



مروری بر ایجاد مقاومت به کنه واروا در زنبور عسل (*Apis mellifera*)

مهدی مخبر^۱، رحیمه رسولی^۲

۱- استادیار گروه علوم دامی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته ی زنبور عسل دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

تاریخ دریافت: دی ماه ۹۸ / تاریخ پذیرش: اسفند ماه ۹۸

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/hbsj.2020.341311.1082

رایانامه: m.mokhber@urmia.ac.ir

چکیده:

مجموع دو رویکرد اصلی در جهت مقابله با کنه واروا وجود دارد، یکی استفاده از دارو جهت حذف کنه و دیگری ایجاد میزبان مقاوم در مقابل واروا. در دهه های گذشته، چندین ماده ی شیمیایی برای کنترل هجوم واروا مورد استفاده قرار گرفته است. اما این آفت به سرعت در برابر این مواد شیمیایی تکامل یافته و از خود مقاومت نشان می دهد. به عبارت دیگر تأثیرگذاری این داروها بر روی کنه ها کاهش می یابد. بنابراین به نظر می رسد مهم ترین راهکار مقابله با کنه ی واروا، افزایش مقاومت در میزبان است و در این میان یکی از مکانیسم های کلیدی مراقبت از زنبور عسل که توجه زیادی را به خود جلب

بیماری ها و آفات زنبور عسل (*Apis mellifera*) یکی از چالش های اصلی در صنعت زنبورداری هستند. از این میان کنه ی واروا مخرب ترین و گسترده ترین انگل زنبور عسل به شمار می رود. این آفت در مقایسه با سایر بیماری های زنبور عسل، بیشترین آسیب و هزینه مالی را به زنبورداران می رساند. کنه واروا علاوه بر اینکه با تغذیه از همولنف یا خون حشره باعث تضعیف آن می گردد، بلکه در انتقال برخی از عوامل بیماری زای ویروسی به زنبور عسل نقش دارد. در





از این ویروس‌ها می‌توان به ویروس تغییر شکل بال زنبور اشاره کرد (Ribiere *et al.* 2008; Martin *et al.*, 2013; San- (tamaria *et al.*, 2018). واروا اولین بار در اوایل قرن بیستم روی زنبورهای عسل شرقی یا هندی (*Apis cerana*) مشاهده شد (Schroeder & Martin, 2012). میزبان اولیه این انگل، زنبور عسل شرقی، به دلیل توسعه خصوصیات رفتاریشان از قبیل صفات نظافت‌گری (تیمار بدن زنبورها توسط خودشان یا سایر زنبورهای کلنی) و بهداشتی، بعلاوه تفاوت در زمان رشد لارو و شفیره و نیز قابلیت سیستم ایمنی، نسبت به واروا مقاومت نشان می‌دهند (Sammataro *et al.*, 2010; Rosenkranz *et al.*, 2000). یک عامل مهم دیگر این است که تولیدمثل واروا در زنبور عسل شرقی تا حدودی محدود به جنس نر است (Locke, 2016). زنبور عسل اروپایی اولین بار در اواسط دهه ۱۹۶۰ در معرض کنه واروا قرار گرفت (Sammataro *et al.*, 2000). در مقایسه با حشرات اجتماعی که دامنه وسیعی از واکنش‌های دفاعی علیه انگل‌های مخربی از قبیل واروا دارند، عکس‌العمل زنبور عسل اروپایی در مقابله با کنه واروا غیرمعمول است. چراکه این گونه‌ی زنبور، واکنش دفاعی ذاتی موثری در مقابله با این انگل از خود بروز نمی‌دهد (Conlon *et al.*, 2018).

عوامل متعددی برای پایین بودن قدرت دفاعی ذاتی زنبور عسل اروپایی نسبت به گونه‌ی زنبور شرقی ذکر شده است. از این عوامل می‌توان به ضعیف‌تر بودن رفتار بهداشتی و نظافت‌گری در نوع اروپایی نسبت به گونه شرقی اشاره کرد (Conlon *et al.*, 2018). یک تفاوت اساسی دیگر بین گونه‌های زنبور شرقی و اروپایی این است که کنه واروا می‌تواند روی لاروهای زنبورهای کارگر اروپایی تکثیر یابد. در حالی که در زنبورهای شرقی تولیدمثل واروا محدود به لاروهای زنبورهای نر است (Boot *et al.*, 1999; Rosenkranz *et al.*, 2010) و زمانی که کنه‌ها تلاش می‌کنند به درون سلول‌های حاوی لاروهای کارگر وارد شوند، کنه به همراه لارو آلوده توسط زنبورهای کارگر بالغ حذف می‌گردند (Boot *et al.*, 1999). این مورد نقش اساسی در کنترل تکثیر کنه دارد، چراکه جمعیت لاروهای زنبوران کارگر (به عنوان غذای اصلی نوزادان کنه)، برخلاف لاروهای زنبوران نر، همیشه به وفور در کندو وجود دارد. در دسترس بودن لاروهای زنبوران کارگر، کنه‌ها را قادر می‌سازد تا به صورت توانی رشد کنند. در شرایطی که تعداد کنه خیلی باشد، کلنی توان مقابله با آن را نخواهد داشت (Boot *et al.*, 1999; Locke, 2016).

در اغلب موارد واکنش دفاعی ذاتی زنبور عسل اروپایی به

کرده، رفتار بهداشتی است. این رفتار توسط کارگران به عنوان عامل دفاعی در برابر بیماری‌های مختلف مانند باکتری‌ها و قارچ‌ها و سایر آلودگی‌ها صورت می‌گیرد. هم‌اکنون رفتار بهداشتی جزو اهداف اصلاحی در برنامه‌های مختلف اصلاح نژاد زنبور عسل قرار دارد. مسیر دیگر برای ایجاد مقاومت به انگل، توانایی خود لارو یا شفیره برای جلوگیری از تولیدمثل انگل‌ها درون سلول‌ها است. که با استفاده از انتخاب برای صفات مذکور، زنبور عسل در مقابل واروا مقاوم‌تر خواهد شد. در صورت استفاده از تکنیک‌های ژنتیک مولکولی، کارایی انتخاب زنبورهای مقاوم در برابر واروا بیشتر خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: زنبور عسل، کنه ی واروا، رفتار بهداشتی، ژنتیک مولکولی

مقدمه

پرورش زنبور عسل نقش مهمی در تامین غذای بشر، اقتصاد و حفظ محیط زیست دارد (Zemene *et al.*, 2015). هرچند زنبور تولیدات متنوعی از قبیل عسل، گرده، ژله رویال، زهر، موم و بره موم دارد، ولی نقش مهم‌تر زنبور عسل مربوط به گرده‌افشانی محیط زیست و محصولات کشاورزی است (Ol-droyd and Wongsiri, 2009; Pattamayutanon *et al.*, 2015). کنه واروا (*Varroa*) مخرب‌ترین و گسترده‌ترین انگل زنبور عسل معمولی یا اروپایی (*Apis mellifera*) است و در مقایسه با سایر بیماری‌های زنبور عسل بیشترین آسیب و هزینه مالی را به پرورش دهندگان زنبور می‌رساند (Rosenkranz *et al.*, 2010; Martin *et al.*, 2012; Facchini *et al.*, 2019). این آفت یکی از عوامل اصلی فرار زنبور از کلنی نیز به شمار می‌رود (Rosenkranz *et al.*, 2010). کنه واروا یک انگل خارجی است که از طریق تغذیه بافت‌های بدنی (بیشتر بافت چربی و بافت مشابه کبد در پستانداران) لاروها و زنبوران بالغ، باعث بروز آسیب‌های جسمی و فیزیولوژیکی در زنبورهای عسل می‌شود (Ramsey *et al.*, 2019). اثرات آسیبی این انگل محدود به تغذیه‌ی همولنف موجود میزبان نبوده و به دلیل اینکه حامل ویروس‌های مختلف است، از طریق انتقال یکسری از بیماری‌ها نیز به کلنی‌ها آسیب می‌زند و در اغلب موارد باعث انهدام کلنی می‌شود (Bocking & Genersch, 2008)، تاکنون در حدود ۲۴ گونه ویروس در زنبور عسل شناسایی شده است (Remnant, 2017). که شیوع و توزیع این ویروس‌ها با ورود کنه واروا به کلنی‌های زنبور ارتباط دارد (Di Prisco *et al.*, 2011; Chagas *et al.*, 2019).





قدری ضعیف است که اگر مبارزه شیمیایی بر علیه کندوهای درگیر واروا صورت نگیرد، کندو در عرض ۲-۳ سال از بین می رود (Rosenkranz *et al.*, 2010). همچنین بین میزان شیوع اولیه ی بیماری های ویروسی و مقاومت کلنی به واروا در جمعیت های مختلف زنبور ارتباط دارد (Nganso *et al.*, 2017). در هر صورت بعد از اولین مواجهه زنبورعسل اروپایی با کنه واروا و قبل از آنکه مسیرهای بیولوژیکی این گونه زنبور جهت مقاومت به واروا توسعه پیدا کند، فرآورده های شیمیایی متعددی جهت مقابله با واروا توسعه یافتند و طی چند دهه ی گذشته، چندین ماده ی شیمیایی برای مقابله با واروا معرفی و مورد استفاده قرار گرفته است. ولی این آفت به سرعت در برابر این مواد شیمیایی مقاوم شده است.

در واقع اثرگذاری سموم شیمیایی روی واروا در حال کاهش یافتن است (Elzen & Westervelt, 2004; Pettis, 2004; Lodesani & Costa, 2005). به هر حال، به دلیل نبود مقاومت ذاتی زنبورعسل اروپایی در مقابل واروا و بروز مقاومت کنه به سموم و داروهای مورد استفاده جهت مقابله با آن، این انگل به سرعت در زنبورستان های اغلب نقاط دنیا گسترش یافته است (Villalobos *et al.*, 2016) و امروز تنها استرالیا، شمال سوئد و نروژ، برخی از اقوام بسیار جدا شده در جزایر و دره های دورافتاده در بیابان ها هستند که درگیر واروا نشده اند (Oldroyd, 1999; Rosenkranz *et al.*, 2010). با توجه به نقش عمده این انگل در پرورش زنبورعسل، تحقیقات گسترده ای جهت مقابله با آن صورت گرفته است. به طوری که طی سال های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵، با وجود دامنه ی وسیعی از انگل ها و عوامل بیماری زا روی زنبورعسل، انگل واروا در کنار نوزما بیشترین توجه ها را در مباحث علمی به خود معطوف کرده اند. به طوری که در سایت ساینس دایرکت^۱ بیش از ۸۰۰ عنوان مقاله مربوط به کنه واوا لیست شده است (www.thomson.com/ WebOfScience). در این پژوهش ها از ابعاد مختلفی به مهار این کنه پرداخته شده است (Chantawanna *et al.*, 2015; Zemene *et al.*, 2015; Kurze *et al.*, 2016).

ایجاد می شود را محدود کنند (Råberg *et al.*, 2009). در حالی که میزبان های متحمل قادرند آسیب های تخریبی که توسط انگل ها ایجاد می شود را محدود کنند (Råberg *et al.*, 2009). در واقع عملکرد یا شایستگی میزبان متحمل متناسب با شدت عمل یا تأثیر انگل تغییر می یابد. در میزبان های متحمل قوی این عملکرد یا شایستگی میزبان با افزایش شدت اثر انگل، کمتر دستخوش تغییر قرار می گیرد (Råberg *et al.*, 2009; Kutzer & Armitage, 2016). در یک مطالعه میزان مقاومت و تحمل زنبورعسل برای کنه واروا مورد مطالعه قرار گرفته است (Kurze *et al.*, 2016). همچنین مطالعات دیگر بر روی موش و مگس سرکه در راستای بررسی واکنش دو گروه متحمل و مقاوم به کنه، صورت گرفته است. در این گروه میزان تحمل یا واکنش میزبان با شدت عمل انگل ارتباط ندارد (Kutzer & Armitage, 2016).

در هر صورت انگل تأثیری بر میزبان های مقاوم ندارد، ولی میزبان های متحمل بر حسب میزان حساسیتشان دچار خسارت می شوند. به نظر می رسد تنها راه مقابله با انگل در میزبان های متحمل، استفاده از تیمارهای حمایتی یا درمانی برای میزبان است. مطابق آنچه بیان شد، دو رویکرد اصلی در جهت مقابله با کنه واروا مطرح است، یکی استفاده از سموم شیمیایی جهت حذف کنه (مورد استفاده برای گونه های متحمل) و دیگری ایجاد مقاومت در زنبورعسل جهت مقابله با این انگل (ایجاد میزبان مقاوم) می باشد (Rademacher & Harz, 2006). در دهه های گذشته، چندین مواد شیمیایی برای کنترل هجوم واروا مورد استفاده قرار گرفته است. هر چند مواد شیمیایی در کنترل آفات و بیماری های مربوط به زنبورعسل بوده اند، ولی استفاده مداوم از این مواد خالی از اشکال نیست. به طوریکه استفاده از این داروها باعث ورود مواد شیمیایی به تولیدات زنبورعسل از قبیل عسل و گرده می شود که برای مصارف انسانی مشکل ساز است (Martel *et al.*, 2007). بعلاوه، این آفت در بعضی از مناطق به سرعت در برابر این مواد شیمیایی تکامل یافته و مقاوم می گردد. در این شرایط اثرگذاری دارو کاهش می یابد (Elzen & Westervelt, 2004).

گذشته از این ها مدیریت کلنی های درگیر نیاز به کار بیشتری دارد و نیز تأمین این داروها با صرف هزینه همراه است (Lodesani & Costa, 2005). بدین ترتیب واضح است که استراتژی های جایگزین برای مبارزه با واروا مورد نیاز است که نه مقاومت در برابر انگل ها را کم کند و نه محصولات را

راهکارهای مقابله با واروا

میزبان ها بر حسب راهبردهای دفاعیشان در مقابل انگل ها و بیماری ها، به دو گروه متحمل و مقاوم قابل تفکیک هستند

1- ScienceDirect.com



محققین حوزه ی زنبور عسل و پرورش دهندگان را به خود جلب کرده است و به طور گسترده ای توسط (Spivak & Gil- 1998) مورد بررسی قرار گرفته است (Spivak & Gil- 1998). آنها گزارش کردند بروز رفتار بهداشتی وابسته به توانایی کلنی و شرایط محیطی نظیر جریان عسل است. بطوری که وراثت پذیری گزارش شده برای این ویژگی رفتاری متغییر است (Harbo & Harris 1999). مطالعات مختلف وراثت پذیری رفتار بهداشتی را در محدوده ی ۱۴ الی ۶۵ درصد گزارش کرده اند که این تغییرات ناشی از واریانس محیطی است (Spivak & Reuter 1998).

این مقادیر نشان می دهد که بیان رفتار بهداشتی به شدت تحت تأثیر عوامل محیطی است. سطح و میزان رفتار بهداشتی در کلنی وابسته به عوامل ژنتیکی و فیزیولوژیکی زنبوران در یک کلنی بوده و شرایط عصبی-هورمونی در شروع یا کنترل این رفتارها مؤثر است (Masterman *et al.*, 2001). بروز رفتارهای بهداشتی نمی تواند توسط چند جایگاه محدود توصیف شود، بلکه به صورت پلی ژنیک کنترل می گردد. به نظر می رسد اساس ژنتیکی رفتارهای بهداشتی بسیار پیچیده است و ژن های زیادی در نحوه ی عملکرد این صفت مؤثر هستند. هم اکنون این صفت جزو اهداف اصلاحی در برنامه های مختلف اصلاح نژاد زنبور عسل *A. mellifera* قرار دارد. این ویژگی رفتاری توسط کارگران به عنوان یک استراتژی جهت مقابله با بیماری های مختلفی از قبیل باکتری های *Paenibacillus lar-* (Milne, 1964) و *Ascosphaera Apis* (Rothenbuhler, 1964) و واروا (Spivak, 1996) بکار برده می شود.

در واقع رفتار بهداشتی از طریق حذف لاروها و آلودگیها باعث حذف عامل بیماری یا پارازیت میگردد (Arathi *et al.*, 2000). کلنی هایی که می توانند ۹۵ درصد شفیره های مرده را در طی ۴۸ ساعت حذف کنند، به عنوان کانی های بسیار بهداشتی تعیین شدند (Oldroyd, 1996). تاکنون دو روش اصلی برای کشتن تعداد معینی از لاروهای موجود در کلنی جهت انجام مطالعات مربوط به بررسی رفتار بهداشتی، در منابع علمی ارائه شده است. روش مکانیکی (با استفاده از سوزن های مورد استفاده در حشره شناسی) معروف به *pin-test* (Newton & Ostasiewski, 1986) و دیگری کشتن شفیره ها با روش فریز کردن شفیره ها (FKB^۲) است. مدت زمان حذف این تعداد خاص به عنوانی معیاری از رفتار بهداشتی این زنبورها در نظر گرفته می شود (Spivak & Reuter, 1998). روش معمول

آلوده کند. در این شرایط سلامت مصرف کنندگان لحاظ شده و اعتماد مشتری به محصولات زنبور عسل بیشتر می گردد. خوشبختانه با وجود گسترش واروا و آثار تخریبی آن بر روی جمعیت های زنبور عسل، چندین جمعیت از زنبور عسل اروپایی بدون هیچ کنترلی توانسته اند در مقابل این آفت مقاومت کنند. شناسایی و استفاده از این جمعیت ها می تواند نوید بخش تولید زنبورانی مقاوم به واروا باشد. چرا که این جمعیت ها توسط پرورش دهندگان زنبورها مدیریت نشده اند، بلکه تحت انتخاب طبیعی بعد از حمله های مکرر این انگل جان سالم به در برده اند و زنده مانده اند. این مقاومت در برابر واروا می تواند از مکانیسم های مختلفی ایجاد گردد زیرا تعامل میان کنه و میزبان بسیار پیچیده است (Behrens *et al.*, 2011).

افزایش مقاومت به واروا در میزبان

تا کنون علی رغم گمانه زنی های مختلف در خصوص مقاومت زنبور عسل به کنه واروا، دو مسیر عمده برای مقاومت ژنتیکی زنبور عسل در مقابله با کنه واروا عنوان شده است. یک مسیر از طریق ویژگی رفتاری بهداشتی و نظافتی کلنی زنبور عسل و مسیر دیگر مربوط به توانایی ذاتی لاروها یا شفیره های زنبور عسل در جلوگیری از تولیدمثل انگل ها است (Büchler, 2010; Robertson *et al.*, 2014; Conlon *et al.*, 2019) در ادامه این دو مسیر در قالب دو زیربخش مجزا مورد بررسی قرار گرفته است.

افزایش مقاومت به واروا با بهبود رفتار بهداشتی زنبور

ماهیت ژنتیکی رفتار بهداشتی توسط مطالعات (Rothenbuhler, 1964a) نشان داده شد. (Rothenbuhler, 1964b) پیشنهاد نمود که رفتار بهداشتی به وسیله ی آلل های مغلوب در دو ژن تحت تأثیر واقع می شود و یک صفت مغلوب است. وی دو جایگاه ژنی را برای بروز رفتار بهداشتی پیشنهاد کرد، که یک جایگاه با درپوش برداری و جایگاه دیگر با تخلیه ی سلول ارتباط دارد (Rothenbuhler, 1994a). دو دهه بعد چندین ویژگی دخیل در میزان تحمل زنبوران عسل در برابر کنه ی واروا توسط Büchler (۲۰۱۰) بیان شد که عبارتند از جلوگیری از تولیدمثل کنه های ماده، رفتار بهداشتی زنبوران کارگر، رفتار تیمار کردن بدن (نظافت گری بدن)، طول دوره ی شفیرگی و جذابیت لارو برای کنه (Büchler, 1994). اهمیت رفتار بهداشتی در مقابله با کنه های واروا در زنبور عسل شرقی اثبات شده است. این ویژگی رفتاری زنبور عسل توجه

2- freeze-killed brood





عملکرد بهداشتی کلنی را می توان در دو سطح مورد بررسی قرار داد. یکی در سطح کلنی است به این معنی که مجموع عملکرد کلنی مدنظر قرار می گیرد، حتی اگر بخشی از گروهای ژنتیکی داخل کلنی دارای رفتار بهداشتی فوق العاده ای باشند. دوم سطح درون کلنی ها است که در این حالت تنوع موجود در بین گروهای ژنتیکی مدنظر قرار می گیرد (Arathi *et al.*, 2000). در شرایطی که تنها حالت اول (انتخاب در سطح کلنی) در برنامه اصلاحی مدنظر قرار گیرد، با توجه به اینکه نرهای مختلفی با ملکه مادر جفت گیری می کنند، ملکه های دختری که از کلنی های انتخاب شده برای رفتار بهداشتی رشد می کنند احتمال دارد از طرف خانواده ی پدری مربوط به زنبورهایی باشند که عملکرد بهداشتی قابل قبولی ندارند. در این حالت اثر بخشی برنامه اصلاحی به طور چشمگیری کاهش خواهد یافت (Pérez-Sato *et al.*, 2009).

بنابراین جهت رفع نواقص انتخاب در سطح کلنی، روشی را ارائه دادند که در آن علاوه در انتخاب کلنی های برتر، اصلاحگر قادر است گروه های ژنتیکی با عملکرد بهداشتی بالاتر را از گروه های دیگر تشخیص داده و انتخاب کند. این روش را در اصطلاح انتخاب چندسطحی می گویند. در روش انتخاب چند سطحی، ابتدا کلنی های با عملکرد بالا انتخاب می -شوند. سپس عملکرد زنبورهای کارگران درون کلنی با استفاده از تکنیک فیلم برداری، ثبت می گردد. در مرحله ی نهایی، بعد از تحلیل عملکرد افراد و تعیین تنوع افراد تولیدی ملکه، گروه های ژنتیکی برتر با استفاده از اطلاعات ژنومی انتخاب می شوند. در واقع در این روش در طی یک نسل به طور همزمان زنبورها برای لاین های مادری و پدری خودشان تحت انتخاب قرار می گیرند. نتایج نشان می دهد که انتخاب چند سطحی می تواند به طور قابل توجهی موفقیت برنامه های اصلاح زنبور عسل را بهبود بخشد. به طوری که تنها با یک نسل انتخاب به شیوه ی چند سطحی، کلنی هایی دو برابر سالم تر از کلنی های انتخاب شده در سطح کلنی ها تولید می شوند (Pérez-Sato *et al.*, 2009).

◆ افزایش مقاومت به واروا با افزایش قابلیت میزبان در ممانعت از تولیدمثل انگل

در دو دهه اخیر، چندین برنامه اصلاح نژادی مبتنی بر انتخاب طبیعی انجام شده است. در نتیجه این قبیل کارهای اصلاحی، مقاومت زنبورهای اصلاحی در مقابله با واروا افزایش پیدا کرده است (Locke & Fries, 2011; Robertson *et al.*, 2014; Kefuss *et al.*, 2015; Panziera *et al.*, 2017;

FKB توسط Spivak & Reuter (۱۹۹۸) ارائه شد. در این روش یک استوانه لبه تیزی روی بخش نوزادان و شفیره های شان گذاشته شده و فشار داده می شود. بطوری که استوانه تا نصف عمق سلول ها، به درون شان نفوذ کند. بعد از تهیه عکس از ناحیه مذکور، ازت مایع روی این ناحیه ریخته می شود. در نهایت، پس از سپری شدن ۲۴ ساعت، میزان تخلیه سلو های حاوی نوزادان مرده ثبت می شود. اخیرا روش های بهبود یافته FKB توسط Facchini *et al.* (۲۰۱۹) ارائه شده است.

در روش معمول مقدار ۳۰۰ میلی لیتر ازت مایع به بخش محدود شده ای از شان حاوی شفیره ریخته می شود تا شفیره کشته شوند. سپس تعداد شفیره های حذف شده بعد از ۲۴ ساعت ثبت می شود (Spivak & Reuter, 1998). در روش بهبود یافته، بخشی از شان حاوی نوزاد بریده شده و به داخل ازت مایع انداخته می شود. شان برش یافته بعد از دو دقیقه برداشته و به داخل شانی که از آن برداشته شده بود، برگردانده و به داخل کلنی انتقال داده می شود. این روش کم هزینه تر بوده و از لحاظ ایمن برای متصدی مناسب تر است (Facchini *et al.*, 2019). مطابق پژوهش های صورت گرفته، معمولا در حدود ۱۰ الی ۱۲ درصد کلنی ها در دسته ی بسیار بهداشتی قرار گرفتند (Spivak & Gilliam, 1998; Waite *et al.*, 2003). در هر صورت، می توان نسبت کلنی های با رفتار بهداشتی بالا را با انتخاب مصنوعی افزایش داد (Spivak & Gilliam, 1998). روش معمول در انتخاب زنبور برای رفتار بهداشتی، انتخاب کلنی های برتر در زمینه رفتار بهداشتی است.

به این ترتیب که بعد از ثبت عملکرد رفتار بهداشتی کلنی ها، کلنی های برتر انتخاب و در نسل های بعدی از ملکه های این کلنی ها به عنوان ملکه ی مادری استفاده می شود. در این روش بعد از حداقل ۴ نسل تلاقی نرها و ملکه های دختری بدست آمده از کلنی های مادری، کلنی های مطلوب بدست می آید (Pérez-Sato *et al.*, 2009). به این شیوه ی انتخاب، انتخاب در سطح کلنی گفته می شود. پاسخ به انتخاب در این شیوه قابل قبول بوده و نتایج پژوهش های مختلف حاکی از مفید بودن این روش در بهبود عملکرد رفتاری بهداشتی است (Palacio *et al.*, 2000; Spivak & Reuter, 2001). اگر در کنار انتخاب در سطح کلنی، انتخاب داخل کلنی هم اعمال گردد، نتیجه ی کار بسیار بهتر خواهد بود (Pérez-Sato *et al.*, 2009). به دلیل این که هر ملکه با چندین نر جفت گیری می کند، بنابراین در بین کارگران تولیدی هر ملکه ناهمگونی ژنتیکی درون کلنی وجود دارد (Tarpay *et al.*, 2004). پس



انجام گرفته است. پس از یک دهه انتخاب طبیعی برای مقاومت به واروا بدون استفاده از ترکیبات شیمیایی برای حذف کنه، در جزیره گوتلند، تولیدمثل کنه روی زنبور عسل حدود ۵۰ درصد کاهش یافته است (Locke & Fries, 2011). زنبورهای عسل جزیره گوتلند سوئد، یک منطقه ایزوله، به مدت بیش از ۱۰ سال برای تحمل به کنه واروا تحت انتخاب طبیعی قرار داشتند. زنبورهای موجود در این جزیره بدون دریافت هیچ تیمار درمانی با هجوم واروا مقابله کرده و زنده مانده اند. جمعیت کنونی زنبورهای این جزیره در مقابل کنه واروا مقاوم هستند و کاهش قابل توجهی در باروری کنه های زنبورستان های این منطقه دیده می شود. این در حالی است که هیچ علامت خاصی دال بر افزایش رفتار بهداشتی و مراقبت از نوزادان در زنبورها دیده نمی شود.

نحوه ی انجام پژوهش صورت گرفته روی زنبورهای گوتلند به این صورت بود که ابتدا تعدادی از سفیره های زنبورهای عسل نر حامل و غیر حامل واروا شناسایی و انتخاب شدند. ژنوم زنبورهای انتخابی با استفاده از ۲۱۶ نشانگر میکروستلایت^۳ جهت شناسایی جایگاه های ژنی مرتبط با مقاومت به واروا مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت سه منطقه ی ژنومی به عنوان کاندیدا مقاوت به واروا روی کروموزوم های ۴، ۷ و ۹ شناسایی گردید. هر چند اثر تک تک هر کدام از جایگاه های ژنی نسبتاً کوچک بود، اما مجموعه ی این سه جایگاه، تأثیر قابل توجهی بر نابودی واروا داشتند. اثر توأم این سه جایگاه بر عملکرد مقاومتی کنه اصطلاحاً اثر اپیستازی^۴ یا اثر متقابل بین ژن ها نام دارد. نتایج بیانگر این است که، هر چند امکان استفاده از اطلاعات هر کدام از جایگاه های ژنی برای صفت مورد نظر به عنوان نشانگر ژنتیکی وجود دارد ولی اثرات قوی اپیستازی بین این سه جایگاه باعث پیچیدگی استفاده از این جایگاه ها به عنوان نشانگر ژنتیکی خواهد شد. نتیجه این پژوهش جدای از اینکه آیا این اطلاعات جهت استفاده در برنامه های اصلاح نژادی کاربرد دارد یا نه، بیانگر این مهم است که برخی جایگاه های ژنوم روی باروری کنه ها تأثیر دارند. این تأثیر به این دلیل است که ترکیب بدنی زنبور به عنوان سوستر و بستر رشد کنه واروا به عنوان انگل است. پس اگر در ترکیب بستر موجود برای رشد تغییری ایجاد شود، می تواند باعث تغییر در عملکرد انگل گردد. شناخت ژن های عملکردی و تحلیل عملکرد آنها در نواحی انتخابی می تواند در

هر چند در (McMullan, 2018; Blacquière *et al.*, 2019) اغلب جمعیت های مقاوم به واروا، محدود شدن تولیدمثل واروا قابل مشاهده است، ولی اغلب مطالعات به سایر مکانیسم های مقاومت به کنه از قبیل کاهش جمعیت کلنی و رفتار بهداشتی زنبور، که صفات رفتاری پیچیده ای هستند و تنها در سطح کلنی بیان می شود، معطوف شده است (Locke, 2016; Kurze *et al.*, 2016; Oddie *et al.*, 2017; Nganso *et al.*, 2018).

در مقابل صفت کنترل تولیدمثل واروا توسط سفیره ها یک صفت در سطح افراد است و نقش بنیادی در کنترل تولیدمثل واروا و زمستان گذارنی زنبور دارد. این امر با کاهش جمعیت واروا در پاییز محقق می گردد (Oddie *et al.*, 2017; van Dooremalen *et al.*, 2012). مطالعه روی جمعیت های مقاوم به واروا نشان می دهد که این ویژگی یک صفت ژنتیکی و قابل انتقال مربوط به سفیره های میزبان است (Locke, 2016; Conlon *et al.*, 2018). هر چند تاکنون مکانیسم اصلی اینکه چطور سفیره ها قادرند ناباروری را در کنه ها القاء کنند، هنوز به طور شناسایی نشده است. ولی در بررسی های صورت گرفته روی جمعیت مقاوم گوتلند، ارتباط دو ژن مرتبط با اکدیسون با مقاومت به کنه در این جمعیت شناسایی شده است (Conlon *et al.*, 2019). همچنین در یک بررسی با دستکاری شرایط سلوهای حاوی سفیره، مشخص شد، وقتی شرایط سلول برای کنه نامطلوب باشد، تولید مثلی کنه متوقف می شود (Frey *et al.*, 2013).

این نتیجه نشان می دهد احتمال دارد که محدود شدن تولید مثل کنه درون سلول در اثر یک پاسخ ایمنی معمول در مقابل کنه نباشد و تنها مربوط به دستکاری فیزیولوژیکی توسط سفیره باشد (Frey *et al.*, 2013; Conlon *et al.*, 2019). به گزارش Büchler (۲۰۱۰) طول دوره ی سفیرگی و جذابیت لارو برای کنه (جذابیت لارو برای کنه، به ترکیبات شیمیایی مترشح شده از لاروهای زنبور عسل ارتباط دارد. میزان جذابیت به انواع لاروها از لحاظ جنسیتی (ملکه، کارگر و نر) و گروه های ژنتیکی متغیر است) در میزان آلودگی کلنی ها مؤثر است. در همین راستا به دلیل طول دوره ی سفیرگی بیشتر و جثه ی بزرگتر زنبور نر آن شرایط را برای کنه ی واروا مناسب ساخته است. همچنین به نظر می رسد ترکیبات مختلف کوتیکول پوست لارو در آغاز تخمگذاری کنه نقش دارد (Büchler, 1994).

در اینجا می خواهیم به نقش مؤثر ژنتیک مولکولی در اجرا و طراحی این برنامه ها بپردازیم. یکی از مطالعات راهبردی در این زمینه مطالعه ای است که روی زنبورهای جزیره گوتلند

3- Microsatellite Markers

4- Epistasy





تولیدمثل واروا شناسایی شده بود. اکدیسون ماده است که کنه قادر به تولید آن نیست ولی می تواند آن را از بستر غذایی خود تأمین کند.

◆ جایگاه ژنتیک در مطالعات ژنتیکی زنبورعسل

تاکنون چندین برنامه اصلاح نژادی، جهت مقاوم سازی جمعیت های زنبورعسل در مقابل واروا، اجرا شده است (Locke & Fries, 2011) که در اغلب موارد اجرای برنامه اصلاحی موفق بوده است (Büchler, 2000). نکته مهم اینکه، در این برنامه های اصلاحی از تکنولوژی های جدید (به دلیل عدم در دسترس بودن) استفاده نشده است و برنامه اصلاحی مبتنی بر انتخاب طبیعی بوده است. در این برنامه های اصلاحی جمعیت های زنبوری که در معرض کنه واروا قرار داشتند را بدون تیمار دارویی پرورش دادند و از بین کندوهای در معرض بیماری قرار داشتند، کندوهای سالم یا کمتر تحت تاثیر، به عنوان کندوی مقاوم به واروا انتخاب شدند (Kefuss et al., 2015; Locke & Fries, 2011).

گذشته از اینکه مسیر اصلاح نژادی زنبور جهت مقابله با واروا چیست، جایگاه ژنتیک مولکولی در فرآیند اصلاحی غیرقابل انکار است. بخصوص این که عملکرد صفاتی از قبیل محدود کردن تولید مثل کنه، تحت تاثیر تعداد محدودی ژن قرار دارد. در این شرایط می توان ژنوم افراد را به راحتی برای این ژن ها غربالگری کرد. اصلاح این صفت با استفاده از تکنولوژی انتخاب به کمک نشانگر^۶ (MAS)، بسیار ساده تر و راحت تر از سایر صفاتی مثل رفتار بهداشتی که ماحصل رفتارهای پیچیده ی کارگران دیپلوئید است. بعلاوه، با توجه به اینکه استفاده از زنبور نر، به دلیل حالت هاپلوئیدی آن، در مطالعات نقشه برداری بسیار ساده تر است، استفاده از اطلاعات ژنومی این گروه ژنتیکی می تواند به عنوان یک ابزار معمول در انجام انتخاب به کمک نشانگر، جهت اصلاح نژاد زنبورهای عسل استفاده گردد.

به طوری که در صورت عدم استفاده از زنبورهای نر و استفاده از کارگران دیپلوئید به جای آنها، دست یافتن به یکسری روابط بین ژنی (اپیستازی)، بسیار پیچیده تر بوده و احتمال تعیین اثرات بین ژنی کمتر می باشد (Moritz et al., 2010). همچنین نرها از نقطه نظر بیماری شناسی نیز در مطالعات بیماری شناسی حائز اهمیت هستند، چراکه کنه ها ترجیح می دهند بر روی لاروهای نر تخم گذاری کنند. بنابراین

تبیین و شرح مکانیسم عمل این ویژگی بسیار راهگشا باشد. به عنوان مثال یکی از ژن های شناسایی شده مربوط به منطقه ژنومی کروموزوم ۷، ژن foxo می باشد، این ژن یکی از عوامل رونویسی مسیر سیگنال انسولین است. نقش این ژن در رشد حشرات و اندازه بدن، پاسخ ایمنی، طول عمر، تغذیه، مرگ سلولی و انرژی مولکولی مشخص شده است (Wu & Brown, 2006)، این عملکردها در مگس سرکه و انسان به اثبات رسیده است (Willcox et al., 2008).

در یک مطالعه دیگر تفاوت های بیان ژنوم دو گروه مقاوم و حساس به واروا توسط فن آوری ریزآرایه ای^۵ انجام گردید. تفاوت های احتمالی بیان های ژنوم در دو گروه مقاوم و حساس به واروا تعیین شد و ژن های مرتبط شناسایی شدند (Navajas et al., 2008). در حال حاضر می توان از اطلاعات این ژن ها در برنامه های اصلاح نژادی استفاده کرد. نکته ی جالب توجه در این مطالعه این است که اکثر ژن های متمایز در دو گروه مقاوم و حساس به واروا در توسعه ی اعصاب و حساسیت عصبی نقش داشتند. مطالعات بیشتر در این زمینه و بررسی ارتباط اعصاب با بیماری مذکور می تواند در جهت شناسایی ماهیت بیماری و راه مقابله بهتر با آن بسیار مفید باشد. یکی از ژن های تأثیرگذار در این رابطه ژن foxo است که بیان متفاوتی در دو گروه حساس و مقاوم به واروا داشت، به طوری که بیان این ژن در طول رشد در سلول های گروه حساس کاهش یافته است و درگیر در فسفوریلاسیون و ایجاد انعطاف پذیری سیناپسی در نورون ها شده است. بنابراین در نظر داشتن ژن های مرتبط با این ویژگی ها می تواند در پیشرفت برنامه ی اصلاحی برای ایجاد لاین های مقاوم به واروا مؤثر باشد (Behrens et al., 2011).

در مطالعه Conlon et al. (2019) با استفاده از مطالعات پیوستگی در سطح ژنوم، ارتباط عملکرد جمعیت مقاوم به واروا را با بخش های مختلف ژنوم مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه یک ژن مرتبط با مقاومت به واروا شناسایی شد. این جایگاه ژن با القاب بیان ژن اکدیسون ارتباط داشت. اکدیسون یک ترکیب شیمیایی در بند پایان است که در کنترل برخی فرآیندهای متابولیکی بدن از قبیل تولیدمثل مشارکت دارد. این هرمون در شروع مکانیسم دگرذیسی در حشرات و تولیدمثل کنه نقش اساسی دارد (Conlon et al., 2019). در مطالعات (Conlon et al., 2018) و (Cabrera et al., 2015) ژن های مرتبط با اکدیسون به عنوان یک جایگاه مرتبط با





مستقیماً از اطلاعات ژنوم جهت انجام انتخاب استفاده می‌کند و در نهایت از طریق افزایش دقت و نیز کاهش فاصله ی نسلی، باعث افزایش پاسخ به انتخاب خواهد شد (Goddard *et al.*, 2010).

بحث و نتیجه‌گیری:

در این پژوهش، دو مسیر بیولوژیکی جهت بهبود توان ژنتیکی زنبور عسل برای مقاومت در برابر واروا مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از این مسیرها، تمرکز و انتخاب برای صفت رفتار بهداشتی زنبور عسل است. در این مسیر، با انتخاب در سطوح کلنی و درون کلنی‌ها، می‌توان رفتار بهداشتی زنبورها را افزایش داد. مسیر دیگر این است که با انتخاب زنبورهای هدف، تولیدمثل کنه واروا روی زنبور دچار مخاطره شده و محدود گردد. این مسیر می‌تواند از طریق کاهش جذابیت لاروها برای کنه و نیز طول دوره لاروی و شفیرگی زنبور مربوط باشد. استفاده از تکنیک‌های ژنتیک مولکولی رسیدن به نتیجه مطلوب را از طریق هر کدام از مسیرهای بیولوژیکی مذکور کارآمدتر خواهد کرد.

یافتن و ردیابی کنه‌ها محدود به بخش اندکی از جمعیت کلنی می‌شود (Fuchs, 1990). خوشبختانه در سال‌های اخیر محدودیت مطالعات ژنوم زنبور از میان برداشته شده است و ابزار مناسب ارزیابی ژنومی زنبور عسل فراهم شده است (Honey Bee Genome Sequencing Consortium, 2006). در حال حاضر توالی کامل ژنوم زنبور و نیز ریزآرایه‌های با تراکم بالا جهت بررسی نحوه ی بیان ژن‌ها در سطح کل ژنوم زنبور عسل در دسترس است.

با این اوصاف فرصت‌های جدیدی جهت مطالعات دقیق ژنتیک رفتاری زنبور عسل و مطالعات تاکسونومی در کنار گونه‌های دیگر پیش روی پژوهشگران قرار دارد (Benjamin *et al.*, 2007). در حال حاضر مطالعات متعددی حتی روی جمعیت‌های از پیش اصلاح شده انجام گرفته است. هدف این مطالعات شناسایی ژن‌های مرتبط با مقاومت به کنه است (Bocking & Spivak, 1999; Navajas *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2010; Oxley *et al.*, 2010; Behrens *et al.*, 2011; Robertson *et al.*, 2014; Conlon *et al.*, 2019). بعد از شناسایی ژن‌های درگیر در مقاومت به واروا می‌توان آنها را در برنامه‌های اصلاحی نژادی آینده بکار گرفت. تکنیک‌های مولکولی

منبع‌ها:

- Arathi, H. S., Burns, I., Spivak, M. 2000. Ethology of hygienic behaviour in the honey bee *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae): behavioural repertoire of hygienic bees. *Ethology*, 106 (4): 365-379.
- Behrens, D., Huang, Q., Geßner, C., Rosenkranz, P., Frey, E., Locke, B., Moritz, R. F., Kraus, F.B. 2011. Three QTL in the honey bee *Apis mellifera* L. suppress reproduction of the parasitic mite *Varroa destructor*. *Ecology and evolution*, 1(4): 451-458.
- Benjamin, E. J., Dupuis, J., Larson, M. G., Lunetta, K. L., Booth, S. L., Govindaraju, D. R., Kathiresan, S., Keaney, J. F., Keyes, M. J., Lin, J. P., Meigs, J. B. 2007. Genome-wide association with select biomarker traits in the Framingham Heart Study. *BMC medical genetics*, 8 (1): S11.
- Blacquière, T., Boot, W., Calis, J., Moro, A., Neumann, P., Panziera, D. 2019. Darwinian black box selection for resistance to settled invasive *Varroa destructor* parasites in honey bees. *Biological Invasions*, 21(8): 2519-2528.
- Boecking, O., Genersch, E. 2008. *Varroosis*—the ongoing crisis in bee keeping. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 3 (2): 221-228.
- Boot, W. J., Calis, J. N., Beetsma, J., Hai, D. M., Lan, N. K., Van Toan, T., Minh, N. H. 1999. Natural selection of *Varroa jacobsoni* explains the different reproductive strategies in colonies of *Apis cerana* and *Apis mellifera*. *Experimental & applied acarology*, 23 (2): 133-144.
- BüChler, R. 1994. *Varroa* tolerance in honey bees—occurrence, characters and breeding. *Bee World*, 75 (2): 54-70.





- Büchler, R. 2000. Design and success of a German breeding program for *Varroa* tolerance. American Bee Journal, 140 (8): 662-665.
- Büchler, R., Berg, S., Le Conte, Y. 2010. Breeding for resistance to *Varroa destructor* in Europe. Apidologie, 41(3): 393-408.
- Cabrera, A. R., Shirk, P. D., Teal, P. E. 2017. A feeding protocol for delivery of agents to assess development in *Varroa* mites. PloS one, 12 (4).
- Chagas, D. B., Monteiro, F. L., Hübner, S. D. O., Lima, M. D., Fischer, G. 2019. Viruses that affect *Apis mellifera* and their occurrence in Brazil. Ciência Rural, 49 (9).
- Chantawannakul, P., de Guzman, L. I., Li, J., Williams, G. R. 2016. Parasites, pathogens, and pests of honeybees in Asia. Apidologie, 47 (3): 301-324.
- Conlon, B. H., Aurori, A., Giurgiu, A. I., Kefuss, J., Dezmiorean, D. S., Moritz, R. F., Routtu, J. (2019). A gene for resistance to the *Varroa* mite (Acari) in honey bee (*Apis mellifera*) pupae. Molecular ecology, 28 (12): 2958-2966.
- Conlon, B. H., Frey, E., Rosenkranz, P., Locke, B., Moritz, R. F., Routtu, J. 2018. The role of epistatic interactions underpinning resistance to parasitic *Varroa* mites in haploid honey bee (*Apis mellifera*) drones. Journal of evolutionary biology, 31 (6): 801-809.
- Elzen, P., Westervelt, D. 2004. A scientific note on reversion of fluvalinate resistance to a degree of susceptibility in *Varroa destructor*. Apidologie, 35 (5): 519-520.
- Facchini, E., Bijma, P., Pagnacco, G., Rizzi, R., Brascamp, E. W. 2019. Hygienic behaviour in honeybees: a comparison of two recording methods and estimation of genetic parameters. Apidologie, 50 (2): 163-172.
- Frey, E., Odemer, R., Blum, T., Rosenkranz, P. 2013. Activation and interruption of the reproduction of *Varroa destructor* is triggered by host signals (*Apis mellifera*). Journal of invertebrate pathology, 113 (1): 56-62.
- Fuchs, S. 1990. Preference for drone brood cells by *Varroa jacobsoni* Oud in colonies of *Apis mellifera* carnica. Apidologie, 21(3): 193-199.
- Goddard, M.E., Hayes, B. J., Meuwissen, T. H. 2010. Genomic selection in livestock populations. Genetics research, 92 (5-6): 413-421.
- Harbo, J.R., Harris, J.W. 1999. Heritability in honey bees (Hymenoptera: Apidae) of characteristics associated with resistance to *Varroa jacobsoni* (Mesostigmata: Varroidae). Journal of economic Entomology, 92 (2): 261-265.
- Honeybee Genome Sequencing Consortium. 2006. Insights into social insects from the genome of the honeybee *Apis mellifera*. Nature, 443 (7114): 931.
- Kefuss, J., Vanpoucke, J., Bolt, M., Kefuss, C. 2015. Selection for resistance to *Varroa destructor* under commercial beekeeping conditions. Journal of Apicultural Research, 54 (5): 563-576.
- Kurze, C., Routtu, J., Moritz, R.F. 2016. Parasite resistance and tolerance in honeybees at the individual and social level. Zoology, 119 (4): 290-297.
- Kutzer, M. A., Armitage, S. A. 2016. Maximising fitness in the face of parasites: a review of host tolerance. Zoology, 119 (4): 281-289.
- Locke, B. 2016. Natural *Varroa* mite-surviving *Apis mellifera* honeybee populations. Apidologie, 47 (3): 467-482.
- Locke, B., & Fries, I. 2011. Characteristics of honey bee colonies (*Apis mellifera*) in Sweden surviving *Varroa destructor* infestation. Apidologie, Springer Verlag, 42 (4): 533-542.
- Lodesani, M., Costa, C. 2005. Limits of chemotherapy in beekeeping: development of resistance and the problem of residues. Bee World, 86 (4), 102-109.
- Martel, A. C., Zeggane, S., Aurières, C., Drajnudel, P., Faucon, J. P., Aubert, M. 2007. Acaricide residues in honey and wax after treatment of honey bee colonies with Apivar® or Asuntol®50. Apidologie, 38 (6), 534-544.
- Martin, S.J., Highfield, A.C., Brettell, L., Villalobos, E.M., Budge, G.E., Powell, M., Nikaido, S., Schroed-





- er, D.C. 2012. Global honey bee viral landscape altered by a parasitic mite. *Science*, 336, 1304–1306.
- Masterman, R., Ross, R., Mesce, K., Spivak, M. 2001. Olfactory and behavioral response thresholds to odors of diseased brood differ between hygienic and non-hygienic honey bees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Comparative Physiology A*, 187 (6): 441-452.
- McMullan, J. 2018. Adaptation in honey bee (*Apis mellifera*) colonies exhibiting tolerance to *Varroa destructor* in Ireland. *Bee World*, 95 (2): 39-43
- Milne C. P. J. 1985. Estimates of the heritabilities of and genetic correlation between two components of honey bee (Hymenoptera: Apidae) hygienic behaviour: uncapping and removing. *Annals of the Entomological Society of America*, 78,841–844.
- Moritz, R. F., De Miranda, J., Fries, I., Le Conte, Y., Neumann, P., Paxton, R. J. 2010. Research strategies to improve honeybee health in Europe. *Apidologie*, 41 (3): 227-242.
- Navajas, M., A. Migeon, C. Alaux, M. L. Martin-Magniette, G. E. Robinson, J. D. Evans, S. Cros-Arteil, D. Crauser, Le Conte Y. 2008. Differential gene expression of the honey bee *Apis mellifera* associated with *Varroa destructor* infection. *BMC Genomics*, 9:301
- Newton, D. C., & Ostasiewski Jr, N. J. 1986. A simplified bioassay for behavioral resistance to American foul-brood in honey bees.
- Nganso, B. T., Fombong, A. T., Yusuf, A. A., Pirk, C. W., Stuhl, C., Torto, B. 2018. Low fertility, fecundity and numbers of mated female offspring explain the lower reproductive success of the parasitic mite *Varroa destructor* in African honeybees. *Parasitology*, 145 (12): 1633-1639.
- Nganso, B. T., Fombong, A. T., Yusuf, A. A., Pirk, C. W., Stuhl, C., Torto, B. 2017. Hygienic and grooming behaviors in African and European honeybees—New damage categories in *Varroa destructor*. *PloS one*, 12 (6).
- Oddie, M. A., Dahle, B., Neumann, P. 2017. Norwegian honey bees surviving *Varroa destructor* mite infestations by means of natural selection. *PeerJ*, 5, e3956.
- Oldroyd, B. P. 1999. Coevolution while you wait: *Varroa jacobsoni*, a new parasite of western honeybees. *Trends in Ecology & Evolution*, 14 (8): 312-315.
- Oldroyd, B. P., & Wongsiri, S. 2009. Asian honey bees: biology, conservation, and human interactions. Harvard University Press.
- Palacio, M. A., Figini, E. E., Ruffinengo, S. R., Rodriguez, E. M., del Hoyo, M. L., & Bedascarrasbure, E. L. 2000. Changes in a population of *Apis mellifera* L. selected for hygienic behaviour and its relation to brood disease tolerance. *Apidologie*, 31 (4): 471-478.
- Panziera, D., van Langevelde, F., Blacquière, T. 2017. *Varroa* sensitive hygiene contributes to naturally selected *Varroa* resistance in honey bees. *Journal of Apicultural Research*, 56 (5): 635-642.
- Pérez-Sato, J. A., Châline, N., Martin, S. J., Hughes, W. O. H., Ratnieks, F. L. 2009. Multi-level selection for hygienic behaviour in honeybees. *Heredity*, 102 (6): 609-615.
- Pettis, J. S. 2004. A scientific note on *Varroa destructor* resistance to coumaphos in the United States. *Apidologie*, 35 (1): 91-92.
- Råberg, L., Graham, A. L., Read, A. F. 2009. Decomposing health: tolerance and resistance to parasites in animals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364 (1513): 37-49.
- Rademacher, E., Harz, M. 2006. Oxalic acid for the control of *varroosis* in honey bee colonies—a review. *Apidologie*, 37 (1): 98-120.
- Ramsey, S. D., Ochoa, R., Bauchan, G., Gulbranson, C., Mowery, J. D., Cohen, A., Hawthorne, D. 2019. *Varroa destructor* feeds primarily on honey bee fat body tissue and not hemolymph. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116 (5): 1792-1801.
- Remnant, E. J., Shi, M., Buchmann, G., Blacquière, T., Holmes, E. C., Beekman, M., & Ashe, A. 2017. A di-





verse range of novel RNA viruses in geographically distinct honey bee populations. *Journal of virology*, 91(16): e00158-17.

Ribi re, M., Ball, B., & Aubert, M. 2008. Natural history and geographical distribution of honey bee viruses. *Virology and the honey bee*, 15-84.

Robertson, A. J., Trost, B., Scruten, E., Robertson, T., Mostajeran, M., Connor, W., Kusalik, A., Griebel, P., Napper, S. 2014. Identification of developmentally-specific kinotypes and mechanisms of *Varroa* mite resistance through whole-organism, kinome analysis of honeybee. *Frontiers in genetics*, 5, 139.

Rosenkranz, P., Aumeier, P., Ziegelmann, B. 2010. Biology and control of *Varroa destructor*. *Journal of invertebrate pathology*, 103: S96-S119.

Rothenbuhler, W. C. 1964. Behaviour genetics of nest cleaning in honey bees. I. Responses of four inbred lines to disease-killed brood. *Animal Behaviour*, 12 (4): 578-583.

Rothenbuhler, W. C. 1964. Behavior genetics of nest cleaning in honey bees. IV. Responses of F 1 and backcross generations to disease-killed brood. *American Zoologist*, 4 (2): 111-123.

Santamaria, J., Villalobos, E. M., Brettell, L. E., Nikaido, S., Graham, J. R., Martin, S. 2018. Evidence of *Varroa*-mediated deformed wing virus spillover in Hawaii. *Journal of invertebrate pathology*, 151, 126-130.

Schroeder, D. C., Martin, S. J. 2012. Deformed wing virus: The main suspect in unexplained honeybee deaths worldwide. *Virulence*, 3 (7): 589-591.

Spivak, M. 1996. Honey bee hygienic behavior and defense against *Varroa jacobsoni*. *Apidologie*, 27 (4): 245-260.

Spivak, M., & Gilliam, M. 1998. Hygienic behaviour of honey bees and its application for control of brood diseases and *Varroa*: Part I. Hygienic behaviour and resistance to American foulbrood. *Bee world*, 79 (3): 124-134.

Spivak, M., & Gilliam, M. 1998. Hygienic behaviour of honey bees and its application for control of brood diseases and *Varroa*: Part II. Studies on hygienic behaviour since the Rothenbuhler era. *Bee world*, 79 (4): 169-186.

Spivak, M., & Reuter, G. S. 1998. Honey bee hygienic behavior. *American Bee Journal*, 138 (4): 283-286.

Spivak, M., & Reuter, G. S. 2001. Resistance to American foulbrood disease by honey bee colonies *Apis mellifera* bred for hygienic behavior. *Apidologie*, 32 (6): 555-565.

Tarpy, D. R., & Pettis, J. S. 2013. Genetic diversity affects colony survivorship in commercial honey bee colonies. *Naturwissenschaften*, 100 (8):723-728.

Van Dooremalen, C., Gerritsen, L., Cornelissen, B., van der Steen, J. J., van Langevelde, F., & Blacquiere, T. 2012. Winter survival of individual honey bees and honey bee colonies depends on level of *Varroa destructor* infestation. *PloS one*: 7 (4).

Villalobos, E. M. 2016. The mite that jumped, the bee that traveled, the disease that followed. *Science*, 351 (6273): 554-556.

Waite, R., Brown, M., & Thompson, H. 2003. Hygienic behaviour in honey bees in the UK: a preliminary study. *Bee World*, 84 (1): 19-26.

Willcox, B. J., Donlon, T. A., He, Q., Chen, R., Grove, J. S., Yano, K., Curb, J. D. 2008. FOXO3A genotype is strongly associated with human longevity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (37): 13987-13992.

Wu, Q., & Brown, M. R. 2006. Signaling and function of insulin-like peptides in insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 51, 1-24.

Zemene, M., Bogale, B., Derso, S., Belete, S., Melaku, S., Hailu, H. 2015. A review on *Varroa* mites of honey bees. *Academic Journal Entomology*, 8, 150-159.

Zhang, Y., Liu, X., Zhang, W., & Han, R. 2010. Differential gene expression of the honey bees *Apis mellifera* and *A. cerana* induced by *Varroa destructor* infection. *Journal of insect physiology*, 56 (9): 1207-1218.





A review on the resistance to *Varroa* mites in honeybee (*Apis mellifera*)

M. Mokhber¹, R. Rasouli²

1- Assistant Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agricultural Science, Urmia university, Urmia, Iran.

2- M.Sc. student in Beekeeping, Urmia University, Urmia, Iran.

DOI: 10.22092/hbsj.2020.341311.1082

Abstract

Diseases of honeybee (*Apis mellifera*) are one of the major challenges for apiculture industry. Among honeybee diseases, *Varroa* mite is the most serious and extensive threat for this pollinator insect. In compare to other diseases, *Varroa* is the most costly to beekeepers. *Varroa* mite, in addition to weakening its host by consuming body tissues, is considered as carrier for many pathogens and viruses. In total, two main strategies are available for confronting *Varroa*. One of them is using chemical pesticides to remove it, and the other one is the developing resistant host to *Varroa*. In the past decades, several chemical pesticides have been used to control *Varroa*. However, this mite is rapidly evolving resistance to those chemicals. Over time, thus effectiveness and efficiency of these acaricides will be decreased. Therefore, it seems that the most important strategy to deal with *Varroa* is to increase host resistance. One of the key mechanisms is hygienic behavior. This behavior is carried out by workers as a protective behavior against various diseases such as bacteria and fungi and other pathogens. Now, hygienic behavior is considered as a trait at honeybee breeding programs. Another pathway to parasite resistance at honeybee is the ability of the larvae or pupae to prevent the reproduction of parasites in cells. Selected honeybees for this feature are more resistant to *Varroa*. Selection for resistant honeybees will be more effective when breeder uses molecular genetic techniques.

Key words: Honeybee, *Varroa* mite, Hygienic behavior

Corresponding Author: M. Mokhber

Email: m.mokhber@urmia.ac.ir

