen-containing sublethal doses of the herbicide Roundup © [J]. *Chemosphere*, 2018, 211: 566 – 572.

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

Franz JE, Mao MK, Sikorski JA. Glyphosate: A unique global herbicide [J]. *ACS Monograph Series*, 1997, No: 189.

Giesy JP, Dobson S, Solomon KR. Ecotoxicologicalrisk assessment for Roundup © herbicide [J]. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 2000, 167: 35 – 120.

Goulson D, Nicholls E, Botias C, *et al.* Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers [J]. *Science*, 2015, 347 (6229): 1255957.

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

Gregorc A, Ellis JD. Cell death localization in situ in laboratory reared honey bee (*Apis mellifera* L.) larvae treated with pesticides [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2011, 99 (2): 200 – 207.

Helmer SH, Kerbaol A, Aras P, *et al.* Effects of realistic doses of atrazine, metolachlor, and glyphosate on lipid peroxidation and diet-derived antioxidants in caged honey bees (*Apis mellifera*) [J]. *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 Experimental Biology*, 2014, 217 (19): 3457 – 3464.

Howard. Toxicity of herbicides to newly emerged honey bees [J]. *Environmental Entomology*, 1972: 102 – 104.

Jay M. Biernaskie SCW. Bumblebees learn to forage like bayesians [J]. *Department of Ecology and Evolutionary Biology*, 2009, 174 (3): 413 – 423.

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

Karise R, Raimets R, Bartkevics V, *et al.* Are pesticide residues in honey related to oilseed rape treatments? [J]. *Chemosphere*, 2017, 188: 389 – 396.

Karise R, Viik E, Mänd M. Impact of alpha – cypermethrin on honey bees foraging on spring oilseed rape (*Brassica napus*) flowers in field conditions [J]. *Pest Management Science*, 2007, 63 (11): 1085 – 1089.

Kasiotis KM, Tzouganaki ZD, Machera K. Direct determination of glyphosate and aminomethyl phosphonic acid in honeybees [J]. *Hellenic Plant Protection Journal*, 2018, 11 (1): 40 – 46.

Klein A, Vaissière BE, Cane JH, *et al.* Importance of pollinators in changing landscapes for world crops [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2006, 274 (1608): 303 – 313.

Kwong WK, Engel P, Koch H, *et al.* Genomics and host specialization of honey bee and bumble bee gut symbionts [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2014, 111 (31): 11509 – 11514.

Kwong WK, Moran NA. Gut microbial communities of social bees [J]. *Nature Reviews Microbiology*, 2016, 14 (6): 374 – 384.

Lee FJ, Rusch DB, Stewart FJ, *et al.* Saccharide breakdown and fermentation by the honey bee gut microbiome [J]. *Environmental Microbiology*, 2015, 17 (3): 796 – 815.

Le Goff G, Hilliou F, Siegfried BD, *et al.* Xenobiotic response in Drosophila melanogaster: Sex dependence of *P*450 and *GST* gene induction [J]. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2006, 36 (8): 674 – 682.

Leyva Morales JB, Garcia LA Parra LM, Bastidas PDJ, *et al.* Uso de plaguicidas en un valle agrícola tecnificado en el noroeste de México [J]. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 2014, 30 (3): 247 – 261.

Lihoreau M, Chittka L, Raine NE. Trade – off between travel distance and prioritization of high – reward sites in traplining bumblebees [J]. *Functional Ecology*, 2011, 25 (6): 1284 – 1292.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Long EY, Krupke CH. Non – cultivated plants present a season – long route of pesticide exposure for honey bees [J]. *Nature Communications*, 2016, 7 (1): 11629.

Mann RM, Hyne RV, Choung CB, *et al.* Amphibians and agricultural chemicals: Review of the risks in a complex environment [J]. *Environmental Pollution*, 2009, 157 (11): 2903 – 2927.

Mengoni Goñalons C, Farina WM. Impaired associative learning after chronic exposure to pesticides in young adult honey bees [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2018, 221 (7): b176644.

Morse RA. The dance language and orientation of bees [J]. *American Entomologist*, 1994, 40 (3): 187 – 188.

Motta EVS, Raymann K, Moran NA. Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bees [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018, 115 (41): 10305 – 10310.

Nwani CD, Lakra WS, Nagpure NS, *et al.* Effects on lipid peroxidation and activities of antioxidant enzymes in the freshwater fish *Channa punctatus* (Bloch) [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2010, 7 (8): 3298 – 3312.

Papaefthimiou C, Pavlidou V, Gregorc A, *et al.* The action of 2, 4 – dichlorophenoxyacetic acid on the isolated heart of insect and amphibia [J]. *Environmental Toxicology Pharmacology*, 2002, 11 (2): 127 – 140.

Pareja L, Jesús F, Heinzen H, *et al.* Evaluation of glyphosate and AMPA in honey by water extraction followed by ion chromatography mass spectrometry [J]. *The Royal Society of Chemistry*, 2019, 11 (16): 2123 – 2128.

Rortais AS, Arnold GR, Halm M, *et al.* Modes of honeybee exposure to systemic insecticides: Estimated amounts of contaminated pollen and nectar consumed by different categories of bees [J]. *Apidologie*, 2005, 36 (1): 71 – 83.

Schwarz RS. Hologenome theory and the honey bee pathosphere [J]. *Insect Science*, 2015: 1 – 7.

Seide VE, Bernardes RC, Pereira EJG, *et al.* Glyphosate is lethal and cry toxins alter the development of the stingless bee *Melipona quadrifasciata* [J]. *Environmental Pollution*, 2018, 243: 1854 – 1860.

Séralini G, Clair E, Mesnage R, *et al.* Long term toxicity of a roundup herbicide and a roundup – tolerant genetically modified maize [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2012, 50 (11): 4221 – 4231.

Shilo T, Zygier L, Rubin B, *et al.* Mechanism of glyphosate control of *Phelipanche aegyptiaca* [J]. *Planta*, 2016, 244 (5): 1095 – 1107.

Simoneaux BJ, Gould TJ. Chapter 7 – plant Uptake and Metabolism of Triazine Herbicides [M]. San Diego: Elsevier, 2008: 73 – 99.

Singh M, Sandhir R, Kiran R. Alterations in Ca^{2+} homeostasis in rat erythrocytes with atrazine treatment: Positive modulation by vitamin E [J]. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 2010, 340 (1 – 2): 231 – 238.

Sribanditmongkol P, Jutavijittum P, Pongraveevongsa P, *et al.* Pathological and toxicological findings in glyphosate – surfactant herbicide fatality [J]. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 2012, 33 (3): 234 – 237.

Stoner KA, Eitzer BD. Movement of soil – applied imidacloprid and thiamethoxam into nectar and pollen of squash (*Cucurbita pepo*) [J]. *PLoS ONE*, 2012, 7 (6): e39114.

Thompson HM, Levine SL, Doering J, *et al.* Evaluating exposure and potential effects on honeybee brood (*Apis mellifera*) development using glyphosate as an example [J]. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2014, 10 (3): 463 – 470.

Thornton BJ, Elthon TE, Cerny RL, *et al.* Proteomic analysis of atrazine exposure in *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae) [J]. *Chemosphere*, 2010, 81 (2): 235 – 241.

Umsza – Guez MA, Silva – Beltrán NP, Machado BAS, *et al.* Herbicide determination in Brazilian propolis using high pressure liquid chromatography [J]. *International Journal of Environmental Health Research*, 2019: 1 – 11.

Van der Zee R, Pisa L, Andonov S, *et al.* Managed honey bee colony losses in Canada, China, Europe, Israel and Turkey, for the winters of 2008 – 9 and 2009 – 10 [J]. *Journal of Apicultural Research*, 2012, 51 (1): 100 – 114.

Vargo JD. Development and independent laboratory validation of an analytical method for the direct determination of glyphosate, glufosinate, and amino methylphosphonic acid in honey by liquid [J]. *Journal of Regulatory Science*, 2017, 5 (2): 1 – 9.

Wang K, Jiang J, Lv X, *et al.* Application of solvent floatation to separation and determination of triazine herbicides in honey by high–performance liquid chromatography [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2018, 410 (8): 2183 – 2192.

Williams GM, Kroes R, Munro IC. Safety evaluation and risk assessment of the herbicide roundup and its active ingredient, glyphosate, for humans [J]. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2000, 31 (2): 117 – 165.

Wu JY, Smart MD, Anelli CM, *et al.* 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.

Zhu YC, Yao J, Adamczyk J, *et al.* Feeding toxicity and impact of imidacloprid formulation and mixtures with six representative pesticides at residue concentrations on honey bee physiology (*Apis mellifera*) [J]. *PLoS ONE*, 2017, 12 (6): e178421.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net