



تأثیرات قرار گرفتن زنبور عسل در معرض علف‌کش گلایفوسیت

رکسانا نظری^۱، مانی جبّاری^۲

۱- کارشناس ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند
۲- کارشناس ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۱۵

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22034/HBSJ.2024.366096.1169

رایانامه: roksana.nazari@gmail.com

چکیده:

استفاده می‌شود، که اثرات کشنده‌ای بر زنبورهای عسل دارد. در محیط طبیعی، زنبورهای عسل می‌توانند به طرق مختلف در معرض گلایفوسیت و فرمولاسیون‌های آن قرار گیرند، یا باعث مرگ فردی یا به داخل کندو منتقل شوند تا بر سلامت کل کلنی تأثیر بگذارند. همچنین غلظت‌های کشنده گلایفوسیت می‌تواند اثرات نامطلوب مختلفی بر رشد و نمو زنبور عسل، رفتار اجتماعی، دفاع ایمنی و غیره داشته باشد. **کلمات کلیدی:** اثرات کشنده، استامی پراید، ایمیداکلوپراید، آترازین، فرمولاسیون.

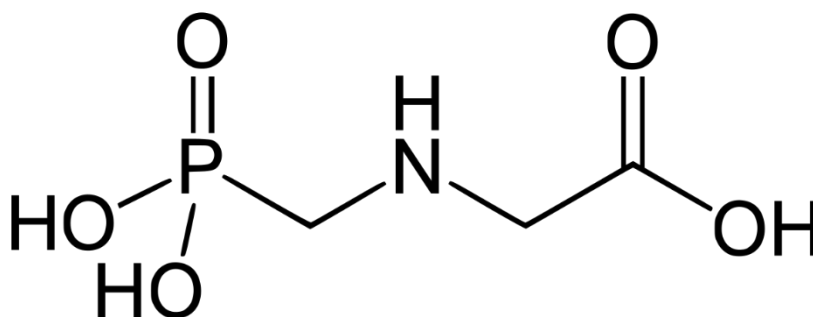
زنبورهای عسل نقش مهمی در گرده افشانی دارند و تأثیر مثبتی در بهبود عملکرد محصول و افزایش تنوع ژنتیکی گیاهان ایفا می‌کنند و در نتیجه منافع اقتصادی فوق العاده‌ای برای انسان به همراه دارند. با این حال، بقای زنبور عسل تحت تأثیر تعدادی از تنش‌های بیولوژیکی و غیرزیستی از جمله اثرات قارچ‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها، انگل‌ها و به‌ویژه مواد شیمیایی کشاورزی است. گلایفوسیت، یک علف‌کش با طیف وسیع که عمدتاً برای کنترل علف‌های هرز در کشاورزی





افزایش دهد (Kunugi and Mohammed Ali, 2019; Zhang et al., 2018). اگرچه زنبورهای عسل نقش مهمی در گرده افشانی دارند و به رفاه انسان کمک می‌کنند، اما بقای آنها تحت تأثیر استرس‌های مختلفی قرار می‌گیرد. به عنوان مثال می‌توان به تنش‌های بیولوژیکی تحمیل شده توسط ارگانوسم‌ها مانند قارچ‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها و انگل‌ها و تنش‌های غیر زنده ناشی از عواملی مانند دما، آفت‌کش‌ها و مواد مغذی اشاره کرد (Li et al., 2018). گلايفوسیت^۲، علفکش اولیه مورد استفاده در سراسر جهان بدلیل اثربخشی بالا در برابر علف‌های هرز، یک مهارکننده ۵-انولپیروویلشیکیمات-۳-فسفات سنتاز^۳ (EPSPS) است که برای سنتز پروتئین در گیاهان و برخی میکروارگانوسم‌ها حیاتی است (شکل ۱) (Krüger et al., 2013; Shilo et al., 2016).

زنبورهای عسل (Hymenoptera: Apidae) حشرات بسیار اجتماعی هستند که برای اولین بار بین ۱۲۰ تا ۱۳۰ میلیون سال پیش همزمان با ظهور آنژیوسپرم^۱ های اولیه ظاهر شدند (Engel, 2001). گرده افشانی توسط زنبورهای عسل برای افزایش عملکرد محصول، حفظ بقای گیاهان در معرض خطر و حفظ تنوع زیستی جهانی بسیار مهم است (Potts et al., 2010, Thomson, 2012). علاوه بر این، محصولات زنبور عسل مانند عسل، زهر زنبور عسل و ژل رویال دارای ارزش‌های کاربردی زیادی هستند به عنوان مثال، عسل دارای خواص ضد باکتریایی است، زهر زنبور عسل را می‌توان برای درمان بیماری استفاده کرد، و ژل رویال می‌تواند پیری سالم و طول عمر را



شکل ۱- ساختار شیمیایی علفکش گلايفوسیت

فرآیندهای رشد و مسیرهای آنتی اکسیدانی دارد (Farina et al., 2019, Helmer et al., 2015, Motta et al., 2018, Vázquez et al., 2018) (شکل ۲) و حتی می‌تواند باعث مرگ شود (جدول ۱). بنابراین، نگرانی گسترده‌ای در مورد کاهش زنبورهای عسل بدلیل استفاده نادرست از گلايفوسیت وجود دارد (Magal et al., 2019).

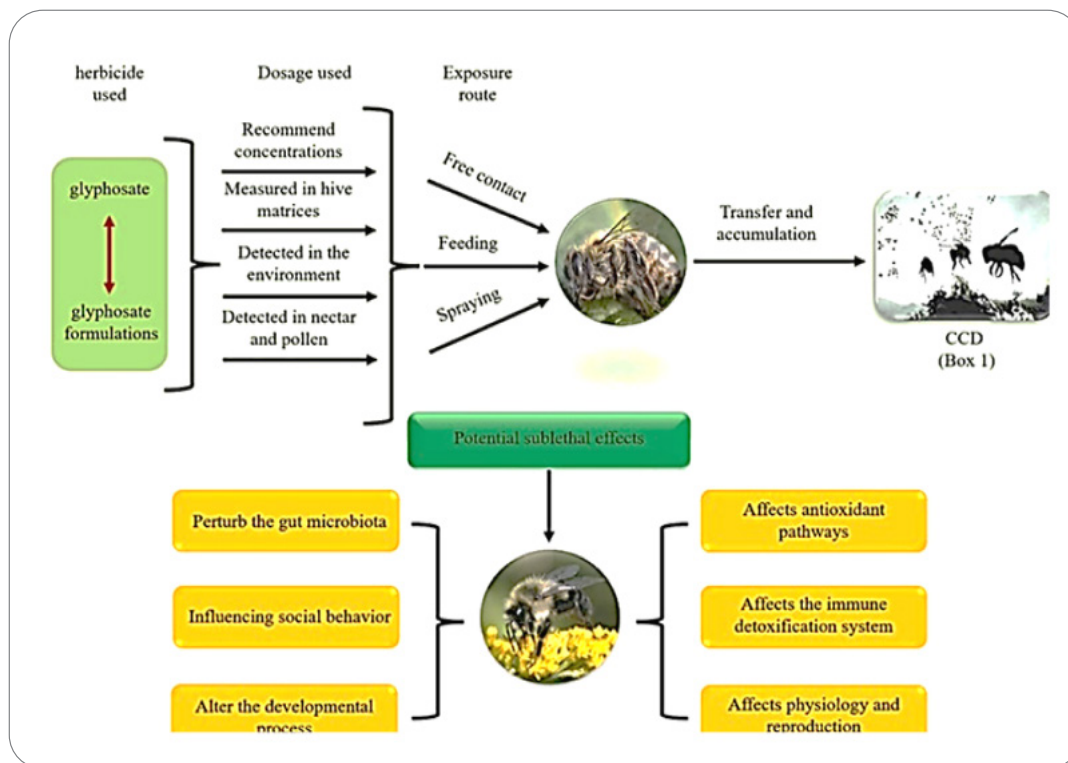
گلايفوسیت آفت‌کشی است که سمیت کمی برای حیوانات نشان می‌دهد زیرا آنها فاقد مسیر اسید شیکمیک هستند و اسیدهای آمینه را عمدتاً از رژیم غذایی خود بدست می‌آورند (Duke and Powles, 2008). با این حال، تعداد زیادی از مطالعات نشان داده‌اند که گلايفوسیت اثرات مخرب مختلفی بر روی میکروبیوتای روده زنبور عسل، رفتار جستجوی غذا،

2-Glyphosate

3-5-Enolpyruvylshikimate-3-Phosphate Synthase (Epsps)

1-Angiosperms





شکل ۲- اثرات گلايفوسیت بر روی زنبورهای عسل.

و به صنعت زنبورداری در بسیاری از کشورها وارد کرده است و تصور می شود که باعث از بین رفتن بیش از یک میلیون کلنی زنبور عسل در سراسر جهان شده است (Vanengels- (dorp et al., 2011). عوامل موثر در ایجاد CCD ممکن است شامل سوء تغذیه، آفت کش ها، کنه ها، تغییرات آب و هوایی و میکروارگانیسم های بیماری زا باشد. با این حال، اینکه آیا این پدیده توسط یک عامل منفرد ایجاد می شود یا ترکیبی از عوامل، نامشخص است (Tan et al., 2022).

اختلال فروپاشی کلونی

ناپدید شدن ناگهانی تعداد زیادی زنبور عسل کارگر از کندو سالم بدون بازگشت به کندو را CCD گفته می شود. CCD از نظر مکانی و زمانی به صورت جزئی و هیچ تغییر پاتولوژیک در لاروها یا کارگران بالغ قابل مشاهده نیست. بلکه معمولاً زنده می ماند و کندو حاوی لارو و چند کارگر تازه بالغ است. CCD آسیب جدی به کلنی های زنبور عسل در سراسر جهان





جدول ۱- تحقیقات مرتبط با مرگ و میر زنبور عسل ناشی از گلایفوسیت

Life cycle	Bees species	Pesticide forms	Exposed way	Lethal concentration	Citation
Larvae	<i>Apis mellifera</i>	pure 99.5% glyphosate	Feeding	,mg/L 4 mg/L 20	(Dai et al., 2018)
Empty Cell	<i>Melipona quadrifasciata</i>	Roundup formulation	Feeding	mg/L 16.3	(Seide et al., 2018)
Empty Cell	<i>Apis mellifera</i>	pure 99.2% glyphosate	Feeding	,mg/L 2.5 mg/L 5	(Vázquez et al., 2018)
Empty Cell	<i>Apis mellifera</i>	Glyphosate standard	Feeding	$10^{-3} \times 5.4$ mg/L	(Tomé et al., 2020)
Adults	<i>Apis mellifera</i>	Glyphosate standard	Feeding	,mg/L 2.5 mg/L 5	(Herbert et al., 2014)
Empty Cell	<i>Hypotrigona rufopoli</i>	Sunphosate 360 SL	Contact	,ml/L 10 ml/L 20	(Abraham et al., 2018)
Empty Cell	<i>Apis mellifera</i>	Sunphosate 360 SL	Contact	,ml/L 10 ml/L 20	(Abraham et al., 2018)
Empty Cell	<i>Apis mellifera</i>	Glyphosate standard	Feeding	,mg/L 16.91 mg/L 169.1	Motta and Moran,) (2020)
Empty Cell	<i>Apis mellifera</i>	Roundup formulation	Topical exposure	,mg/L 103×2.7 ,mg/L 103×5.4 mg/L 104×1.62	Motta et al., 2020)
Empty Cell	<i>Apis mellifera</i>	Roundup formulation	Feeding	,mg/L 3.6 mg/L 7.2	(Luo et al., 2021)
Empty Cell	<i>Apis mellifera</i>	Glyphosate standard	Feeding	,mg/L $10-4 \times 1$,mg/L $10-3 \times 1$ mg/L $10-2 \times 1$	(Almasri et al., 2020)
Empty Cell	<i>Apis mellifera</i>	Roundup formulation	Feeding	mg/L 25	(Faita et al., 2020)
Empty Cell	<i>Apis mellifera</i>	Roundup formulation	Feeding	mg/L 35	(Zhu et al., 2017a)

مختلف گلایفوسیت حاوی انواع ادجوانت است و اثرات آنها ممکن است با گلایفوسیت به تنهایی متفاوت باشد (Mesnage et al., 2013, Mullin, 2015).

تاثیر گلایفوسیت بر رفتارهای اجتماعی زنبور عسل

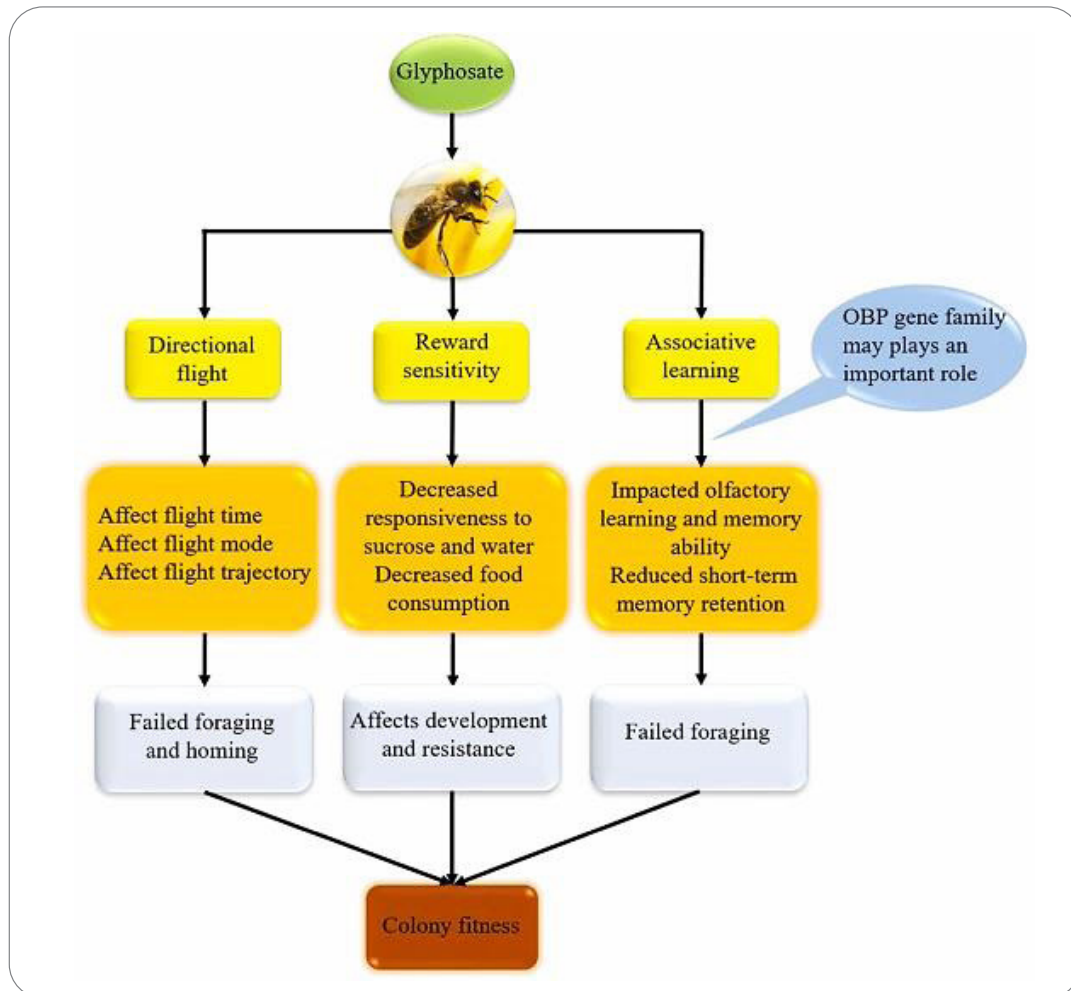
زنبورهای عسل حشرات بسیار اجتماعی هستند و هر فردی وظایف خاصی را برای حفظ بقا و تولید مثل کلنی‌ها بر عهده دارد (Jones et al., 2018). گلایفوسیت می‌تواند بر پرواز زنبور

قرار گرفتن در معرض گلایفوسیت در محیط‌های واقعی معمولاً کشنده است و در کوتاه مدت تأثیر قابل توجهی بر زنبورهای عسل ندارد (Giesy et al., 2000). با این حال، تجمع و انتقال گلایفوسیت در لانه زنبور عسل اثرات نامطلوبی بر عملکرد زنبور عسل در دراز مدت خواهد داشت (Kirchner, 1999) و حتی ممکن است بر بقای کل کلنی تأثیر بگذارد. علاوه بر این، برای افزایش پایداری آفت‌کش‌ها یا بهبود توانایی نفوذ سلول‌ها، ادجوانت‌ها اغلب به آفت‌کش‌ها اضافه می‌شوند تا فرمول‌هایی برای کاربردهای بالایی به دست آورند. فرمول‌های





عسل، اشتها، یادگیری و ریتم‌های شبانه روزی تأثیر بگذارد (Almasri et al., 2020; Delkash-Roudsari et al., 2020)، گلایفوسیت می‌تواند بر رفتار اجتماعی زنبور عسل تأثیر بگذارد، از جمله تداخل در پرواز جهت دار، اشتها، اختلال در یادگیری و



شکل ۲- اثرات گلایفوسیت بر رفتار اجتماعی زنبورهای عسل.

تأثیر گلایفوسیت بر توانایی یادگیری و بخاطر سپردن زنبورهای عسل

در کندو جمع می‌شود و زنبورهای عسل دیگر را نیز در معرض آفت‌کش قرار می‌دهد. گلایفوسیت یادگیری زنبورهای عسل کارگر را مختل می‌کند و بنابراین از جستجوی مناسب آنها جلوگیری می‌کند و با تأثیر گذاشتن بر سایر زنبورهای عسل در کندو، بقای کل کلنی را تهدید می‌کند (Farina et al., 2019). قرار گرفتن در معرض مزمن و حاد با غلظت ۲/۵ میلی گرم در لیتر گلایفوسیت منجر به یادگیری تداوی در زنبور عسل کارگر شد و قرار گرفتن در معرض حاد باعث کاهش حافظه کوتاه مدت گردید (Herbert et al., 2014). استفاده از گلایفوسیت فرموله شده تجاری (CFG) نتایج مشابهی را به همراه داشت: یادگیری

یادگیری و حافظه برای جستجوی گل‌ها برای زنبور عسل و سایر فعالیت‌های مهم هستند (Von Frisch, 2013). زنبورهای عسل باید منابع غذایی خاصی را با عطرها، رنگ‌ها و نشانه‌های خاص مرتبط کنند و این ارتباط را به خاطر بسپارند تا دقت و کارایی جستجوی خود را افزایش دهند (Dukas, 2008; Seeley, 2009). زنبورهای کارگر هنگام جست‌وجو، غذا یا آب آلوده به گلایفوسیت را به کندو برمی‌گردانند و گلایفوسیت





۷-آمینوبوتیریک^۵، هم در *A. mellifera* و *A. cerana cerana* کاهش یافت (Zhao et al., 2020). ریتم‌های شبانه‌روزی، به‌ویژه زمان استراحت، برای رفتارهای جستجوی گل برای زنبور عسل مهم هستند، زیرا کمبود زمان خواب کافی می‌تواند بیان ژن‌های خواب را تقویت کند و ممکن است بر رفتار یادگیری زنبور عسل تأثیر بگذارد (Eban-Rothschild and Bloch, 2012). گلایفوسیت می‌تواند بر ریتم شبانه‌روزی زنبورهای عسل بویژه فعالیت شبانه آنها تأثیر بگذارد و می‌تواند میانگین کلی فعالیت آنها را کاهش دهد، اما غلظت‌های مختلف اثرات متفاوتی دارند (Delkash-Roudsari et al., 2020). علاوه بر این، زنبورهای عسل در معرض گلایفوسیت کاهش فعالیت شاخک و کاهش دفعات خواب را نشان دادند، که ممکن است بدلیل بازسازی خواب و استرس متابولیک ناشی از گلایفوسیت باشد (Vázquez et al., 2020).

تأثیر گلایفوسیت بر پرواز جهت‌دار زنبور عسل

پرواز جهت‌دار بویژه زمانی که زنبورهای کارگر در خارج از کلنی به دنبال غذا هستند اهمیت دارد. زنبورهای عسل باید بین محل جستجوی گل‌ها و کندو به عقب و جلو پرواز کنند که این امر مستلزم به‌خاطر سپردن و ادغام اطلاعاتی است که در فرآیند جستجوی غذا به دست می‌آورند (Menzel et al., 2005, 2012). زنبور عسل دو نوع پرواز جهت برگشت دارد ۱- مستقیم (پرواز مستقیم از محل رهاسازی به کندو) و ۲- غیر مستقیم (شامل چندین حلقه قبل از رسیدن به کندو). علف‌کش گلایفوسیت (۱۰ میلی‌گرم در لیتر) باعث می‌شود زنبورهای عسل زمان بیشتری را برای بازگشت به کندو صرف کنند و بر مسیر پرواز آنها تأثیر بگذارد (Balbuena et al., 2015). همچنین مشخص شده است که حشره‌کش ایمیداکلوپرید بر رفتار کلنی نشینی زنبور عسل تأثیر می‌گذارد (Bortolotti et al., 2003) و در بازیابی حافظه آنها در طول پرواز اختلال ایجاد می‌کند (Fischer et al., 2014). بنابراین، ما فرض می‌کنیم که آفت‌کش‌ها ممکن است رفتار پرواز زنبورها را با آسیب رساندن به توانایی‌های یادگیری و حافظه آنها مختل کنند. همچنین نشان داده شده است که قرار گرفتن مداوم در معرض گلایفوسیت بر مسیر پرواز تأثیر می‌گذارد. همچنین در *A. mellifera* و *A. cerana cerana* گلایفوسیت فرموله شده تجاری (CFG) می‌تواند بیان ژن و فراوانی متابولیت مربوط

بویایی و توانایی حافظه با استفاده از CFG در غلظت‌های توصیه شده تحت تأثیر قرار گرفت و همچنین پاسخ‌دهی به ساکارز را کاهش داد (Luo et al., 2021)، که با نتایج یافت شده در تیمار با حشره‌کش استامی‌پراید^۱ مطابقت داشت (El Hassani et al., 2008). علاوه بر این، CFG پاسخ‌دهی به آب را پس از تیمار ۳ ساعت کاهش داد، در حالی که تیمار حشره‌کش استامی‌پراید منجر به افزایش پاسخ‌دهی به آب پس از ۱ ساعت شد. این ممکن است بدلیل تأثیر CFG بر پاسخ تشنگی زنبور عسل در طول زمان باشد. بنابراین، کاهش واکنش زنبور عسل به آب از طریق قرار گرفتن در معرض آفت‌کش‌ها ممکن است بر رشد و نمو زنبور عسل تأثیر بگذارد، زیرا آب برای رشد و نمو مناسب لارو زنبور عسل حیاتی است (Haydak, 1970). توانایی بالا رفتن زنبورهای عسل تحت تیمار CFG به طور قابل توجهی کاهش یافت و هرچه غلظت بالاتر بود، توانایی بالا رفتن سریع‌تر کاهش می‌یابد که ممکن است بر توانایی کار آنها تأثیر بگذارد. در مقابل، آزمایش دیگری نشان داد که قرار گرفتن در معرض مزمن با غلظت‌های کشنده گلایفوسیت حساسیت زنبورهای عسل به ساکارز را کاهش می‌دهد اما تأثیر قابل توجهی بر یادگیری ندارد. گلایفوسیت تنها در زنبورهای عسل ۹ روزه نسبت به زنبورهای ۵ روزه و ۱۴ روزه بر یادگیری متفاوت بویایی تأثیر می‌گذارد. با این وجود، گلایفوسیت هیچ تأثیری بر یادگیری بویایی مطلق نداشت، اما اثرات ایمیداکلوپرید^۲ را در هنگام استفاده با هم پنهان کرد (Goñalons and Farina, 2018). زنبورهای عسل از شاخک‌های خود برای یادگیری تداعی مرتبط با بوها استفاده می‌کنند (Frasnelli et al., 2014) و تغییرات در شاخک‌ها ممکن است با تغییرات در توانایی یادگیری مرتبط باشد. غلظت گلایفوسیت موجود در موم زنبور عسل (54 ppb) می‌تواند باعث بدشکلی‌هایی مانند کوتاه شدن شاخک‌ها و شکاف در شاخک‌های زنبور کارگر تازه متولد شده شود (Tomé et al., 2020). خانواده ژن پروتئین اتصال دهنده بو (OBP^۳) نقش مهمی در حساسیت بو و توانایی شناختی ایفا می‌کند (Deng et al., 2013, Li et al., 2019). تیمار با فرمول تجاری گلایفوسیت بیان بسیاری از ژن‌های OBP، مانند OBP3 و OBP7 مهار می‌شود و سطوح متابولیت‌های مربوط به سیستم حسی مانند اسید ال-مالیک^۴، هیستامین، و اسید

1- Acetamidiprid

2- Imidacloprid

3- Odorant-Binding Protein

4- L-Malic Acid

5- γ -aminobutyric acid





سم‌زدایی و مواد مغذی را برای رشد زنبور عسل فراهم کند و به مقاومت در برابر تهاجم پاتوژن کمک کند (Engel et al., 2012). مطالعات نشان داده‌اند که میکروبیوتای روده زنبور عسل بدلیل وجود سویه‌های حساس به گلیفوسیت مانند *S. alvi* و *Bifidobacterium spp* می‌تواند تحت تأثیر گلیفوسیت قرار گیرد و اثرات مشابهی در حیوانات دیگر مشاهده شده است (Ackermann et al., 2015, Aitbali et al., 2018, Dechartres et al., 2019, Shehata et al., 2013). گلیفوسیت می‌تواند بر فراوانی باکتری‌های مفید در روده *A. mellifera* زمانی که به صورت خوراکی یا موضعی که با شکر یا آب تهیه می‌شوند، تأثیر بگذارند (Motta et al., 2020). علاوه بر این، به نظر می‌رسد فرمول‌های تجاری تأثیر بیشتری بر زنبورهای عسل نسبت به گلیفوسیت به تنهایی دارند، مانند کاهش فراوانی مطلق گونه‌های *Gilliamella* و *Bifidobacterium spp* که منجر به مرگ و میر بالاتر می‌شود که احتمالاً بدلیل وجود مواد کمکی در فرمولاسیون گلیفوسیت می‌باشد و موجب کاهش تکثیر برخی از میکروارگانیسم‌ها در روده زنبور عسل توسط گلیفوسیت می‌گردد (Blot et al., 2019, Motta et al., 2018). در یک مطالعه روی لارو زنبور عسل، تنها ۲۰ میلی‌گرم در لیتر گلیفوسیت، تنوع و غنای گونه‌های میکروبی را به طور قابل توجهی کاهش داد، در حالی که در غلظت‌های پایین‌تر (۰/۸ میلی‌گرم در لیتر، ۴ میلی‌گرم در لیتر) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (Dai et al., 2018). این بدان معناست که غلظت بالای گلیفوسیت برای لارو زنبور عسل مضر است. مطالعات با استفاده از زنبورهای عسل در شرایط آزمایشگاهی نشان داده است که گلیفوسیت یک اثر کشنده پایدار بر میکروبیوتای روده زنبور کارگر بالغ جوان، هم در حین و هم پس از ایجاد میکروبیوتا دارد (Motta and Moran, 2020). بر این اساس، گزارش شد که تیمار با گلیفوسیت در مراحل اولیه رشد میکروبیوتای روده، فراوانی میکروبیوتای مفید را تغییر داده و در نتیجه با کلونیزاسیون^۳ (رشد و تکثیر عامل عفونی) طبیعی میکروبیوتا تداخل داشت، اگرچه گلیفوسیت کلونیزاسیون هیچ یک از اعضای اصلی میکروبیوتا را از بین نبرد (Motta et al., 2018). نقش گلیفوسیت در میکروبیوتای روده تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد. تیمار با گلیفوسیت منجر به کاهش فراوانی نسبی *G. apicola* شد (Blot et al., 2019). در حالی که نتایج مطالعه دیگری افزایش فراوانی نسبی را به دنبال تیمار گلیفوسیت نشان داد (Motta et al., 2018). این تفاوت به این

به متابولیسم لیپیدها را کاهش دهد (Zhao et al., 2020) که سوخت و انرژی اصلی برای پرواز حشرات هستند (Hauner-land, 1997, Van der Horst, 2003).

تأثیر گلیفوسیت بر رفتار تغذیه‌ای زنبور عسل

زنبورهای عسل به استرس آفت‌کش‌ها از طریق سم‌زدایی ایمنی و مسیرهای متابولیک آنتی‌اکسیدانی مختلف پاسخ می‌دهند که موجب مصرف زیادی انرژی از مواد مغذی غنی در غذای می‌شود (Castañeda et al., 2009). برخی از مطالعات نشان داده‌اند که گلیفوسیت زنبورهای عسل را تحریک می‌کند تا غذای بیشتری بخورند (Almasri et al., 2020, Faita et al., 2020). برخی بیان کرده‌اند که گلیفوسیت باعث بی‌اشتهایی زنبورهای عسل و در نتیجه کاهش مصرف غذا می‌شود (Goñalons and Farina, 2018, Helmer et al., 2015). محققان بیان کردند که گلیفوسیت مصرف غذای زنبورهای عسل را تغییر نمی‌دهد (Blot et al., 2019, Herbert et al., 2014, Thompson et al., 2014). ممکن است دلایل زیادی برای این تفاوت‌ها وجود داشته باشد، مانند عوامل فصلی، علاوه بر این، تفاوت در غلظت گلیفوسیت، وجود ادجوانت در GCFs، مدت زمان تیمار و حساسیت به گلیفوسیت در کلنی‌های مختلف ممکن است اثرات متفاوتی داشته باشد.

تأثیر گلیفوسیت بر میکروبیوتای روده زنبور عسل

گلیفوسیت^۱، EPSPS را در مسیر شیکیمات^۲ در گیاهان و برخی میکروارگانیسم‌ها مهار می‌کند. با این وجود، مطالعات قبلی بیان کردند که برخی از میکروب‌های روده زنبور عسل دارای EPSPS حساس به گلیفوسیت (کلاس Ia) هستند، که نشان می‌دهد برخی از میکروبیوتای روده بطور انتخابی توسط گلیفوسیت مهار می‌شوند (Motta et al., 2018). روده زنبور عسل کارگر بالغ دارای چندین گونه باکتری اصلی از جمله شامل *Lactobacillus spp. Firm-4*, *Lactobacillus spp. Firm-5* (phylum Firmicutes), *Bifidobacterium spp.* (phylum Actinobacteria), *Snodgrassella alvi*, *Gilliamella apicola* می‌باشد (Kwong and Moran, 2016). میکروبیوتای روده زنبور عسل می‌تواند غذا را هضم و زیست توده ناهمگن را

1- EPSP Synthase (3-phosphoshikimate 1-carboxyvinyltransferase)

2- Shikimate

3- Colonization





(et al., 2017, Schwarz et al., 2016).

اثر گلایفوسیت بر سم‌زدایی و سیستم‌های آنتی اکسیدانی زنبور عسل

زنبورهای عسل نسبت به سایر حشرات ژنوم کوچک‌تری دارند و فاقد برخی ژن‌های مرتبط با سم‌زدایی هستند (Beren-baum and Johnson, 2015). با این حال، زنبورهای عسل هنوز مسیرهای زیادی مرتبط با سم‌زدایی از آفت‌کش‌ها را نشان می‌دهند، مانند مسیرهایی که شامل سیتوکروم-*P450 monoox* (P450 (ygenase)، گلوکاتیون ترانسفراز (GSTs) و کربوکسیل / کولین استرازها (CCEs) می‌شوند (Claudianos et al., 2006). سطوح بیان ژن‌های پاسخ ایمنی، ژن‌های تنظیم‌کننده متابولیک و ژن‌های مرتبط با مسیرهای سیگنال‌دهی آنتی‌اکسیدانی همگی تحت استرس گلایفوسیت تغییر می‌کنند (جدول ۲).

دلیل رخ داد که آغازگرهای کمی مورد استفاده در دو آزمایش متفاوت بودند و شاخه‌های مختلف *G. apicola* را مورد هدف قرار دادند (Blot et al., 2019). از نظر حساسیت به پاتوژن‌ها، گلایفوسیت برای افزایش عفونت توسط *N. ceranae* یافت نشد (Blot et al., 2019). در حالی که، مطالعه دیگری گزارش داد که تیمار گلایفوسیت حساسیت به عفونت توسط *Serratia mars-escens* را افزایش می‌دهد (Motta et al., 2018). در واقع، تأثیر گلایفوسیت بر حساسیت زنبور عسل به عوامل بیماری‌زا به عوامل متعددی مانند گونه‌های باکتری‌های بیماری‌زا و حساسیت خود پاتوژن به سیستم‌های ایمنی و سم‌زدایی بستگی دارد (Blot et al., 2019). بطور کلی، گلایفوسیت برخی از اثرات کشنده بر میکروب‌های روده زنبور عسل در هر دو مرحله لاروی و بالغ دارد. مهار رشد برخی از میکروارگانیسم‌های مفید، به ویژه *S. alvi* حساسیت به پاتوژن‌ها را افزایش می‌دهد و منجر به دیس‌بیوز میکروب‌های روده می‌شود (Raymann et al., 2018, Raymann et al., 2018).

جدول ۲- ژن‌های دخیل در پاسخ به استرس گلایفوسیت در زنبورهای عسل.

منبع	چرخه زندگی	ژن‌های هدف	عملکرد	خانواده‌های ژنی
Vázquez et al., 2018)) (Macri et al., 2021) ((Tomé et al., 2020	لارو، بالغ	CYP6AS2, CYP6AS4, CYP9Q3, CYP6AS3, CYP9Q2, CYP6BD1, CYP15A1, CYP9E2, CYP6A14	Detoxification enzyme action	CYP450s
(Vázquez et al., 2020	لارو	UGT1-3	Glycosylation with hydrophobic small molecules	Glucuronosyltransferase family 1
(Vázquez et al., 2020	لارو	EST	Detoxification enzyme	Esterase
(Vázquez et al., 2020	لارو	SLC1	contribute in solute transport	Solute carrier family
(Gregorc et al., 2012	لارو	PPOact	Key enzyme for melanization reaction	Proclotting enzyme
(Gregorc et al., 2012	لارو	hex 70a	amino acid storage and exploitation	Hexamerin
Zhao et al., 2020) (Vázquez et al., 2018	لارو، بالغ	Apidaecin, abaecin, defensin, hymenoptaecin	Immune defense	Antimicrobial peptides
Zhao et al., 2020	بالغ	CPR3, CPR14, CPR19	Defense and protection	Cuticular proteins
(Zhao et al., 2020	بالغ	Hsp83, Hsp90, DnaJC17	Maintain cell homeostasis	Heat shock protein
(Zhao et al., 2020	بالغ	OBP3, OBP9, OBP15	Development of the olfactory system	Odourant-binding protein
(Zhao et al., 2020	بالغ	PKAc1, PKAr1	Activate the associated substrate	cAMP-dependent protein kinase





دارد (Toutant et al., 1988) و عملکرد غیرعصبی به عنوان یک مولکول علامت‌دهنده مهم در فرآیندهایی مانند دفاع، پاسخ‌های استرس و فرآیندهای آنتی‌اکسیدانی دارد (Kang et al., 2011; Kim et al., 2019). برخی از مطالعات نشان داده‌اند که گلایفوسیت می‌تواند فعالیت استیل کولین استراز را کاهش دهد (Boily et al., 2013; Zhu et al., 2017). در حالی که برخی دیگر نشان داده‌اند که گلایفوسیت می‌تواند فعالیت آنزیم را افزایش دهد (Almasri et al., 2020). علت این تفاوت‌ها ممکن است تنوع فصلی باشد، زیرا مطالعه‌ای نشان داد که ایمیداکلوپرید در تابستان بیشتر از زمستان بر زنبور عسل تأثیر می‌گذارد (Decourtye et al., 2003). گلایفوسیت همچنین می‌تواند بر متابولیسم کاروتنوئید و رتینوئید A تأثیر بگذارد که نقش مهمی در عملکرد آنتی‌اکسیدانی حشرات دارند (Alvarez et al., 2014). سطوح β -کاروتن و at-ROH به طور قابل توجهی با قرار گرفتن در معرض گلایفوسیت کاهش می‌یابد (Helmer et al., 2015). علاوه بر این، تجزیه و تحلیل متابولوم نشان داد که GCF می‌تواند بر بسیاری از مسیرهای متابولیک مانند متابولیسم اسید آمینه، کربوهیدرات و انرژی تأثیر بگذارد. فراوانی متابولیت‌ها در *A. cerana* بیشتر از *A. mellifera* تحت تنش گلیفوسیت است، که نشان می‌دهد *A. cerana* ممکن است راه‌های موثرتری برای مقاومت در برابر آسیب ناشی از گلایفوسیت نشان دهد (Zhao et al., 2020). همه این نتایج نشان می‌دهند که تیمار با گلایفوسیت یا GCFs با آسیب رساندن به مسیرهای مهم سم‌زدایی و سیگنال‌دهی آنتی‌اکسیدانی بر زنبورهای عسل تأثیر منفی می‌گذارد. علاوه بر این، زنبورهای عسل لارو و بالغ بیان ژن و شبکه‌های متابولیکی و حالت‌های تکاملی متفاوتی از خود نشان می‌دهند که در نتیجه حساسیت و مقاومت آنها به گلایفوسیت تفاوت دارد. اگرچه مطالعات نشان داده است که لاروها ممکن است نسبت به بزرگسالان نسبت به آفت‌کش‌ها آسیب پذیرتر باشند (Macri et al., 2021).

تأثیر گلایفوسیت بر رشد و نمو زنبور عسل

گلایفوسیت نه تنها می‌تواند جستجوی صحیح زنبورهای عسل را با تأثیر بر پرواز و توانایی یادگیری تداعی آنها کاهش دهد، بلکه می‌تواند از نظر فیزیولوژیکی رشد آنها را به تاخیر بیندازد (Vázquez et al., 2018). در طول رشد زنبور عسل، لاروها چهار بار پوست اندازی می‌کنند که هر بار تقریباً ۲۴ ساعت طول می‌کشد و به دنبال آن وارد مرحله شفیره می‌شوند

بسیاری از ژن‌های دخیل در پاسخ‌های دفاعی و فرآیندهای متابولیک واسطه‌بطور متفاوتی در لارو زنبور عسل پس از قرار گرفتن در معرض مزمن با گلایفوسیت بیان می‌شوند (UGT1- (Vázquez et al., 2020) 3 و EST بطور قابل توجهی تنظیم شدند، در حالی که SLC1 و Hsp70a (پروتئین ذخیره‌هگزامر) بطور قابل توجهی کاهش یافتند (Gregorc et al., 2012). نتایج رونوشت و آنالیز متابولومیک نشان داد که تحت تیمار GCF، هر دو *A. mellifera* و *A. cerana* تغییرات قابل توجهی در بیان بسیاری از ژن‌های مرتبط با مسیرهای سیگنالینگ آنتی‌اکسیدانی مهم و مسیرهای متابولیک، مانند مسیرهای درگیر در رفتار تغذیه، توسعه سیستم عصبی، پاسخ‌های دفاعی، متابولیسم اسیدهای آمینه و متابولیسم کربوهیدرات‌ها بیان کردند (GCF). Zhao et al., 2020). با محصولاتی از جمله پپتیدهای ضد میکروبی، آنزیم‌های سیتوکروم P450، پروتئین‌های اپیدرمی و خانواده‌های ژنی F از جمله آن‌هایی که پروتئین‌های شوک حرارتی و OBPs را کد می‌کنند، تنظیم مثبت خانواده‌های ژنی را القا کرد. این نتایج نشان داد که کاتابولیسم و متابولیسم اکسیداتیو در پاسخ به استرس گلایفوسیت در زنبورهای عسل افزایش می‌یابد.

بسیاری از ژن‌های سم‌زدایی ایمنی در روده لارو تغییراتی را تحت تیمار با گلایفوسیت نشان می‌دهند، اما سطح بیان این ژن‌ها در بین کلنی‌ها بسیار متفاوت است (Vázquez et al., 2018). در واقع، کلنی‌های مختلف از نظر حساسیت به گلایفوسیت متفاوت هستند که ممکن است بدلیل عوامل مختلفی مانند عوامل محیطی و تنوع ژنتیکی باشد. تنوع در تنظیم ژن‌های سم‌زدایی ایمنی ممکن است تفاوت‌های تحمل زنبور عسل به قرار گرفتن در معرض گلایفوسیت را بهتر توضیح دهد. با این حال، بهبود تحمل به این معنی نیست که آفت‌کش برای زنبورهای عسل بی‌ضرر است، زیرا به افزایش بار آلوستاتیک^۱ کلنی کمک می‌کند (Vázquez et al., 2018). علاوه بر این، الگوهای بیان ژن‌های سم‌زدایی بین لارو و زنبورهای عسل بالغ تحت استرس آفت‌کش متفاوت است. ژن‌های سم‌زدایی عموماً در لاروها کاهش می‌یابند و در بالغین تنظیم می‌شوند (Tomé et al., 2020). این نشان می‌دهد که آفت‌کش‌ها بیان ژن‌های سم‌زدایی را در طول فرآیند رشد از لارو تا بالغ القا می‌کنند. استیل کولین استراز^۲ عملکردهای عصبی در انتقال سیناپسی و ارتباطات عصبی عضلانی نقش

1- Allostatic

2- Acetylcholinesterase



می‌دهد، که موجب سوء تغذیه و کاهش رشد و نمو می‌شود (Zhao et al., 2020). غدد هیپوفارنکس زنبورهای عسل می‌توانند آنزیم‌های مسئول متابولیسم مواد مغذی را سنتز کنند و ژل رویال محصول زنبور عسل یک ماده مغذی ضروری در طول رشد لارو و کل چرخه زندگی ملکه است را تولید کند (Feng et al., 2009, Kamakura, 2011). تغذیه از مواد غذایی حاوی گلیفوسیت توسط زنبورهای عسل شیرده منجر به تکه شدن و ناپیوستگی غیرطبیعی شبکه آندوپلاسمی خشن در سلول‌های غده هیپوفارنکس شد و ساختار و عملکرد میتوکندری را تغییر داد (Faita et al., 2018). در زنبورهای عسل تازه متولد شده، غلظت کشنده گلیفوسیت (0.8 ppb) باعث کاهش تعداد سلول‌های غده هیپوفارنکس نسبت به گروه شاهد شد. زنبور کارگرانی که در معرض گلیفوسیت در سطح موجود در موم (54 ppb) قرار گرفتند نیز کاهش اندازه هسته سلولی را نشان دادند (Tomé et al., 2020). تغییرات در فراساختار و مورفولوژی و ساختار سلول‌های غده هیپوفارنکس منجر به انحطاط زودرس این ساختارها و اختلال در متابولیسم انرژی می‌شود که ممکن است بر رشد زنبور عسل تأثیر بگذارد و در نهایت بقای دراز مدت جمعیت را مختل کند. گلیفوسیت بدلیل وجود تنوع ژنتیکی و بافر اجتماعی اثرات متفاوتی در بین کلنی‌ها دارد (Odemer and Rosenkranz, 2020).

اگرچه گلیفوسیت بطور گسترده در سراسر جهان به عنوان یک علف‌کش با طیف گسترده استفاده می‌شود، آفت‌کش‌های متعدد اغلب بطور همزمان در تولیدات کشاورزی استفاده می‌شوند. انواع آفت‌کش‌ها اغلب در بسترهای لانه زنبوری مانند موم، گرده یا عسل در سطوح مختلف شناسایی می‌شوند (Johnson et al., 2010, Mullin et al., 2010). بنابراین زنبورهای عسل به ناچار با این مواد شیمیایی سمی در تماس هستند. ترکیب این مواد بیوشیمیایی می‌تواند حتی سمی‌تر باشد و خطری برای بقای زنبورهای عسل و عمل گرده افشانی آنها را به طور جدی تحت تأثیر قرار دهد (Tan et al., 2022). مخلوط گلیفوسیت با آترازین و کادمیوم می‌تواند استرس اکسیداتیو را القاء کند و در نتیجه پراکسیداسیون لیپیدی ایجاد شود و بر برخی مراحل و متابولیت‌های مسیرهای متابولیک رتینوئید و کاروتنوئید تأثیر بگذارد. به عنوان مثال، گلیفوسیت به تنهایی سطح آلفا یا بتا کاروتن را کاهش نمی‌دهد، اما مخلوط گلیفوسیت حاوی آترازین و کادمیوم می‌تواند سطح آنها را کاهش دهد (Jumarie et al., 2017). با این حال، ترکیب ایمیداکلوپرید و گلیفوسیت سمیت را برای زنبورهای عسل افزایش نداد (Zhu et al., 2017) که نشان می‌دهد

(Michelette and Soares, 1993). قرار گرفتن لاروها در معرض گلیفوسیت عمدتاً بدلیل زنبورهای عسل کارگر است که منابع غذایی حاوی بقایای گلیفوسیت را به کندو برمی‌گردانند و در نتیجه این بقایا در لانه‌ها تجمع می‌یابد. سپس گلیفوسیت توسط شیردهی زنبورهای عسل از طریق تغذیه به لاروها منتقل می‌شود. بقایای آفت‌کش‌های سمی در کندو می‌تواند بر رشد لاروها تأثیر منفی بگذارد یا حتی آنها را مستقیماً بکشد و بقای کلنی را در دراز مدت با چالش جدی مواجه کند. قرار گرفتن مزمن در معرض غلظت بالایی از گلیفوسیت می‌تواند اثرات غیرمستقیم ظرفیتی بر رشد لارو زنبور عسل در یک دوره زمانی نامعلوم داشته باشد (Odemer et al., 2020). محققان بیان کردند که گلیفوسیت پوست اندازی زنبور عسل را به تأخیر می‌اندازد و باعث کاهش وزن می‌شود و الگوهای دوز-پاسخ متفاوتی را در بین کلنی‌ها در طیف وسیعی از غلظت‌ها ارائه می‌دهد (Vázquez et al., 2018). پدیده پوست اندازی تأخیری در آزمایش‌های دیگر نیز تأیید شد (Vázquez et al., 2020). در مقابل، مطالعه دیگری نشان داد که گلیفوسیت تأثیر قابل توجهی بر بقای لارو، رشد یا وزن متوسط شفیره ندارد (Thompson et al., 2014). این ممکن است بدلیل استفاده از نمک گلیفوسیت ایزوپروپیل‌آمین^۱ (IPA) به جای فرمولاسیون گلیفوسیت در آزمایش باشد، که نشان می‌دهد نمک IPA به تنهایی عامل مهمی در ایجاد تغییرات در رشد لارو نیست. علاوه بر این، هیچ تغییر قابل توجهی در رشد کلنی یا زمستان‌گذرانی موفق مشاهده نشد. همه این یافته‌ها نشان می‌دهد که اگرچه گلیفوسیت بر رشد لارو زنبور عسل تأثیر می‌گذارد، اما تأثیر قابل توجهی بر بقا و نگهداری کلنی ندارد. مطالعات نشان داده‌اند که اگرچه کارگران تازه متولد شده وزن کمی دارند، اما بقای آنها تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد (Odemer et al., 2020). اگرچه رشد لاروها تغییر کرده است، کلنی هنوز زنده می‌ماند. در واقع، سرنوشت فرد معمولاً جدا از سرنوشت کلنی است و اثر بافر اجتماعی نقش جبران‌کننده مهمی در مقاومت آفت‌کش‌های حشرات اجتماعی ایفا می‌کند (Odemer and Rosenkranz, 2020). علاوه بر این، انواع مختلفی از مواد مغذی، مانند مواد معدنی، ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه، برای رشد و نمو زنبورهای عسل ضروری هستند (Negri et al., 2019)، و برخی حتی در تنظیم ایمنی و بیان ژن نقش دارند (Hendriksma et al., 2019). GCF با متابولیسم و جذب مواد مغذی را در زنبورهای عسل کاهش

1- glyphosate isopropylamine



در معرض مخلوط‌ها، شکل و غلظت اجزای مخلوط و فصلی بودن زنبورهای عسل باشد.

نتیجه‌گیری

گلایفوسیت یک علفکش است که بطور گسترده در سراسر جهان استفاده می‌شود. اگرچه هدف آن گیاهان و میکروارگانیسم‌ها هستند، اما یک سری اثرات کشنده بر زنبورهای عسل می‌گذارد که ارزش طبیعی آنها به عنوان یک حشره‌گرده‌افشان و ارزش اقتصادی آنها برای انسان را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. علاوه بر این، فرمول‌های گلایفوسیت بدلیل محتوای کمکی‌شان برای زنبورهای عسل سمی‌تر هستند. قرار گرفتن در معرض گلایفوسیت در شرایط آزمایشگاهی، صرف نظر از قرار گرفتن در معرض خوراکی یا موضعی یا مواجهه حاد یا مزمن، نمی‌تواند شرایط محیطی واقعی را نشان دهد، اما با این وجود نشان داده است که گلایفوسیت و فرمولاسیون‌های تجاری آن اثرات نامطلوبی بر زنبورهای عسل دارند. توجه به این نکته مهم است که گلایفوسیت همیشه باعث مرگ فوری زنبور عسل نمی‌شود، اما بر عملکرد زنبور عسل تأثیر منفی می‌گذارد یا منجر به کاهش و بهره‌وری کندو می‌شود و سلامت کل کلنی را به مشکل طولانی مدت مواجه می‌کند (Devillers et al., 2002, Farina et al., 2019).

غلظت مواد شیمیایی منفرد باید به آستانه‌های خاصی برسد تا سمیت حاصل شود یا سمیت سایر مواد در مخلوط افزایش یابد (Cedergreen, 2014). نتایج مشابه اما واضح‌تری در مطالعه دیگری تأیید شد که نشان می‌دهد مخلوط‌های دوتایی یا سه‌تایی گلایفوسیت با ایمیداکلوپرید یا دیفنوکنازول^۱ سمی‌تر از گلایفوسیت به تنهایی هستند، اما غلظت‌های بالای آفت‌کش‌ها همیشه سمیت بالاتری ایجاد نمی‌کنند (Almasri et al., 2020). جالب توجه است، زمانی که *Osmia bicornis* یک زنبور عسل منفرد، به مدت ۱۰ روز در معرض غلظت کشنده گلایفوسیت، به تنهایی یا همراه با کلوتیانیدین^۲ قرار گرفت، ارتباط مثبتی بین غلظت و طول عمر یافت شد (Strobl et al., 2020). برخلاف تفکر شهودی، مشخص شد که زنبورهای عسل زمانی که در معرض دوزهای بالاتر قرار می‌گیرند، احتمالاً بدلیل پدیده رایج هورمسیس^۳ ناشی از آفت‌کش‌ها، عمر طولانی‌تری دارند (Guedes and Cutler, 2014). علاوه بر این، مخلوط گلایفوسیت، دیفنوکنازول و ایمیداکلوپرید منجر به افزایش مصرف غذا شد، در حالی که مخلوط ایمیداکلوپرید و گلایفوسیت مصرف غذا را کاهش داد (Zhu et al., 2017). این ممکن است بدلیل استفاده از محصولات فرموله شده باشد که حاوی عوامل کمکی است که ممکن است در مورد دوم باعث ایجاد اثر بی‌اشتهایی در زنبورهای عسل شود. اثرات متفاوت مخلوط‌های مورد استفاده در مطالعات مختلف می‌تواند ناشی از عوامل متعددی مانند سن زنبورهای عسل، زمان قرار گرفتن

1- Difenoconazole

2- Clothianidin

3- Hormesis





- Abraham, J. Benhotons, G.S. Krampah, I. Tagba, J. Amissah, C. Abraham, J.D. 2018. Commercially formulated glyphosate can kill non-target pollinator bees under laboratory conditions. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 166 (8): 695-702.
- Ackermann, W. Coenen, M. Schrödl, W. Shehata, A.A. Krüger, M. 2015. The influence of glyphosate on the microbiota and production of botulinum neurotoxin during ruminal fermentation. *Current Microbiology*. 70 (3): 374-382.
- Aitbali, Y. Ba-M'hamed, S. Elhidar, N. Nafis, A. Soraa, N. Bennis, M. 2018. Glyphosate based-herbicide exposure affects gut microbiota, anxiety and depression-like behaviors in mice. *Neurotoxicol. Teratol.* 67: 44-49.
- Almasri, H. Tavares, D.A. Pioz, M. Sené, D. Tchamitchian, S. Cousin, M. Brunet, J.-L. Belzunces, L.P. 2020. Mixtures of an insecticide, a fungicide and a herbicide induce high toxicities and systemic physiological disturbances in winter *Apis mellifera* honey bees. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 203 (2020), Article 111013.
- Alvarez, R. Vaz, B. Gronemeyer, H. de Lera, A.R. 2014. Functions, therapeutic applications, and synthesis of retinoids and carotenoids. *Chemical Reviews*. 114 (1): 1-125
- Balbuena, M.S. Tison, L. Hahn, M.L. Greggers, U. Menzel, R. Farina, W.M. 2015. Effects of sublethal doses of glyphosate on honeybee navigation. *Journal of Experimental Biology*. 218(17): 2799-2805.
- Berenbaum, M.R. and Johnson, R.M. 2015. Xenobiotic detoxification pathways in honey bees. *Current Opinion in Insect Science*. 10: 51-58.
- Blot, N. Veillat, L. Rouzé, R. Delatte, H. 2019. Glyphosate, but not its metabolite AMPA, alters the honeybee gut microbiota. *PLoS One*, 14 (4) (2019), Article e0215466
- Boily, M. Sarrasin, B. DeBlois, C. Aras, P. Chagnon, M. 2013. Acetylcholinesterase in honey bees (*Apis mellifera*) exposed to neonicotinoids, atrazine and glyphosate: laboratory and field experiments. *Environmental Science and Pollution Research*. 20 (8): 5603-5614.
- Bortolotti, L. Montanari, R. Marcelino, J. Medrzycki, P. Maini, S. Porrini, C. 2003. Effects of sub-lethal imidacloprid doses on the homing rate and foraging activity of honey bees. *Bull. Insect*, 56: 63-68.
- Castañeda, L.E. Figueroa, C.C. Fuentes-Contreras, E. Niemeyer, H.M. Nespolo, R.F. 2009. Energetic costs of detoxification systems in herbivores feeding on chemically defended host plants: a correlational study in the grain aphid, *Sitobion avenae*. *Journal of Experimental Biology*. 212 (8): 1185-1190.
- Cedergreen, N. 2014. Quantifying synergy: a systematic review of mixture toxicity studies within environmental toxicology. *PLoS One*, 9 (5) (2014), Article e96580.
- Claudianos, C. Ranson, H. Johnson, R.M. Biswas, S. Schuler, M.A. Berenbaum, M.R. Feyereisen, R. Oakeshott, J.G. 2006. A deficit of detoxification enzymes: pesticide sensitivity and environmental response in the honeybee. *Insect Molecular Biology*. 15 (5): 615-636,
- Dai, P. Yan, Z. Ma, S. Yang, Y. Wang, Q. Hou, C. Wu, Y. Liu, Y. Diao, Q. 2018. The herbicide glyphosate negatively affects midgut bacterial communities and survival of honey bee during larvae reared in vitro. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 66 (29): 7786-7793.
- Dechartres, J. Pawluski, J.L. Gueguen, M.M. Jablaoui, A. Maguin, E. Rhimi, M. Charlier, T.D. 2019. Glyphosate and glyphosate-based herbicide exposure during the peripartum period affects maternal brain plasticity, maternal behaviour and microbiome. *Journal of Neuroendocrinology*. 31(9):
- Decourtye, A. Lacassie, E. Pham-Delègue, M.H. 2003. Learning performances of honeybees (*Apis mellifera* L) are differentially affected by imidacloprid according to the season. *Pest Management Science*. 59 (3): 269-278.





- Delkash-Roudsari, S. Chicas-Mosier, A.M. Goldansaz, S.H. Talebi-Jahromi, K. Ashouri, A. Abramson, C.I. 2020. Assessment of lethal and sublethal effects of imidacloprid, ethion, and glyphosate on aversive conditioning, motility, and lifespan in honey bees (*Apis mellifera* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 204 (2020):
- Deng, Y. Yan, H. Gu, J. Xu, J. Wu, K. Tu, Z. James, A.A. Chen, X. 2013. Molecular and functional characterization of odorant-binding protein genes in an invasive vector mosquito, *Aedes albopictus*. *PLoS One*, 8 (7) (2013),
- Devillers, J. Pham-Delegue, M. Decourtye, A. Budzinski, H. Cluzeau, S. Maurin, G. 2002. Structure-toxicity modeling of pesticides to honey bees. *SAR QSAR Environ. Res.*, 13 (7-8): 641-648
- Dukas, R. 2008. Life history of learning: performance curves of honeybees in the wild. *Ethology*, 114 (12):1195-1200.
- Duke, S.O. and Powles, S.B. 2008. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science.*, 64 (4): 319-325.
- Eban-Rothschild, A. and Bloch, G. 2012. Circadian rhythms and sleep in honey bees *Honeybee Neurobiology and Behavior*, Springer (2012), pp. 31-45
- El Hassani, A.K. Dacher, M. Gary, V. Lambin, M. Gauthier, M. Armengaud, C. 2008. Effects of sublethal doses of acetamiprid and thiamethoxam on the behavior of the honeybee (*Apis mellifera*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 54 (4): 653-661.
- Engel, M.S. 2001. A monograph of the Baltic amber bees and evolution of the Apoidea (Hymenoptera). *Bulletin of the American Museum of Natural History*. 259: 1-192.
- Engel, P. Martinson, V.G. Moran, N.A. 2012. Functional diversity within the simple gut microbiota of the honey bee. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 109(27); 11002-11007.
- Faita, M.R. Cardozo, M.M. Amandio, D.T.T. Orth, A.I. Nodari, R.O. 2020. Glyphosate-based herbicides and *Nosema* sp. microsporidia reduce honey bee (*Apis mellifera* L.) survivability under laboratory conditions. *Journal of Apicultural Research*. 59(4): 332-342.
- Faita, M.R. de Medeiros Oliveira, E. Júnior, V.V.A. Orth, A.I. Nodari, R. O. 2018. Changes in hypopharyngeal glands of nurse bees (*Apis mellifera*) induced by pollen-containing sublethal doses of the herbicide Roundup®. *Chemosphere*, 211: 566-572
- Farina, W.M. Balbuena, M.S. Herbert, L.T. Mengoni Goñalons, C. Vázquez, D.E. 2019. Effects of the herbicide glyphosate on honey bee sensory and cognitive abilities: individual impairments with implications for the hive *Insects*, 10 (10): 10.3390/insects10100354.
- Feng, M. Fang, Y. Li, J. 2009. Proteomic analysis of honeybee worker (*Apis mellifera*) hypopharyngeal gland development. *BMC Genom.*, 10 (1):1-12
- Fischer, J. Mueller, T. Spatz, A.-K. Greggers, U. Gruenewald, B. Menzel, R. 2014. Neonicotinoids interfere with specific components of navigation in honeybees. *PLoS One*, 9 (3) (2014),
- Frasnelli, E. Haase, A. Rigosi, E. Anfora, G. Rogers, L.J. Vallortigara, G. 2014. The bee as a model to investigate brain and behavioural asymmetries. *Insects*, 5 (1): 120-138,
- Giesy, J.P. Dobson, S. Solomon, K.R. 2000. Ecotoxicological risk assessment for Roundup® herbicide. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. (2000), pp. 35-120
- Goñalons, C.M. and Farina, W.M. 2018. Impaired associative learning after chronic exposure to pesticides in young adult honey bees. *Journal of Experimental Biology*. 221(7):
- Gregorc, A. Evans, J.D. Scharf, M. Ellis, J.D. 2012. Gene expression in honey bee (*Apis mellifera*) larvae





- exposed to pesticides and Varroa mites (*Varroa destructor*). *Journal of Insect Physiology*. 58(8):1042-1049.
- Guedes, R.N.C. and Cutler, G.C. 2014. Insecticide-induced hormesis and arthropod pest management. *Pest Management Science*. 70 (5): 690-697
- Hauerland, N.H. 1997. Transport and utilization of lipids in insect flight muscles. *Comp. Biochem. Physiol. Part B Biochem. Mol. Biol.*, 117(4): 475-482
- Haydak, M.H. 1970. Honey bee nutrition. *Annual Review of Entomology*. 15 (1): 143-156
- Helmer, S.H. Kerbaol, A. Aras, P. Jumarie, C. Boily, M. 2015. Effects of realistic doses of atrazine, metolachlor, and glyphosate on lipid peroxidation and diet-derived antioxidants in caged honey bees (*Apis mellifera*). *Environmental Science and Pollution Research*. 22 (11): 8010-8021.
- Hendriksma, H.P. Pachow, C.D. Nieh, J.C. 2019. Effects of essential amino acid supplementation to promote honey bee gland and muscle development in cages and colonies. *Journal of Insect Physiology*. 117 (2019),
- Herbert, L.T. Vázquez, D.E. Arenas, A. Farina, W.M. 2014. Effects of field-realistic doses of glyphosate on honeybee appetitive behaviour. *Journal of Experimental Biology*. 217(19): 3457-3464.
- Johnson, R.M. Ellis, M.D. Mullin, C.A. Frazier, M. 2010. Pesticides and honey bee toxicity—USA. *Api-dologie*, 41 (3): 312-331.
- Jones, J.C. Fruciano, C. Marchant, J. Hildebrand, F. Forslund, S. Bork, P. Engel, P. Hughes, W.O.H. 2018. The gut microbiome is associated with behavioural task in honey bees. *Insectes Soc.*, 65 (3): 419-429.
- Jumarie, C. Aras, P. Boily, M. 2017. Mixtures of herbicides and metals affect the redox system of honey bees. *Chemosphere*, 168:163-170.
- Kamakura, M. 2011. Royalactin induces queen differentiation in honeybees. *Nature*, 473: 478-483.
- Kang, J.S. Lee, D.-W. Koh, Y.H. Lee, S.H. 2011. A soluble acetylcholinesterase provides chemical defense against xenobiotics in the pinewood nematode. *PLoS One*, 6 (4) (2011), Article e19063.
- Kim, S. Kim, K. Lee, J.H. Han, S.H. Lee, S.H. 2019. Differential expression of acetylcholinesterase 1 in response to various stress factors in honey bee workers. *Scientific Reports*. 9 (1): 1-10.
- Kirchner, W. 1999. Mad-bee-disease? Sublethal effects of imidacloprid (Gaucho) on the behaviour of honeybees. *Apidologie* (1999).
- Krüger, M. Shehata, A.A. Schrödl, W. Rodloff, A. 2013. Glyphosate suppresses the antagonistic effect of *Enterococcus* spp. on *Clostridium botulinum* Anaerobe, 20: 74-78.
- Kunugi, H. Mohammed Ali, A. 2019. Royal jelly and its components promote healthy aging and longevity: from animal models to humans. *International Journal of Molecular Sciences.*, 20 (19):
- Kwong, W.K. and Moran, N.A. 2016. Gut microbial communities of social bees. *Nature Reviews Microbiology*. 14 (6): 374-384
- Kwong, W.K. Engel, P. Koch, H. Moran, N.A. 2014. Genomics and host specialization of honey bee and bumble bee gut symbionts. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 111(31): 11509-11514
- Lee, F.J. Rusch, D.B. Stewart, F.J. Mattila, H.R. Newton, I.L 2015. Saccharide breakdown and fermentation by the honey bee gut microbiome. *Environmental Microbiology*. 17 (3): 796-815
- Li, G. Zhao, H. Liu, Z. Wang, H. Xu, B. Guo, X. 2018. The wisdom of honeybee defenses against environmental stresses *Front. Microbiol.* 9: 722.
- Li, Z. Yu, T. Chen, Y. Heerman, M. He, J. Huang, J. Nie, H. Su, S. 2019. Brain transcriptome of honey bees (*Apis mellifera*) exhibiting impaired olfactory learning induced by a sublethal dose of imidacloprid *Pestic. Biochem. Physiol.*, 156: 36-43
- Luo, Q.-H. Gao, J. Guo, Y. Liu, C. Ma, Y.-Z. Zhou, Z.-Y. Dai, P.-L. Hou, C.-S. Wu, Y.-Y. Diao, Q.-Y.





2021. Effects of a commercially formulated glyphosate solutions at recommended concentrations on honeybee (*Apis mellifera* L.) behaviours. *Scientific Reports*. 11(1):1-8.

Macri, I.N. Vázquez, D.E. Pagano, E.A. Zavala, J.A. Farina, W.M. 2021. Evaluating the impact of post-emergence weed control in honeybee colonies located in different agricultural surroundings. *Insects*, 12(2):163.

Magal, P. Webb, G.F. Wu, Y. 2019. An environmental model of honey bee colony collapse due to pesticide contamination *Bulletin of Mathematical Biology*. 81 (12): 4908-4931.

Menzel, R. Fuchs, J. Kirbach, A. Lehmann, K. Greggers, U. 2012. Navigation and communication in honey bees. *Honeybee Neurobiology and Behavior*, Springer (2012), pp. 103-116.

Menzel, R. Greggers, U. Smith, A. Berger, S. Brandt, R. Brunke, S. Bundrock, G. Hülse, S. Plümpe, T. Schaupp, F. 2005. Honey bees navigate according to a map-like spatial memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 102(8): 3040-3045.

Mesnage, R. Bernay, B. Seralini, G.-E. 2013. Ethoxylated adjuvants of glyphosate-based herbicides are active principles of human cell toxicity. *Toxicology*, 313 (2-3): 122-128.

Michelette, de F. and Soares, A. 1993. Characterization of preimaginal developmental stages in Africanized honey bee workers (*Apis mellifera* L.). *Apidologie*, 24 (4): 431-440.

Motta, E.V. Mak, M. De Jong, T.K. Powell, J.E. O'Donnell, A. Suhr, K.J. Riddington, I.M. Moran, N.A. 2020. Oral or topical exposure to glyphosate in herbicide formulation impacts the gut microbiota and survival rates of honey bees. *Applied and Environmental Microbiology*. 86 (18) (2020):

Motta, E.V. and Moran, N.A. 2020. Impact of glyphosate on the honey bee gut microbiota: effects of intensity, duration, and timing of exposure. *Msystems*. 5(4):

Motta, E.V. Mak, M. De Jong, T.K. Powell, J.E. O'Donnell, A. Suhr, K.J. Riddington, I.M. Moran, N.A. 2020. Oral or topical exposure to glyphosate in herbicide formulation impacts the gut microbiota and survival rates of honey bees. *Applied and Environmental Microbiology*. 86 (18):

Motta, E.V.S. Raymann, K. Moran, N.A. 2018. Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 115(41): 10305-10310.

Mullin, C.A. 2015. Effects of 'inactive' ingredients on bees. *Current Opinion in Insect Science*. 10: 194-200,

Mullin, C.A. Frazier, M. Frazier, J.L. Ashcraft, S. Simonds, R. Pettis, J.S. 2010. High levels of miticides and agrochemicals in North American apiaries: implications for honey bee health. *PLoS One*, 5 (3) (2010),

Negri, P. Villalobos, E. Szawarski, N. Damiani, N. Gende, L. Garrido, M. Maggi, M. Quintana, S. Lamattina, L. Eguaras, M. 2019. Towards precision nutrition: a novel concept linking phytochemicals, immune response and honey bee health. *Insects*, 10 (11): 401

Odemer, R. Alkassab, A.T. Bischoff, G. Frommberger, M. Wernecke, A. Wirtz, I.P. Pistorius, J. Odemer, F. 2020. Chronic high glyphosate exposure delays individual worker bee (*Apis mellifera* L.) development under field conditions. *Insects*, 11 (10): 664

Odemer, R. and Rosenkranz, P. 2020. Chronic exposure to a neonicotinoid pesticide and a synthetic pyrethroid in full-sized honey bee colonies. *Journal of Apicultural Research*. 59 (1): 2-11

Potts, S.G. Biesmeijer, J.C. Kremen, C. Neumann, P. Schweiger, O. Kunin, W.E. 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers *Trends in Ecology & Evolution*., 25 (6): 345-353.

Raymann, K. Bobay, L.M. Moran, N.A. 2018. Antibiotics reduce genetic diversity of core species in the honeybee gut microbiome. *Molecular Ecology*. 27(8): 2057-2066.

Raymann, K. Shaffer, Z. Moran N.A. 2017. Antibiotic exposure perturbs the gut microbiota and elevates mortality in honeybees *PLOS Biology*. 15 (3) (2017), Article e2001861

Schwarz, R.S. Moran, N.A. Evans, J.D. 2016. Early gut colonizers shape parasite susceptibility and





microbiota composition in honey bee workers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 113 (33): 9345-9350.

Seeley, T.D. 2009. *The wisdom of the hive: the social physiology of honey bee colonies*. Harv. Univ. Press.

Seide, V.E. Bernardes, R.C. Pereira, E.J.G. Lima, M.A.P. 2018. Glyphosate is lethal and Cry toxins alter the development of the stingless bee *Melipona quadrifasciata*. *Environmental Pollution*, 243: 1854-1860

Shehata, A.A. Schrödl, W. Aldin, A.A. Hafez, H.M. Krüger, M. 2013. The effect of glyphosate on potential pathogens and beneficial members of poultry microbiota in vitro. *Current Microbiology*. 66(4): 350-358.

Shilo, T. Zygier, L. Rubin, B. Wolf, S. Eizenberg, H. 2016. Mechanism of glyphosate control of *Phelipanche aegyptiaca*. *Planta*, 244 (5): 1095-1107.

Strobl, V. Camenzind, D. Minnameyer, A. Walker, S. Eyer, M. Neumann, P. Straub, L. 2020. Positive correlation between pesticide consumption and longevity in solitary bees: are we overlooking fitness trade-offs? *Insects*, 11 (11): 819.

Tan, S. Li, G. Liu, Z. Wang, H. Guo, X. Xu, B. 2022. Effects of glyphosate exposure on honeybees. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. Volume 90, February 2022, 103792.

Thompson, H.M. Levine, S.L. Doering, J. Norman, S. Manson, P. Sutton, P. von Mérey, G. 2014. Evaluating exposure and potential effects on honeybee brood (*Apis mellifera*) development using glyphosate as an example. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 10 (3): 463-470

Thomson, L. 2012. Pesticide impacts on beneficial species *Grape Wine Res. Dev. Corp.*, 5 : 1-7.

Tomé, H.V. Schmehl, D.R. Wedde, A.E. Godoy, R.S. Ravaiano, S.V. Guedes, R.N. Martins, G.F. Ellis, J.D. 2020. Frequently encountered pesticides can cause multiple disorders in developing worker honey bees. *Environmental Pollution*. 256 (2020), Article 113420

Van der Horst, D.J. 2003. Insect adipokinetic hormones: release and integration of flight energy metabolism. *Comp. Biochem. Physiol. Part B Biochem. Mol. Biol.*, 136 (2): 217-226

Vanengelsdorp, D. Hayes Jr., J. Underwood, R.M. Caron, D. Pettis, J. 2011. A survey of managed honey bee colony losses in the USA, fall 2009 to winter 2010. *Journal of Apicultural Research*. 50 (1): 1-10.

Vázquez, D.E. Balbuena, M.S. Chaves, F. Gora, J. Menzel, R. Farina, W.M. 2020. Sleep in honey bees is affected by the herbicide glyphosate. *Scientific Reports*. 10(1):

Vázquez, D.E. Ilina, N. Pagano, E.A. Zavala, J.A. Farina, W.M. 2018. Glyphosate affects the larval development of honey bees depending on the susceptibility of colonies *PLoS One*, 13 (10) (2018), Article e0205074.

Vázquez, D.E. Latorre-Estivalis, J.M. Ons, S. Farina, W.M. 2020. Chronic exposure to glyphosate induces transcriptional changes in honey bee larva: A toxicogenomic study. *Environmental Pollution*. 261(2020), Article 114148, 10.1016/j.envpol.2020.114148.

Von Frisch, K. 2013. *The Dance Language and Orientation of Bees*. Harvard University Press.

Zhang, S. Liu, Y. Ye, Y. Wang, X.R. Lin, L.T. Xiao, L.Y. Zhou, P. Shi, G.X. Liu, C.Z. 2018. Bee venom therapy: potential mechanisms and therapeutic applications *Toxicon*, 148: 64-73.

Zhao, H. Li, G. Guo, D. Wang, Y. Liu, Q. Gao, Z. Wang, H. Liu, Z. Guo, X. Xu, B. 2020. Transcriptomic and metabolomic landscape of the molecular effects of glyphosate commercial formulation on *Apis mellifera ligustica* and *Apis cerana cerana*. *Science of the Total Environment*. 744 (2020):

Zhu, Y.C. Yao, J. Adamczyk, J. Luttrell, R. 2017. Feeding toxicity and impact of imidacloprid formulation and mixtures with six representative pesticides at residue concentrations on honey bee physiology (*Apis mellifera*). *PLoS One*, 12 (6) (2017), Article e0178421.





Effects of bee exposure to glyphosate herbicide



Roksana Nazari ¹, Mani Jabari ²

1- Dept. of Agronomy & Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Birjand

2- Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Iran

DOI: 10.22034/HBSJ.2024.366096.1169

Abstract

Honey bees play an important role in pollination and have a positive effect on improving crop yield and increasing the genetic diversity of plants, and as a result, they bring tremendous economic benefits to humans. However, honey bee survival is affected by a number of biotic and abiotic stresses, including the effects of fungi, bacteria, viruses, parasites, and especially agrochemicals. Glyphosate, a broad-spectrum herbicide mainly used to control weeds in agriculture, has lethal effects on honey bees. In the natural environment, honeybees can be exposed to glyphosate and its formulations in various ways, either causing individual death or being transferred into the hive to affect the health of the entire colony. Also, lethal concentrations of glyphosate can have various adverse effects on the growth and development of bees, social behavior, immune defense, etc.

Key words: Lethal Effects, Acetamide, Imidacloprid, Atrazine, Formulation.

Corresponding Author: Roksana Nazari

Email: roksana.nazari@gmail.com

