الفصل الثاني عشر

المحاصيل المُعدلة وراثياً: الآثار المُترتبة على النحل والتلقيح

Lora A. Morandin

مقدمة

فتحت الهندسة الوراثية لنباتات المحاصيل آفاقاً جديدة وعميقة لتغيير الأنواع إلى مدىً أبعد مما كان مُمكناً مع تربية أو طفرات النباتات التقليدية. وفي الأساس، أصبح مجتمع الحياة بأكمله مصدراً للمورّثات الجديدة للمحاصيل (Chrispeels and Sadava, 2003). وما يرافق إنشاء الأنواع الجديدة من المحاصيل أيضا من تأثيرٍ محتمل على البيئة مفيدة كانت أو ضارة.

وقد أثار إنتاج المحاصيل المُعدلة وراثياً تجاريا، قدراً كبيراً من القلق حول الآثار السلبية التي قد تترتب على الكائنات الحية غير المُستهدفة. والنحل هي إحدى الكائنات الحية غير المُستهدفة التي لديها قيمة بيئية أصيلة ولها فَضْلٌ مباشر على إنتاج المحاصيل من خلال دورها كملقحات أيضاً، مما يجعل التساؤل عن كيفية تأثير المحاصيل المُعدلة وراثياً على النحل مسألة ذات طابع اقتصادي وبيئي من خلال الحفاظ على هذه الملقحات. ولا تُشير التعديلات الوراثية إلى تعديل واحد أو حتى بضعة أنواع من

التعديلات النباتية، وإنما إلى العملية برمتها والتي تُستخدم لإدراج موّرثات جديدة قد تختلف عن بعضها البعض على نطاق واسع من حيث الآثار البيئية التي تُخلفها. ويوضح ذلك في الحسبان، يتضح سبب عدم وجود إجابة بسيطة حول الأضرار المحتملة للمحاصيل المُعدلة وراثياً على النحل أو الكائنات الحية الأخرى.

وقد تم تحسين المحاصيل بشكل منهجي من خلال تربية النبات لأكثر من ١٥٠ سنة سابقة. الأهداف الشائعة لبرامج تربية المحاصيل، هي تحسين قدرة المحاصيل على تحمل الآفات وتحمل الضغوطات غير الحيوية وتحسين الإنتاجية وتحسين عمليات التجهيز والخصائص الغذائية (Beversdorf, 1993)، على الرغم من أن الجوع في العالم قد يكون راجعاً لسوء توزيع المواد الغذائية وعدم المساواة في الوصول إليها بدرجة أكبر من الإنتاج الغذائي بحد ذاته (Matsonet al. 1997)، والمزيد من التوسع في الرقعة الزراعية وتحسين الأصناف وتكثيف عمليات الإنتاج هي وسائل لا مفرّ منها (Tilman et al. 2001)، مع توقع زيادة نمو سكان العالم من ٦,٥ مليار في الوقت الحاضر إلى أكثر من ٩ مليارات نسمة بحلول سنة ٢٠٥٠ (مكتب الإحصاء في الولايات المتحدة). وعلى الرغم من الجدل، فإن زراعة المحاصيل المُعدلة وراثياً هي جزء لا يتجزأ من الحاضر والمستقبل للتنمية الزراعية.

والحمض النووي لجميع الكائنات الحية متشابه جوهرياً، ولذلك يمكن تبادل المورثات أو أجزاء منها. وفي السبعينيات من القرن الماضي ظهرت أول الكائنات الحية المعدلة وراثياً، وبدأت في منتصف الثمانينيات من القرن الماضي التجارب الحقلية بنباتات المحاصيل المُعدلة وراثياً. وحتى عام ٢٠٠٤م، كان هناك ١٧ بلداً حول العالم تزرع على الأقل محصولاً واحداً من المحاصيل المعدلة وراثيا. والدول الرائدة في إنتاج المحاصيل المُعدلة وراثياً من حيث المساحة المزروعة (مليون هكتار– النسبة المئوية) هي الولايات المتحدة (٤٧,٦– ٥٩٪)، والأرجنتين (١٦,٢ – ٢٠٪) وكندا (٥,٤ ؛ ٦٪)،

والبرازيل (٥- ٦٪)، والصين (٣,٧- ٥٪). وارتفع معدل نمو صناعة المحاصيل المُعدلة وراثياً منذ تسويقها في سنة ١٩٩٦م، وبين عامي ٢٠٠٣م و ٢٠٠٤م زادت المساحات المزروعة بالمحاصيل المعدلة وراثياً بنسبة ٢٠٪. وتشمل المحاصيل المعدلة وراثياً ٢٩٪ من محاصيل الذرة والقطن وفول الصويا، والكانولا عالمياً. وتعتبر سمة التحمل لمبيدات الأعشاب السمة الوراثية الغالبة التي أُدخلت على المحاصيل المعدلة (٧٢٪ من مساحات النباتات المُعدلة وراثياً)، تليها مقاومة الحشرات (١٩٪ من مساحات النباتات المُعدلة وراثياً) (James, 2005). وحالياً، يضعف النشاط غير الرسمي لمنع المزارعين من زراعة المحاصيل المُعدلة وراثياً والذي يقوم به الاتحاد الأوروبي منذ عام ١٩٩٨م. وقد أجريت التجارب الميدانية للبنجر ولفت البذور الزيتية والذرة في السنوات القليلة الماضية في المملكة المتحدة، وسمحت بريطانيا بزراعة الذرة المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب في سنة ٢٠٠٤م للإنتاج التجاري.

ويُحَسّن التلقيح بواسطة الحشرات والنحل في المقام الأول غلة المحاصيل في حوالي ٨٠٪ من نباتات المحاصيل المئة تقريباً والتي تُغذي العالم (Ingram et al., 1996; Prescott-Allen Prescott-Allen and,1990)، ويُقدر بأن ٣٠٪ من المواد الغذائية في البلدان النامية تُنتَج من تلقيح النحل. ويعتمد بعض أنواع المحاصيل اعتماداً كلياً على نقل حبوب اللقاح بواسطة النحل، في حين أن تلقيح بعض المحاصيل الأخرى ذاتية الإخصاب من قبل النحل يُحسن من إنتاج البذور أو الثمار في هذه النباتات.

وتحتاج أنواع النحل جميعاً مصادرَ الرحيق وحبوب اللقاح طوال حياتها لتلبية متطلباتها من الطاقة ولتوفير الغذاء لأفراد الطائفة الأخرى. ونحل العسل هو أكثر الملقحات المرباة من حيث الأهمية الاقتصادية، وركزت دراسات آثار البروتينات القاتلة للآفات سواء المُعدلة وراثياً أو التقليدية إلى حد كبير على نحل العسل. ويشكل النحل التابع لفوق العائلة (Apoidae) مجموعة متنوعة للغاية، مع ٢٠ ألف إلى ٣٠ ألف

نوع، تنتمي لسبع عائلات منتشرة في جميع أنحاء العالم، بدءاً من النحل الانفرادي إلى النحل الذي يعيش في مستعمرات إلى أنواع النحل الاجتماعية البدائية وأخيرا النحل الاجتماعي الحقيقي (Michener et al., 1994). ويمكن لمبيدات الآفات والممارسات الزراعية أن يكون لها تأثيرات مُختلفة على نحل العسل وأنواع النحل الأخرى. وعلى سبيل المثال، يمكن اتخاذ وسائل لحماية خلايا نحل العسل من التعرض والتلوث بالمبيدات الحشرية عن طريق إغلاق الخلايا أو نقلها لمحاصيل أخرى أثناء الرش. ويلعب الحجم ومدى السروح والاختلافات الفسيولوجية والاجتماعية والسلوكية بين أنواع النحل البري أيضاً دوراً في تحديد ما قد تقود له تقنية النباتات المُعدلة وراثياً. والقيام باختبار بعض أنواع النحل من أجناس غير جنس نحل العسل ستوفر بعض المعلومات عن حساسية بعض أنواع النحل الأخرى لبعض المحاصيل المعدلة وراثياً والشائعة. وقد فَرَقْتُ عند مناقشة تقنية النباتات المُعدلة وراثياً بين تأثيراتها المحتملة على نحل العسل وعلى أنواع النحل البرية. ولكن، توجد بيانات قليلة مُتاحة حول تأثير زراعة المحاصيل المُعدلة وراثياً على النحل البري، وأنا، لذلك، لا أتمكن من تقديم تفاصيل أثر المنتجات والممارسات على أنواع النحل البري المختلفة.

لسوء الحظ، غالباً ما تُعتمد التقنية الجديدة قبل فهم تأثيراتها البيئية فهما جيداً. ويهدد إهمال الآثار البيئية للزراعة بتعطيل خدمات النظام البيئي مثل التلقيح، وربما الحد من أو القضاء على أي فائدة للمحصول من الزراعة المكثفة والتوسع الزراعي. ويجب التعرض لمسائلتين أساسيتين فيما يتعلق بالنحل والمحاصيل المُعدلة وراثياً هما: (١) هل تؤثر المحاصيل المُعدلة وراثياً على النحل ومجتمعاته، سلباً أو إيجاباً و(٢) وإذا كان للمحاصيل المُعدلة وراثياً تأثير على النحل، هل سيؤثر هذا على تلقيح المحاصيل وإنتاجيتها؟

وفي هذا الفصل، أستكشف بعض الأدلة العلمية عن الأثر المحتمل، أو عدم وجود الأثر، من هذه التقنية الجديدة نسبياً على النحل وتلقيح المحاصيل. وأدرس حالة فهمنا الحالي والمجالات التي تندر فيها المعلومات بشأن التفاعل بين النحل والمحاصيل المُعدلة وراثياً. وأكتشف الأسئلة التي ينبغي أن تُسأل وأقترح الأبحاث التي ينبغي القيام بها من أجل تخفيف الآثار السلبية للتعديلات الوراثية لنباتات المحاصيل على النحل.

الآثار المحتملة للمحاصيل المُعدلة وراثياً على النحل

يوجد نوعان رئيسيان لآثار المحاصيل المُعدلة وراثياً على النحل، وهما آثار سامة مباشرة وآثار غير مباشرة متعلقة بالنظام البيئي الزراعي. وتبدأ اختبارات السمية عادةً داخل مختبرات التجارب باستخدام المنتج المعدل وراثياً، وهو بروتين منقول وراثياً. وتلي التجارب المعملية في بعض الأحيان التجارب الحقلية لدراسة أثر المورِّث المنقول على صحة خلايا النحل (في حالة نحل العسل) التي تقوم بزيارة والسروح على قطاعات مزروعة بالمحاصيل المُعدلة وراثياً. وتُقيَّم سمية معظم النباتات المعدلة وراثياً عادةً في تجارب المختبر التي تقيِّم معدل وفيات النحل، ولكن يحتاج النحل أيضاً إلى أن يقوم بسلوكه المُعقد بجمع الرحيق وحبوب اللقاح ورعاية الحضنة، مما يحفز الدراسات عن التأثيرات المُحتملة للسموم على التعلم وسلوك النحل في زيارة النباتات.

ويمكن للتعديل الوراثي للنباتات أن يؤثر بشكلٍ غير مباشر على مجتمعات النحل من خلال تغيير البيئة التي يعيش بها النحل. وتنطوي الآثار المباشرة على سميّة البروتين المُنتج بسبب المورّث المنقول، في حين تنطوي الآثار غير المباشرة على التغيير غير المقصود للنبات المُعدل وراثياً أو الاختلافات في الممارسات الزراعية المرتبطة مع الأصناف المُعدلة وراثياً. ويلزم إجراء دراسات ميدانية باستخدام مساحات حقلية واقعية وكافية أو حقول تجارية لتقييم الآثار غير المباشرة للمحاصيل المُعدلة وراثياً على

النحل، وقد أجريت دراسات قليلة في هذا الصدد، لاختبار السمية المباشرة للبروتين القاتل للآفات على النحل. وتتطلب وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة (وكالة حماية البيئة، EPA) بأن تُختبر سلامة المحاصيل المعدلة وراثياً على نحل العسل باستخدام اختبارات ميدانية جزئية تُقارَن فيها صحة الخلايا التي تزور النباتات المُعدلة وراثياً بالخلايا التي تزور وتعيش على النباتات غير المُعدلة وراثياً (Z. Vaituzis، وكالة حماية البيئة، الاتصالات الشخصية، ٨ أذار "مارس" ٢٠٠٦). ويتّبع الاتحاد الأوروبي القواعد الدولية الواردة في بروتوكول قرطاجنة بشأن السلامة الإحيائية (٢٠٠٠)، التي تُعلن أن تقييم المخاطر تجري من أجل "تحديد وتقيّم الآثار الضارة المحتملة للكائنات الحية المُعدلة وراثياً على الحفظ والاستعمال المُستدام للتنوع الحيوي وعلى الأرجح في البيئة المتلقية" برتوكول قرطاجنة للسلامة الإحيائية لسنة ٢٠٠٠ : صفحة ٢٨).

حالياً، لا توجد مجموعة تعليمات وأُسس توجيهية للاختبارات المباشرة وغير المباشرة على النحل. وفي الولايات المتحدة، يُنظم الاختبار البيئي للنباتات المُعدلة وراثياً، خلاف الاختبارات المباشرة لسميّة البروتينات المبيدة للآفات المنقولة وراثياً، من قبل خدمات التفتيش الصحي للحيوان والنبات (APHIS) التابع لوزارة الزراعة الأمريكية. وكجزء من عملية الحصول على الموافقات، تطلُب خدمة التفتيش الصحي للحيوان والنبات من مقدم الطلب أن يُثبت على نحو كافٍ، سواءً من خلال المراجع العلمية أو التجارب، بأن المحصول المُعدل وراثياً لن يضر بالنحل (R. Rose، خدمة التفتيش الصحي للحيوان والنبات، الاتصالات الشخصية March, 2006). ومع ذلك، عندما تُقرر خدمة التفتيش الصحي للحيوان والنبات أن الآثار السامة المباشرة غير مرجحة الحدوث، فإنها لا تقوم بفحص احتمالات الآثار غير المباشرة.

ولدى إدراج المورّث الذي يمنح المحاصيل القدرة على مقاومة الحشرات فإن ذلك قد يؤدي إلى إحداث أضرار بالحشرات النافعة الأخرى، مثل النحل. ويستهلك

النحل بشكل رئيسي الرحيق وحبوب اللقاح. ويحتوي الرحيق على كميات ضئيلة من البروتين وليس من المرجح أن يحتوي على منتجات البروتين المُعدلة وراثياً، ولكن حبوب اللقاح تحتوي على ٨- ٤٠٪ من البروتين وهو الطريق الأكثر احتمالاً لتعرض النحل للبروتين المُعدل وراثياً.

ومن غير المرجح أن تضر منتجات المحاصيل المُعدل وراثياً بهدف تحمل مبيدات الأعشاب الحشرات المفيدة غير المُستهدفة مثل النحل، وقد دُعم هذا الافتراض بعددٍ من الدراسات باستخدام التغذية المباشرة للبروتين المنقول وراثياً، وتنفيذ التجارب الحقلية وشبه الحقلية (Pierre et al, 2003 and Huang et al., 2004). ومن المرجح أن تكون منتجات المحاصيل المُعدلة وراثياً بهدف مقاومة الحشرات أكثر ضرراً على الحشرات المفيدة بسبب التشابه النسبي في فسيولوجية الحشرات. وتتواجد مشكلة جديدة محتملة عند استخدام المحاصيل المُعدلة وراثياً لمقاومة الحشرات هي أن النحل يمكن أن يتعرض باستمرار للمبيدات الحشرية خلال فترة إزهار المحاصيل. وتتكسر مبيدات الحشرات التي تم استخدامها بمعدلات متفاوتة في البيئة، ويمكن أن يُقتصر استخدام المبيدات على الأوقات التي لا يكون فيها المحصول مزهراً أو في الليل بهدف تقليل تعرض الملقحات للمبيد. ومدة ومستوى التعرض للمبيد هما عنصران مهمان في تحديد الخطورة التي يتعرض لها النحل، ويجب تقييم المخاطر النسبية بين إستراتيجيات مكافحة الحشرات بالطريقة التي تشابه التعرض البيئي المحتمل.

وعلى الرغم من أنه أصبح جلياً بأن الآثار المميتة للمبيدات الحشرية على النحل قد تُسبب ضرراً لمجتمعاتها، فإن الآثار شبه المميتة قد تضر بالنحل أيضاً. ويجب على النحل أن يؤدي سلوكيات مُعقدة تجمع بين المهارات الحركية والتعلم من أجل العثور على مصادر الغذاء وتوفيره بكفاءة لأطواره غير الكاملة. والسموم التي قد تعطل قدرة النحل على أداء هذه المهام من خلال تعطيل وظائف الأعضاء و/أو السلوك تؤدي إلى تناقص التكاثر مع

وجود آثار سلبية على مجتمعات النحل في المدي الطويل. كما أن آثار المبيدات شبه المميتة على النحل ليست واضحة كما هي الحال في الآثار القاتلة الحادة، ويمكن بالتالي أن تكون صعبة التقييم. ومع ذلك، إذا تم تجاهلها، فإن التأثيرات شبه المميتة قد تسبب آثاراً غير متوقعة لمجتمعات النحل التي قد تكون أكبر من الآثار المفهومة جيداً والمميتة.

الآثار السامة المباشرة " لمبيدات" النباتات المُعدلة وراثياً

بروتينات البكتيريا العصوية *Bacillus thurigiensis* -Bt-

حُورت أكثر من ٩٩٪ من المحاصيل التجارية المعدلة وراثياً لمقاومة الحشرات باستخدام موّرثات تشفير لبروتينات بلورية (Cry) تم الحصول عليها من بكتيريا التربة *Bacillus thurigiensis* (Bt, James, 2005). وهي بكتيريا موجبة الصبغة لجرام وتنتج بروتينات بلورية خلال عملية إنتاج الأكياس الجرثومية (Simpson et al., 1997) وتظهر سلالات مُختلفة، منها القدرة على قتل أفراد حرشفية، ثنائية، غمدية وغشائية الأجنحة (Benz Joeressen, 1994, Hofmann and Luthy,1986). وتذوب البروتينات البلورية في القناة الهضمية الوسطى لبعض أنواع الحشرات، مفرزةً سموماً مُحتملة. أو قد تُحلل هذه البروتينات بواسطة الأنزيمات الهاضمة للبروتينات في القناة الهضمية، مؤديةً إلى سموم نشطة ترتبط بخلايا غشائية محددة تعمل على إحداث ثقوب في جدار الجهاز الهضمي مما يؤدي إلى وقف فوري للتغذية تقريباً، تليها الوفاة (Gill, et al., 1992). وقد تَنتُج خصوصية سموم البكتيريا العصوية (Bt) لنوعٍ أو مجموعةٍ محددةٍ من الأنواع من نزعة سموم معينة للبكتيريا بالارتباط بأنسجة التجويف المعوي في هذه الأنواع بالتحديد، ولكن، لا يزال الغموض يكتنف كيفية وخصوصية تأثير سموم هذه البكتيريا (Simpson et al., 1997) .

وقد أُستخدمت تجهيزات من بكتيريا (Bt) منذ عشرينيات القرن الماضي للتطبيق بطريقة الرش السطحي منخفض المخاطر وكأنها معاملة من معاملات المكافحة العضوية للآفات، ولم يكن هناك أي تأثيرات سلبية ملحوظة على النحل. وفي أواخر الثمانينيات وأوائل التسعينيات، أدرجت المورّثات التي تشفر للبروتينات البلورية النشطة في النباتات، وقد زرعت أول نباتات المحاصيل المُعدلة وراثياً Bt-plant تجارياً في سنة ١٩٩٦م. وتَستَخدم التطبيقات التقليدية لبكتيريا (Bt) برش النباتات بالبكتيريا كاملةً أو بالجراثيم البكتيرية، وفي هذه الحالة، يجب أن يتم تحليل البروتين في القناة الهضمية الوسطى للحشرة لإنتاج سمّية فعّالة. ولكن، النباتات المُعدلة وراثياً (Bt) تحتوي على المورّثات التي تُشفر لسميّة نشطة بشكل مباشر، وربما يؤدي ذلك إلى آثار سلبية من الأصناف المُعدلة وراثياً التي لم يُعثر عليها مع تطبيقات (Bt) التقليدية. واعتماداً على الحاثّ المُستخدم وخط التعديل الوراثي فإن البروتين البلوري النشط (Cry) ومنتجات بروتينية أخرى منقولة وراثياً يمكن أن تتواجد في حبوب لقاح النباتات المعدلة وراثياً (Wilkinson et al., 1997). وتُعبِّر نباتات القطن التي تحتوي على موّرث البروتين النشط (Cry1Ac) من البكتيريا العصوية (Bt) عن البروتين في حبوب اللقاح بتركيز ١١,٥ نانوجم/جم من وزن حبوب اللقاح، بينما التركيزات في الرحيق هي أقل من المستويات القابلة للكشف والبالغة ١,٦ نانوجم/جم (وكالة حماية البيئة الأمريكية، 2001). ويتباين التعبير عن المورّث المنقول (Cry1Ab) ضمن حبوب اللقاح اختلافاً كبيراً تبعاً للموّرث الحاثّ المستخدم (Promotor Gene) بدءاً من ١,٧ حتى ٠,٠٩ ميكروجرام/جرام من حبوب اللقاح (Sears et al, 2001). وللأسف، فإن النتائج المتاحة قليلة حول مستويات التعبير عن (Bt) أو المنتجات المنقولة وراثياً الأخرى في حبوب اللقاح، مما يجعل تصميم التجارب المعملية التي تختبر آثار تعرض الحشرات النافعة الواقعي لهذه المنتجات صعباً على الباحثين.

وتَبين من تجربة مبكرة عن البروتينات البلورية النشطة Cry على يرقات الفراشة الملكية (Monarch Butterfly) الضخمة أنه قد يكون هناك ضرر على بعض الحشرات غير المُستهدفة (Losey et al., 1999) مما أثر في اندلاع جدل حول استخدام محاصيل (Bt) وموجة من الدراسات الجديدة. وقبل دراسة Losey وزملائه (1999)، أجرت وكالة حماية البيئة دراساتٍ لتقيّم مخاطر سموم البكتيريا العصوية (Bt) على نطاقٍ واسع للحشرات والطيور والثدييات وخلصَت إلى أنها لا تتوقع أي خطر كبير على البشر والكائنات الحية غير المُستهدفة أو البيئة (U.S Environmental Protection Agency, 2000). ولدى بعض الباحثين مخاوف قبل وبعد نشر دراسة Losey لأن أساليب المختبر المُستخدمة في هذه الدراسات ليست كافية لجعل الاستنتاجات بشأن الآثار الحقلية ممكنة. وحتى الآن قد تطور تصور عام بأن مجتمعات الفراشة الملكة الضخمة ستتعرض للأذى عند استخدام المحاصيل المعدلة وراثياً بمورثات هذه البكتيريا Bt-plant. ويوجد الآن مجموعة كبيرة من المراجع العلمية المحكمة، نتجت في المقام الأول من الدراسات المشتركة بين العلماء الكنديين وعلماء الولايات المتحدة، ووجدت هذه الدراسات بأن مستويات (Bt) في حبوب اللقاح ليس لها تأثير يذكر على عشائر الفراشة الملكية الضخمة (Sears et al., 2001).

وقد تبع ذلك بحوث على الحشرات الأخرى غير المُستهدفة، وخاصة نحل العسل. ولخّص Malone and Pham-Delegue (2001) نتائج آثار (Bt) على استهلاك الغذاء في اليرقات والحشرات الكاملة لنحل العسل، ونشاط الطيران وطول العمر. ولم يجد الباحثون أي دليل على أن أيا من بروتينات (Bt) النقية التي تم اختبارها (المتخصصة على رتبة حرشفية الأجنحة Cry1Ac، Cry1Ab، Cry1Ba و Cry9C والمتخصصة على رتبة غمدية الأجنحة Cry3A وCry3B) قد يكون لها تأثير سلبي على نحل العسل، وحتى عند تعرض النحل لجرعات مرتفعة للغاية (انظر Malone and Pham-Delegue،

2001، للمراجعة)، على الرغم من عدم اختبار البروتينات المتخصصة في مكافحة رتبة غشائية الأجنحة على نحل العسل (Benz وJoeressen، 1994).

وحديثا، قيّم Hanley وآخرون (2003) أثر تغذية يرقات نحل العسل على بروتينات (Cry1Ab) وبروتينات (Cry1F) من خلال تغذيتها بحبوب لقاح الذرة المعدلة وراثياً، ووصل الباحثون إلى استنتاج مماثل من عدم وجود أي آثار سلبية. وقيم Malone وآخرون (2004) تطور الغدد في عاملات نحل العسل الحاضنة (صغيرة السن) نتيجة لتغذيتها على بروتينات (Cry1Ba) المنقولة وراثياً ولم يتم العثور على أي أثر سلبي، واختبر Liu وآخرون (2005) أثر استهلاك حبوب لقاح القطن التي تحتوي على البروتين المنقول وراثياً (Cry1Ac) على عاملات نحل العسل البالغة ولم يُعثر على أي آثار سلبية أيضاً.

وتتوفر دراسات قليلة حول آثار سموم (Bt) على أنواع النحل الأخرى باستثناء نحل العسل. ولكن، بسبب التباين في الشكل والسلوك بين أنواع النحل المختلفة فليس من الضروري تحويل البيانات واعتمادها للأنواع المختلفة. فقد اختبر Morandin وWinston (2003) آثار البروتين المنقول وراثيا (Cry1Ac) على استمرارية الحياة في عاملات النحل الطنّان البالغة، الوزن، طول العمر، بقاء اليرقات على قيد الحياة وعلى قدرة النحل البالغ (التي تم تطور يرقاته وتغذيتها على حبوب لقاح تحتوي على البروتين السام) على السروح وزيارة الأزهار. ولم يجد أية اختلاف في البقاء على قيد الحياة، الوزن وطول العمر أو قدرة النحل المربى على حبوب لقاح معدلة وراثياً بالمورّث (Cry1Ac) في السروح وزيارة الأزهار بين أفراد النحل الطنّان التي تم تربيتها على الغذاء المعدل وراثياً وبين الشاهد. والاستخدام التجاري للبروتين (Cry1Ac) ليس من المتوقع أن يكون له تأثير سلبي على النحل الطنّان.

واستناداً إلى عددٍ من الدراسات، ومدى طرق الاختبار المختلفة، ومجموعة البروتينات (Bt) التي تم تقييمها، يمكن استنتاج أن بروتينات (Bt) التي يُعبّر عنها في

المحاصيل المُعدلة وراثياً ليس من المرجح أن تضر نحل العسل أو النحل الطنّان ولا يتأثران سلبياً ببروتينات (Bt) النقية عند مستويات تقارب التركيزات التي وجدت في حبوب اللقاح المُعدلة وراثياً أو بطريقة المحاصيل المعدلة وراثياً التي تعبر عن البروتينات المُشتقة من البكتيريا العصوية (Bt).

مثبطات إنزيم هضم البروتينات

حالياً، تعتبر المحاصيل المُعدلة وراثياً ببروتينات (Bt) الوحيدة من حيث الاستخدام التجاري للنباتات المقاومة للحشرات، ولكن يجري تطوير أنواع عديدة للبروتينات المنقولة وراثياً بهدف مكافحة الحشرات. ومثبطات أنزيم هضم البروتينات هي مجموعة من البروتينات يتم عزلها من النباتات والحيوانات والأحياء الدقيقة وتعمل كمبيد حشري. حيث ترتبط مثبطات أنزيم هضم البروتين بالأنزيمات الهاضمة للبروتينات، مما يعطل هضم البروتين في معدة الحشرة، ويؤدي ذلك إلى تباطؤ النمو و/أو موت الحشرة. ومثبطات الأنزيم هذه فعالة في مكافحة أفراد رتبة غمدية، حرشفية ومستقيمة الأجنحة (Malone et al., 2004)، وقد أظهرت النباتات التي تُعبّر عن مثبطات إنزيم هضم البروتينات القدرة على مقاومة الآفات الحشرية (انظر Malone and Pham-Delegue، 2001، والمراجع فيها). ومثبطات إنزيم هضم البروتين ليست متخصصة كما هي الحال بالبروتين السام المنقول وراثياً من البكتيريا العصوية (Bt)، بالتالي فإن نحل العسل والنحل الطنّان ومن المحتمل أنواع النحل الأخرى تحتوي على أنزيمات هضم البروتين في جهازها الهضمي مما يجعلها حساسة لهذه المثبطات (Malone et al., 2004 and Dechaume – Moncharmont et al, 2005).

استعرض Malone and Pham-Delegue (2005) النتائج المترتبة على آثار مثبطات أنزيم هضم البروتينات المختلفة على نحل العسل والنحل الطنّان، ووجد أن لبعضها تأثيراً سلبياً والأخرى لم يظهر لها أي تأثير. واستنتج بأن تناول جرعات عالية من

مثبطات الأنزيم بواسطة النحل قد يُخفض نشاط إنزيم هضم البروتين في القناة الهضمية، مما يؤدي إلى تناقص عمر النحلة. وأكد الباحثان على أن تُدرس كل حالة على حدة ولكل مُنْتَج بروتيني جديد منقول وراثياً. وفي الآونة الأخيرة، وَجَدَتْ دراساتٌ أخرى آثاراً مختلفة ومتباينة لمثبطات أنزيم هضم البروتينات على النحل. وعلى سبيل المثال، عند تغذية يرقات نحل العسل على مثبطات التربسين المنقولة لمحصول الصويا (SBTI) أدى ذلك إلى وفيات بأعدادٍ كبيرة، وتباطؤ نمو الأطوار غير الكاملة، وخفَضَتْ كتلة جسم الحشرات البالغة (Brodsgaard et al., 2003). ولم يتأثر تطور الغدد تحت البلعومية لنحل العسل عندما كانت يرقات نحل العسل تتغذى على مثبطات أنزيم هضم البروتينات (Aprotinin) (Malone et al., 2004)، ولكن تطور اليرقات تأثر سلباً وكان بقاء يرقات النحل على قيد الحياة أقل في النحل الذي يتغذى على مثبطات التربسين في فول الصويا مقارنة بالشاهد (SBTI Sagili et al., 2005). وبهذه التوليفة فإن الدراسات تُسلط الضوء على الحاجة لدراسة كل مثبط جديد منقول وراثياً وأثره على صحة النحل.

بروتينات أخرى مبيدة للحشرات

وقد أجريت العديد من الدراسات على نباتات مقاومة للآفات ومعدلة وراثياً باستخدام Bt ومثبطات إنزيمات هضم البروتين؛ ومع ذلك، تم اختبار مجموعة أخرى من النباتات المُعدلة وراثياً بجينات منقولة تعبر عن بروتينات متخصصة بالارتباط بالبيوتين وأنزيم تحليل الكايتين أو الجلوجونيز، الليكتينات، وسم العنكبوت كذلك (Malone and Pham-Delegue, 2001). وعلى الرغم من أن الدراسات الأولية تشير إلى أن بروتينات تحليل الكايتين والجلوجونيز من غير المرجح بأن تسبب ضرراً لنحل العسل (Nizou Picard et al., 1997)، وأن بروتينات تحليل الكايتين غير ضارة للنحل الطنّان (Morandinand Winston, 2003)، إلا أن الجرعات التي أُختبرت قليلة. وهناك نقص في الدراسات حول آثار البروتينات المحتملة الأخرى والمنقولة وراثياً.

التأثيرات الإيجابية للمحاصيل المُعدلة وراثياً لمقاومة للآفات

تم التركيز حتى الآن على التأثيرات السلبية المُحتملة على النحل والتي يمكن أن تَحدث نتيجة الاعتماد على تقنية مكافحة الآفات بواسطة النباتات المُعدلة وراثياً، ولكن هناك إمكانية بأن يكون لهذه التقنية الجديدة أيضاً وقع إيجابي على النحل. وعلى تقليل استعمال مبيدات الآفات الكيميائية وهو أحد هذه التأثيرات الإيجابية.

وقد زاد استخدام مبيدات الآفات المصنعة عشرات الأضعاف منذ عام ١٩٤٥م، وحالياً يُستخدم نحو ٢,٥ مليون طن من مبيدات الآفات سنوياً في جميع أنحاء العالم (Paoletti and Pimentel, 2000). وحتى مع تزايد استخدام مبيدات الآفات من أي وقت مضى، يُقدر بأن ٤٠٪ من غلة المحاصيل الزراعية يتم فقدانها نتيجة للإصابة بالآفات قبل الحصاد؛ ويمكن زيادة هذه الخسائر بنسبة ٣٠٪ أخرى في حال عدم استخدام مبيدات الآفات. ويمكن لمبيدات الآفات المصنعة واسعة الطيف والأكثر شيوعاً أن تكون سامة للنحل، فضلاً عن الحيوانات البرية الأخرى (Johansen and Mayer, 1990)، ومع تزايد الطلب العالمي على الغذاء (Tilman et al., 2001)، نحتاج إلى توظيف تقنيات بديلة لمكافحة الآفات بهدف تقليل الآثار البيئية للزراعة المكثفة. وعلى الجانب الآخر، تُقدر القيمة الاقتصادية للتلقيح بواسطة نحل العسل حالياً بحوالي مليار دولار سنوياً في كندا و١٥ مليار دولار سنوياً في الولايات المتحدة (هيئة الزراعة والأغذية، والتنمية الريفية في ولاية ألبرتا، ٢٠٠٥). وقد قُدرت الخسائر الاقتصادية المباشرة لمستعمرات نحل العسل وإنتاج العسل الذي يعزى مباشرة إلى استخدام مبيدات الآفات بحوالي ٤٠ مليون دولار في السنة، ولكن الخسائر الزراعية بسبب انخفاض التلقيح بواسطة نحل العسل تقدر بحوالي ٤ مليارات دولار في السنة (Pimentel et al., 1992). وعلى الرغم من الصعوبة في تحديد استخدام معرفتنا الحاضرة بشكل كمي، فإن المبيدات الحشرية لها تأثير خطير على عشائر النحل البرية أيضاً، مع خسائر كبيرة في التنوع الحيوي وغلة المحاصيل.

سموم (Bt) التي تُستخدم الآن في المحاصيل المُعدلة وراثياً التجاريّة ليست ضارة بالنسبة للنحل، وبالتالي يمكن أن يؤدي استخدام محاصيل (Bt) المعدلة وراثياً إلى استخدام أقل لمبيدات الآفات المصنعة مما يخفض الضرر بالنسبة لمجتمعات النحل. فعلى سبيل المثال، أدى استخدام أصناف القطن (Bt) المعدلة وراثياً إلى تقليل استخدام مبيدات الآفات المصنعة بنسبة الثلث (Qaim, 2003) أو حتى إلى النصف في الهند والأرجنتين (Qaim and De Janvry, 2005). ويمكن أن يؤدي اعتماد قطن (Bt) على نطاق واسع إلى تقليل الاستخدام العالمي لمبيدات الآفات المصنعة، حيث إن محصول القطن هو المستهلك الأكبر للمبيدات الحشرية على مستوى العالم. ومن المزايا المُحتملة الأخرى للمحاصيل المقاومة (المبيدة) للآفات المُعدلة وراثياً هو أن مبيدات الآفات هذه تُنتج من قبل النبات ولن تتجرف إلى المناطق المحيطة بها أو إلى المياه الجوفية.

الآثار السلبية غير المباشرة للمحاصيل المُعدلة وراثياً

آثار التعديل الوراثي

يمكن لإدخال مُوَرثات منقولة بالنباتات المُعدلة وراثياً أن ينتج عنها تغييرات غير مقصودة في الشكل الظاهري للنبات المُعدل وراثياً تؤدي إلى إنتاج صنف إما أقل جاذبية أو مصدر تغذية أضعف للنحل مقارنةً مع الأصناف المكافِئَة غير المُعدلة وراثياً. وهناك نوعان من التغييرات غير المباشرة في النمط الظاهري للنبات ناتجة عن التحول أو التعديل الوراثي تم ذكرهما من قبل الباحث Malone and Pham-Delegue (2001) أولاً: يمكن أن تحدث طفرة زيادة في المورثات (طفرة تؤدي إلى إدخال وزيادة في عدد المورثات) أثناء عملية التعديل الوراثي، ينتج عنها تغييرات تؤدي مثلا إلى تخفيض كمية الرحيق بالزهرة أو تغيير في تكوين حبوب اللقاح. وإذا تمت ملاحظة هذه التغيرات، يمكن انتخاب الخطوط أو الأصناف التي لم يحدث فيها تغير. ثانياً، يمكن أن

يحدث تغير متزامن الأثر بحيث يتداخل المنتج المنقول وراثياً مع مسار كيميائي حيوي في النبات، ينتج عنه تغيير في النمط الظاهري. وإذا كان هذا التغيير ليس ملحوظاً، فلا يمكن استخدام طريقة انتخاب الخط الوراثي أو الصنف الذي لا يشمل هذا التغير الناتج عن التعديل الوراثي.

ولا يُعرف حتى الآن الكثير عن هذه التعديلات الخفيّة، ونفتقر إلى المعلومات بالنسبة لمعظم الأصناف المُعدلة وراثياً فيما إذا كانت مُختلفة من جوانب قد يكون لها تأثير على مجتمعات النحل. وأظهرت دراسة واحدة على نحل العسل ونبات اللفت المُعدل وراثياً فرقاً في رحيق الأزهار بين النباتات المعدلة وراثياً والنباتات غير المعدلة وراثياً ولكنه لم يكن هناك فرق في سروح نحل العسل على كلتا المجموعتين (Picard- Nizou et aL., 1995). والآن، لتحديد فيما إذا كانت هناك أية آثار للصنف المعدل وراثياً، ينبغي أن تُحلل النباتات المعدلة وراثيا من حيث مكونات الرحيق وحبوب اللقاح لكل الأصناف المعدلة وراثياً قبل عملية إنتاجها وتسويقها التجاري. وفي هذه الحالة، تبين الدراسات الميدانية لنشاط النحل في النباتات المُعدلة وراثياً مقابل الأصناف التقليدية أيضاً فيما إذا كان للسلالة المُعدلة وراثياً أي تأثير سلبي على النحل. وستكون هذه الدراسات مهمة جداً للمحاصيل التي يتم تلقيحها بواسطة النحل.

تأثيرات النظام البيئي الزراعي

في سنة ٢٠٠٥م، زُرع ما يقرب من ٧١٪ من مساحة المحاصيل المُعدلة وراثياً العالمية بمحاصيل قادرة على تحمل مبيدات الأعشاب، بالإضافة إلى ١١٪ زرعت بمحاصيل معدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب ومقاومة الآفات معاً (James, 2005). وتسوق المحاصيل التي تتحمل مبيدات الأعشاب إلى المزارعين باعتبارها التقنية للحد من وفرة الأعشاب الضارة في الحقول مما يؤدي إلى زيادة الإنتاج. وتكون مكافحة

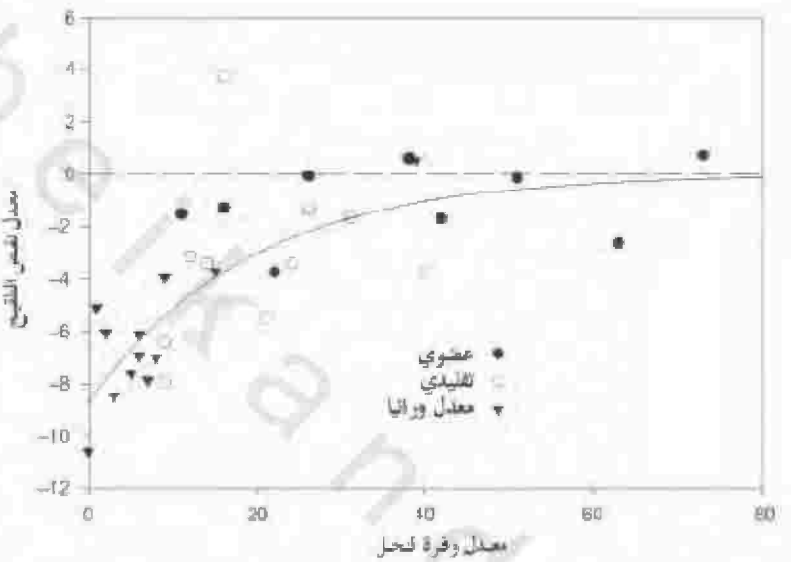
الحشائش الضارة الفعالة في العديد من المحاصيل التقليدية الغير مُعدلة وراثياً صعبةً؛ لأنه بعد بزوغ البادرات في الحقول، يقتصر استخدام المزارعين على مبيدات الأعشاب التي لن تضر المحاصيل فقط. ولكن أصناف المحاصيل المعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب جذابة جداً للمزارعين؛ لأنها تمكنهم من مكافحة الأعشاب الضارة حتى بعد ظهور المحصول. ومن غير المرجح أن المحاصيل المعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب تضر مباشرةً بالنحل البري أو النحل المربى كنحل العسل (Huang, et al., 2004)، ولكن ضمن مناطق استخدام هذه النباتات، تنخفض وفرة وتنوع الأعشاب الضارة مما يقلل من وفرة المصادر الغذائية للنحل البري. وينبع معظم القلق فيما يتعلق بعواقب المحاصيل المعدلة وراثياً لمبيدات الأعشاب على النحل البري من أدلة تشير بأن النحل أكثر وفرة وتنوعاً في المناطق ذات التنوع الحيوي الأوفر والأكبر، ولكن تشير بعض الدراسات الحديثة إلى أن التغيرات في الممارسات الزراعية المُرتبطة بالمحاصيل المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب لديها بالفعل آثار سلبية كبيرة على مجتمعات النحل من خلال الآثار الواضحة في النظام البيئي على هذا المستوى.

وقد أُجريت تقيّيمات حقلية لثلاث سنوات في المملكة المتحدة بغرض تقييم الآثار على الحياة البرية والناجمة عن طريقة إدارة المحاصيل المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب مقارنة مع الأصناف التقليدية غير المُعدلة وراثياً (Squire et al., 2003). وكانت الكتلة الحيوية للأعشاب الضارة أقل في حقول البنجر واللفت المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب (Hawes, et al., 2003)، وكانت كثافة النحل أقل في حقول المحاصيل المعدلة وراثياً عنها في المحاصيل التقليدية. (Haughton et al., 2003). ولا يعني انخفاض تواجد النحل في حقول النباتات المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب بالضرورة انخفاض الكثافة النحلية في مجتمعات النحل في المنطقة، ولكن يمكن أن تعكس خيارات السروح التي تقوم بها النحلة (Hawes, et al., 2003).

ويمكن لمجتمعات النحل الصغيرة في المحاصيل المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب أن تؤدي ليس فقط إلى زيادة تفاقم الانخفاض الحالي على المدى الطويل لمجتمعات النحل البرية في النظم البيئية الزراعية ولكن أيضاً إلى غلة وعوائد اقتصادية فقيرة للمحاصيل. ولدى العديد من المحاصيل مثل الكانولا (*Brassica spp.*) التي تستفيد من تلقيح النحل مجتمعات نحلية أقل كثافة وعقد ثمار أقل في حقول النباتات المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب بالمقارنة مع الأصناف التقليدية والعضوية (Morandin and Winston, 2005، الشكل ١٢,١). وجد Winston Morandin and (2005) أن نسبة عقد البذور في النباتات المعدلة وراثياً كانت ٧٨٪ فقط من مجموعة البذور الإجمالية المُحتملة، وفقدان حوالي ست بذور في القرن الثمري الواحد بسبب عدم وجود نقل كاف لحبوب اللقاح، في حين كان عقد البذور في الحقول العضوية يعادل ٩٩٪. في المقابل، زادت كثافة النحل بما يقرب من ثلاثة أضعاف في الحقول العضوية للكانولا مقارنة مع حقول النباتات المعدلة وراثياً.

ولدى الحقول التقليدية، كثافة نحلية ونسبة عقد بذور متوسطة مقارنة بالمعدلات في حقول الكانولا المُعدلة وراثياً والعضوية. وتختلف الحقول العضوية عن الحقول المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب والحقول التقليدية في جوانب عديدة بما في ذلك حجم الحقل واستخدام مبيدات الآفات وأنواع الكانولا المستخدمة. ومع ذلك، كانت الحقول التقليدية ذات حجم مماثل لحقول النباتات المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب، ولديها نفس أنواع الكانولا، وقد أُنتجت بطريقة مماثلة. ولذلك نفترض وجود علاقة إيجابية بين غطاء الخشائش الضارة ووفرة النحل كما أن نمط زيادة وفرة النحل من حقول النباتات المعدلة وراثياً إلى الحقول التقليدية والحقول العضوية والتقليدية كانت (على الأقل جزئياً) نتيجةً لزيادة غطاء الأعشاب الضارة. وأظهر التحليل الدقيق للبيانات أن كلاً من الأراضي المحيطة بالحقول وغطاء الخشائش داخل

الحقل تلعب دوراً في تحديد وفرة النحل في الحقول (Morandin and Winston معلومات غير منشورة).



الشكل (١٢,١). تأثير النظام البيئي الزراعي غير المباشر والمحتمل لنبات الكانولا المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب على تلقيح النحل والمحاصيل. ونقص التلقيح هو قياس الفرق بين مجموعة البذور الفعلية ومجموعة البذور المحتملة مع التلقيح الكامل. ولاحظ أن هناك عدداً أقل من النحل في الحقول المُعدلة وراثياً والتي تتوافق لتخفيض مجموعة البذور الفعلية (من Morandin و Winston، 2005).

وعلى الرغم من أن بعض الدلائل تشير إلى أن ارتباط المحاصيل المعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب مع كثافة نحلية منخفضة ونسبة عقد بذور أكثر انخفاضاً، إلا أن إستراتيجيات إدارة هذه المشكلة البيئية والاقتصادية المحتملة ممكنة. وانخفاض وفرة الأعشاب الضارة في الحقول واحدة من الفوائد المُحتملة لأنواع المحاصيل المعدلة وراثياً

لتحمل مبيدات الأعشاب المُعدلة والتي تؤدي إلى زيادة المحاصيل (Howatt, 2006). ومع ذلك، إذا تسبب غطاء الأعشاب الضارة المُنخفض للغاية في تدني وفرة النحل في الحقول قد لا يؤدي استخدام المحاصيل المعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب إلى أي زيادة في المحصول مقارنة بالحقول التي تنتشر فيها الأعشاب الضارة بشكلٍ أكبر. وبدلاً من الاعتماد على الأساليب التي قد تؤدي إلى كثافة أعلى للأعشاب الضارة في الحقول، يمكن تشجيع وتحسين وفرة وكثافة النحل بالحقول منخفضة الحشائش الضارة من خلال إدارة المناطق المحيطة لقطعة الأرض، وهي إستراتيجية من غير المرجح أن تكون مألوفة للعديد من المزارعين.

واقترح Morandin and Winston (2006)، وذلك باستخدام بيانات جُمعت على مدى عامين في حقول الكانولا المعدلة وراثيا والتقليدية، أن عشائر النحل البرية يمكن أن تزداد من خلال ترك بعض الأراضي المحيطة للحقل بدون زراعة. وطورا نموذجاً عن منفعة الكانولا في مساحة ٥٧٦ هكتاراً، على أساس النسبة المئوية من الأراضي المخصصة لزراعة الكانولا والأرض غير المخصصة للزراعة. ويحاكي هذا النموذج المنفعة على طول سلسلة متصلة، من حقول الكانولا التي تغطي المنطقة بأكملها وحتى ترك مجمل المساحة والبالغة ٥٧٦ هكتاراً بدون زراعة. والعائد من الكانولا ازداد مع زيادة النسبة المئوية من الأراضي غير المزروعة من صفر حتى ٣٠٪. وعندما خُصصت كل المساحة المتوفرة لزراعة الكانولا ولم تُترك هناك منطقة غير مزروعة، انخفضت وفرة النحل في النموذج، مما أدى ذلك إلى انخفاض نسبة عقد البذور. كما زادت نسبة الأراضي غير المزروعة من صفر حتى ٣٠٪، مع زيادة في وفرة النحل، مما أدى إلى زيادة عقد البذور وزيادة الإنتاجية والعائد الاقتصادي. وعندما زادت الأراضي غير المزروعة لأكثر من ٣٠٪، تنخفض الفائدة من الكانولا بسبب ارتفاع نسبة العوائد المفقودة من عدم زراعة جزء إضافي من الأرض على العوائد المكتسبة نتيجة تحسن وفرة

النحل والتلقيح. لذلك، نجد أنه من الأمثل اقتصاديا في مجال دراستنا ترك ما نسبته ٣٠٪ من الأراضي غير مزروعة. وهذا النموذج يحاكي نظاماً مغلقاً بزراعة المساحة بالكانولا أو تركها بدون زراعة، ولكنه لم يمتد لعدة سنوات أو يأخذ بالاعتبار استفادة محاصيل أخرى قريبة من حقول الكانولا. وعلى الرغم من هذه القيود، فإن النموذج يكشف عن أن بعض الأراضي الطبيعية في النظم البيئية الزراعية يمكن أن يكون لها بُعد اقتصادي فضلاً عن المساعدة في التنوع الحيوي. وقد طُور وعُدل هذا النموذج من قبل M. Wonneck (إدارة إعادة تأهيل الأراضي والمزرعة – الزراعة والأغذية الزراعية في كندا) لإدراج تناوب أربعة محاصيل لمدة أربع سنوات مع ٣ سنوات من المحاصيل غير المُعتمدة على الملقحات (Wonneck، الاتصالات الشخصية، شباط "فبراير" ٢٠٠٧). ووجد أن العائد قد تم تعظيمه عندما يترك ١٥٪ من الأراضي بدون زراعة.

إن تغيير وفرة الأعشاب الضارة في وحول الحقول قد يكون له آثار متباينة على أنواع النحل البرية المُختلفة. وعلى الرغم من عدم توفر قاعدة بيانات عن أنواع مختلفة من النحل البري وآثار النظام البيئي الزراعي غير المباشرة للمحاصيل المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب عليها في الوقت الحاضر، إلا أن بعض التكهنات ممكنة. فالنحل الأكبر حجماً مثل النحل الطنّان يقوم بالسروح لمسافات أكبر من أنواع النحل الأخرى، وهي قادرة على السروح على مجموعة واسعة من أنواع الزهور. ولذلك، الحد من السروح على المدى الطويل في الحقول المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب قد لا تؤثر على عشائر النحل الطنّان بالقدر الذي تؤثر فيه على أنواع النحل الصغيرة التي لا تتمكن من السروح لمسافات أطول للحصول على الغذاء.

وتحافظ عملية صيانة أو تأهيل الأراضي الطبيعية في المناطق الطبيعية الزراعية على مجتمعات النحل البري وكذلك على عملية التلقيح، ولكن في كثير من الحالات قد لا يكون ذلك قابلاً للتحقيق. وعلى الرغم من المعرفة والدعم الحكومي للمناطق الطبيعية

في النظم البيئية الزراعية، لم يتبنَ مُلاك الأراضي في الولايات المتحدة إدراج صيانة الأراضي الطبيعية على نطاق واسع (Lovell and Sullivan, 2006). حيث يمكن تعويض آثار سمات الإدارة عالية الكثافة للحقول المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب من خلال المناطق الطبيعية المتراكبة هيكلياً، وتتضمن أشكالاً وأنواعاً زراعية متنوعة ومتباينة (Tscharntke, et al., 2005). وقد قمنا بدراسة وفرة وتنوع النحل البري في حقول الكانولا المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب ضمن المناطق الطبيعية المعقدة هيكلياً، وتتألف هذه الأراضي من مراعٍ ومحاصيل محروثة، وضمن المناطق الطبيعية "البسيطة"، التي تتألف من المحاصيل المحروثة في المقام الأول (Morandin, et al., 2007). وكانت وفرة النحل البري أكبر، كما أننا عثرنا على توجه نحو تنوع أكبر للنحل في الحقول ضمن المناطق الطبيعية المعقدة مقارنةً بالمناطق الطبيعية البسيطة. وهكذا يمكن أن تتحقق المحافظة على النحل في الزراعات المكثفة محلياً إذا كانت المناطق الطبيعية معقدة.

الآثار النافعة غير المباشرة

يعشش العديد من أنواع النحل البري في الأرض، وعند حرث الحقول يمكن أن تُدَمر مواقع التعشيش هذه. وتحرث المحاصيل الحولية عادة إما في الخريف بعد أن يُحصد المحصول أو في الربيع قبل أن يُبذر المحصول الجديد. والهدف من هذه الحراثة هو تخفيف التربة لتسهيل عملية الزراعة ولتعطيل نمو الأعشاب الضارة. ويمكن للمزارعين رش مبيدات الأعشاب واسعة الطيف بعد ظهور المحصول في حقول المحاصيل المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب مثل الكانولا والتي لا تحتاج للحراثة لمكافحة الأعشاب الضارة. ويحتمل أن يؤدي ذلك إلى زيادة مواقع التعشيش في الحقول وهوامش الحقول. ولم يُبلَغ عن أي دراسات حول آثار تقنين الحراثة على مجتمعات النحل البرية، ولكن في سنة واحدة خلال دراساتنا، لم يكن لدى أربعة حقول غير محروثة لنبات الكانولا

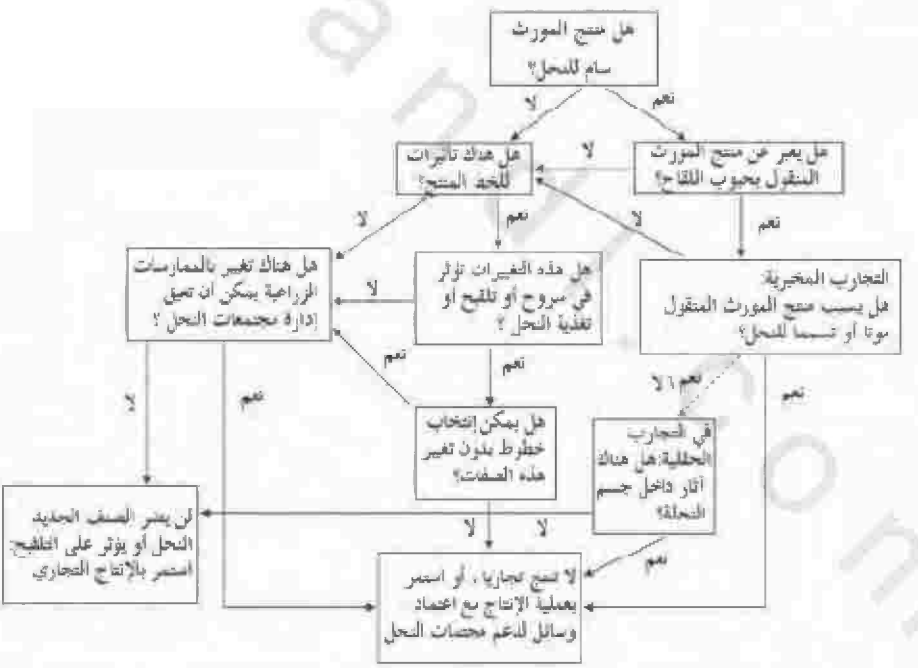
المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب وفرة نحيلة أكبر من الحقول المعدلة وراثيا والمحروثة. وبالإضافة إلى ذلك، لا يستفيد العديد من المزارعين حتى الآن من نظام عدم حرث التربة في حقول المحاصيل المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب؛ لأن بذر الحقل المباشر بدون حراثة يتطلب آلات بذر أكبر وأكثر تكلفة من البذر العادي.

تقييم مخاطر المحاصيل المُعدلة وراثياً على النحل

إنه لمن الأساسي بأن تُختبر سلامة النحل لجميع سلالات المحاصيل المُعدلة وراثياً الجديدة، وذلك قبل الاستخدام التجاري. ومن المهم أن تُقيّم مخاطر المحاصيل المُعدلة وراثياً مقارنة ببدائل مجدية نسبياً. وعلى سبيل المثال، فإن بروتين مبيدات الآفات المنقول وراثياً والذي يثبت ضرره بالنسبة للنحل قد يكون أقل ضرراً من المبيدات الحشرية المصنعة البديلة والتي يجرى استخدمها على المحاصيل غير المُعدلة وراثياً. وبالإضافة إلى ذلك، ينبغي أن تُقارن آثار المحاصيل المُعدلة وراثياً على النظام البيئي الزراعي مع آثار النظم الزراعية الأخرى (التقليدية والعضوية) على النحل (على سبيل المثال، تطوير النظم الزراعية Champion, et al., 2003 and Morandin and Watson, 2005).

وينبغي التحقق أيضا من آثار السلالات الجديدة التي تتضمن موّرثات منقولة ويحتمل أن تكون آمنة بالنسبة للنحل أو التي اُختبرت واُعتبرت آمنة على أي تغير في حبوب اللقاح أو الرحيق (Pierre et al., 2003) (الشكل ١٢,٢). وإذا لم يثبت وجود أية آثار واضحة على النحل، ينبغي علينا أن نسأل فيما إذا وجدت أية عوامل على مستوى النظام البيئي الناتجة من الممارسات الزراعية المُرتبطة بالمحاصيل المُعدلة وراثياً والتي قد تؤثر سلباً على مجتمعات أو تلقيح النحل. عموماً، نحتاج لدراسات ميدانية واسعة النطاق لقياس ولتحديد الآثار على مستوى النظام البيئي وبدقة بما يختص بمجتمعات النحل. وإذا لم يُعثر على أي آثار سلبية في أي من هذه الخطوات، فمن

المحتمل أن لا يكون لها آثار على مجتمعات النحل أكبر من تلك المتوقعة مع الإخلال بالزراعة التقليدية. وإذا كان المورّث المنقول ذا تأثيرات مميتة أو دون المميتة على النحل في التجارب المختبرية أو في الحقلية، ينبغي اتخاذ الخطوات للتقليل من هذه الآثار، مثل التوصل أو إنتاج سلالات لديها مستوى أقل من تعبير المورّث المنقول في حبوب اللقاح والرحيق أو باستخدام مورّثات منقولة بديلة لا تُسبب تأثيرات سامة. وإذا وجدت آثار على مستوى النظام البيئي الزراعي، كانخفاض وفرة وتلقيح النحل ببعض المحاصيل المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب، فيمكن إدارة المناطق المحيطة للمحاصيل للمساعدة في الحفاظ على وفرة وتنوع النحل.



الشكل (١٢,٢)- رسم تخطيطي لتدفق تقييم المخاطر للإنتاج التجاري للمحاصيل المُعدلة وراثياً.

الخاتمة

يطالب العالم بزيادة إنتاج الغذاء، وتحاول الصناعة الزراعية زيادة الإنتاجية عن طريق تحسين المحاصيل من خلال التعديل الوراثي. وقد زاد استخدام المحاصيل المُعدلة وراثياً كل سنة منذ منتصف التسعينيات من القرن الماضي، والخبراء المتنبئون في مجال الزراعة لا يتوقعون لهذا التوجه بأن يتغير أو يهدأ لسنوات عديدة أخرى. والمحاصيل الحالية المُعدلة وراثياً لمقاومة للحشرات تعتبر أقل سمية للحياة البرية من مبيدات الآفات التقليدية الكثيرة وتحد في بعض الحالات من الاستخدام المفرط لمبيدات الآفات، ومن المحتمل أن يؤدي ذلك إلى مجتمعات نحل أفضل صحة وأفضل من ناحية تلقيح المحاصيل. وتعتمد هذه الفوائد على منتج المورّث المنقول بكونه غير سام نسبياً للنحل أو لن يتم التعبير عنه في حبوب اللقاح. وإذا كانت المنتجات التجارية المستقبلية سامة بالنسبة للنحل، فإن الاستفادة منها تعتمد على مقارنة أثرها النسبي مع مبيدات الآفات المصنعة البديلة. وقد يكون أثر المحاصيل المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب المباشر على النحل أقل احتمالاً ولكن قد تؤثر تأثيراً سلبياً على مجتمعات النحل وتلقيح المحاصيل بطريقة غير مباشرة. وتُسّوق المحاصيل المُعدلة وراثياً لتحمل مبيدات الأعشاب للمزارعين بغرض زيادة إنتاج المحصول من خلال مكافحة الأعشاب الضارة، ومكافحة الأعشاب الضارة بهذا الأسلوب قد يؤثر تأثيراً سلبياً على مجتمعات النحل البرية، وإذا كانت هذه المحاصيل تعتمد على الحشرات بالتلقيح، فإن انخفاض نسبة عقد البذور قد يُلغي الفوائد من تقنية تحمل مبيدات الأعشاب. وإذا أمكن للبحوث والدراسات تحديد بعض هذه المشاكل والحلول المحتملة، يمكن للمزارعين أن يتخذوا الإجراءات المناسبة على مستوى النظام البيئي الزراعي، مما يؤدي إلى تحقيق مكاسب لكل من المحصول والتنوع الحيوي.

شكر وتقدير

أشكر Mark Winston و Patrick O'Hara للتعليقات على المسودة الأولى لهذا الفصل. والشكر لجمعية منتجي عسل كولومبيا البريطانية على تمويلها لهذا البحث، ومن خلال اتفاق الشراكة البحثي مع مجلس بحوث العلوم الطبيعية والهندسة بكندا (NSERC)، والمتعاونين من القطاع الصناعي المعني: باير لعلوم المحاصيل (Bayer)، مونسانتو (Monsanto)، داو – العلوم الزراعية – كندا (Dow)، وشركة كرومبتون (Crompton)، شركة NSERC على منحة دراسات عليا للباحث L. Morandin ومنحة اكتشاف NSERC إلى Mark Winston.

المراجع العلمية

Alberta Agriculture, Food, and Rural Development. (2005, May 23). Serious threat to Canadian http://www1.agric.gov.ab. ca/$department /newslett .nsf/pdf/ agnw7331/$fi le/May%2023.pdf.

Benz, G., and Joeressen, H. J. (1994). A new pathotype of Bacillus thuringiensis with pathogenic action against sawflies (Hymenoptera, Symphyta) (Bulletin OILB-SROP 17). Montfavet, France: OLIB.

Beversdorf, W. D. (1993). Traditional crop breeding practices: An historical review to serve as a baseline for assessing the role of modern biotechnology. Paris: Organization for Economic Co-operation and Development.

Brodsgaard, H. F., Brodsgaard, C. J., Hansen, H., and Lovei, G. L. (2003). Environmental risk assessment of transgene products using honey bee (Apis mellifera) larvae. Apidologie, 34, 139-145.

Cartagena Protocol on Biosafety to the Convention on Biological Diversity. (2000). Retrieved June 2007, from http://www.biodiv. org/doc /legal/cartagena-protocol-en.pdf.

Champion, G. T., May, M. J., Bennett, S., Brooks, D. R., Clark, S. J., Daniels, R. E., et al. (2003). Crop management and agronomic context of the farm scale evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Series B. Biological Sciences, 358, 1801-1818.

Chrispeels, M. J., and Sadava, D. E. (2003). Plants, genes, and crop biotechnology (2nd ed.). Sudbury, MA: Jones and Bartlett.

Dechaume-Moncharmont, F. X., Azzouz, H., Pons, O., and Pham-Delegue, M. H. (2005). Soybean proteinase inhibitor and the foraging strategy of free flying honeybees. Apidologie, 36, 421-430.

Gill, S. S., Cowles, E. A., and Pietrantonio, P. V. (1992). The mode of action of Bacillus thuringiensis endotoxins. Annual Review of Entomology, 37, 615-636.

Hanley, A. V., Huang, Z. Y., and Pett, W. L. (2003). Effects of dietary transgenic Bt corn pollen on larvae of Apis mellifera and Galleria mellonella. Journal of Apicultural Research, 42, 77-81.

Haughton, A. J., Champion, G. T., Hawes, C., Heard, M. S., Brooks, D. R., Bohan, D. A., et al. (2003). Invertebrate responses to the management of genetically modified herbicide-tolerant and conventional spring crops: II. Within-field epigeal and aerial arthropods. Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Series B. Biological Sciences, 358, 1863-1877.

Hawes, C., Haughton, A. J., Osborne, J. L., Roy, D. B., Clark, S. J., Perry, J. N., et al. (2003). Responses of plants and invertebrate trophic groups to contrasting herbicide regimes in the farm scale evaluations of genetically modifi ed herbicide-tolerant crops. Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Series B. Biological Sciences, 358: 1899-1913.

Hofmann, C., and Luthy, P. (1986). Binding and activity of Bacillus thuringiensis delta-endotoxin to invertebrate cells. Archives of Microbiology, 146, 7-11.

Howatt, K. A., Endres, G. J., Hendrickson, P. E., Aberle, E. Z., Lukach, J. R., Jenks, B. M., et al. (2006). Evaluation of glyphosate-resistant hard red spring wheat (Triticum aestivum). Weed Technology, 20, 706-716.

Huang, Z. Y., Hanley, A. V., Pett, W. L., Langenberger, M., and Duan, J. J.. (2004). Field and semi-field evaluation of impacts of transgenic canola pollen on survival and development of worker honey bees. Journal of Economic Entomology, 97, 1517-1523.

Ingram, M., Nabhan, G. P., and Buchmann, S. (1996). Our forgotten pollinators: Protecting the birds and bees. Global Pesticide Campaigner, 6. Retrieved March 2006, from http://www.pmac.net/ birdbee.htm.

James, C. (2005). Global status of commercialized biotech/GM crops (ISAAA Brief No. 34). Ithaca, NY: International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications.

Johansen, C. A., and Mayer, D. F. (1990). Pollinator protection: A bee and pesticide handbook. Cheshire,CT: Wicwas Press.

Liu, B., Xu, C. G., Yan, F. M., and Gong, R. Z. (2005). The impacts of the pollen of insect-resistant transgenic cotton on honeybees. Biodiversity and Conservation, 14, 3487-3496.

Losey, J. E., Rayor, L. S., and Carter, M. E. (1999). Transgenic pollen harms monarch larvae. Nature, 399, 214-214.

Lovell, S. T., and Sullivan, W. C. (2006). Environmental benefits of conservation buffers in the United States: Evidence, promise, and open questions. Agriculture, Ecosystems and Environment, 112, 249-260.

Malone, L. A., and Pham-Delegue, M. H. (2001). Effects of transgene products on honey bees (Apis mellifera) and bumblebees (Bombus sp.). Apidologie, 32, 287-304.

Malone, L. A., Todd, J. H., Burgess, E. P. J., and Christeller, J. T. (2004). Development of hypopharyngeal glands in adult honey bees fed with a Bt toxin, a biotin-binding protein and a protease inhibitor. Apidologie, 35, 655-664.

Matson, P. A., Parton, W. J., Power, A. G., and Swift, M. J. (1997). Agricultural intensifi cation and ecosystem properties. Science, 277, 504-509.

Michener, C. D., McGinley, R. J., and Danforth, B. N. (1994). The bee genera of North and Central America (Hymentoptera: Apodia). Washington, DC: Smithsonian Institution Press.

Morandin, L. A., and Winston, M. L. (2003). Effects of novel pesticides on bumble bee (Hymenoptera: Apidae) colony health and foraging ability. Environmental Entomology, 32, 555-563.

----(2005). Wild bee abundance and seed production in conventional, organic, and genetically modified canola. Ecological Applications, 15, 871-881.

----(2006). Pollinators provide economic incentive to preserve natural land in agroecosystems. Agriculture Ecosystems and Environment, 116, 289-292.

Morandin, L. A., Winston, M. L., Abbott, V. A., and Franklin, M. T. (2007). Can pastureland increase wild bee abundance in agriculturally intense areas? Basic and Applied Ecology, 8, 117-124.

Paoletti, M. G., and Pimentel, D. (2000). Environmental risks of pesticides versus genetic engineering for agricultural pest control. Journal of Agricultural and Environmental Ethics, 12, 279-303.

Picard-Nizou, A. L., Grison, R., Olsen, L., Pioche, C., Arnold, G., and Pham-Delegue, M. H. (1997). Impact of proteins used in plant genetic engineering: Toxicity and behavioral study in the honeybee. Journal of Economic Entomology, 90, 1710-1716.

Picard-Nizou, A. L., Pham-Delegue, M. H., Kerguelen, V., Douault, P., Marilleau, R., Olsen, L.,et al. (1995). Foraging behaviour of honey bees (Apis mellifera L.) on transgenic oilseed rape (Brassica napus L. var. oleifera). Transgenic Research, 4, 270-276.

Pierre, J., Marsault, D., Genecque, E., Renard, M., Champolivier, J., and Pham-Delegue, M. H. (2003). Effects of herbicide-tolerant transgenic oilseed rape genotypes on honey bees and other pollinating insects under fi eld conditions. Entomologia Experimentalis et Applicata, 108, 159-168.

Pimentel, D., Acquay, H., Biltonen, M., Rice, P., Silva, M., Nelson, J., et al. (1992). Environmental and economic costs of pesticide use. BioScience, 42, 750-760. Prescott-Allen, R., and Prescott-Allen, C. (1990). How many plants feed the world? Conservation Biology, 4, 365-374.

Qaim, M. (2003). Bt cotton in India: field trial results and economic projections. World Development, 31, 2115-2127.

Qaim, M., and De Janvry, A. (2005). Bt cotton and pesticide use in Argentina: Economic and environmental effects. Environment and Development Economics, 10, 179-200.

Sagili, R. R., Pankiw, T., and Zhu-Salzman, K. (2005). Effects of soybean trypsin inhibitor on hypopharyngeal gland protein content, total midgut protease activity and survival of the honey bee (Apis mellifera L.). Journal of Insect Physiology, 51: 953-957.

Sears, M. K., Hellmich, R. L., Stanley-Horn, D. E., Oberhauser, K. S., Pleasants, J. M., Mattila, H. R., et al. (2001). Impact of Bt corn pollen on monarch butterfl y populations: A risk assessment. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 98, 11937-11942.

Simpson, R. M., Burgess, E. P. J., and Markwick, N. P. (1997). Bacillus thuringiensis delta-endotoxin binding sites in two lepidoptera, Wiseana spp. and Epiphyas postvittana. Journal of Invertebrate Pathology, 70, 136-142.

Squire, G. R., Brooks, D. R., Bohan, D. A., Champion, G. T., Daniels, R. E., Haughton, A. J., et al. (2003). On the rationale and interpretation of the farm scale evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Series B. Biological Sciences, 358, 1779-1799.

Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., et al. (2001). Forecasting agriculturally driven global environmental change. Science, 292, 281-284.

Tscharntke, T. A., Klein, M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., and Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensifi cation and biodiversity: Ecosystem service management. Ecology Letters, 8, 857-874.

U.S. Census Bureau. (2008.) World population information. Retrieved February 2008, from http://www.census .gov/ipc/www/idb /world popinfo.html.

U.S. Environmental Protection Agency. (2000). October 18-20, 2000, FIFRA SAP meeting: Bt plant pesticides risk and benefi ts assessment. Retrieved June 2007, from http://www.epa.gov/oscpmont/ sap /meetings/2000/october/questions.pdf.

----(2001). Biopesticides registration action document: Bacillus thuringiensis plant-incorporated protectants. Retrieved June 2007, from http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/pips/ bt_brad.htm.

Wilkinson, J. E., Twell, D., and Lindsey, K. (1997). Activities of CaMV 35S and nos promoters in pollen: Implications for fi eld release of transgenic plants. Journal of Experimental Botany, 48,265-275.