كلية الكوت الجامعة
مركز البحوث والدراسات والنشر

ISBN: 978-9922-685-88-5

التكنولوجيا المستدامة القائمة على الليزر لمكافحة الآفات الزراعية

Sustainable Laser-Based Technology for Agriculture Pests Control

تأليف

الدكتور
محمد زيدان خلف الجبوري
خبير / رئيس باحثين علميين
عضو جمعية الليزر العراقية

الدكتور
طالب زيدان تعبان الموسوي
استاذ مساعد
رئيس جمعية الليزر العراقية

2024

منشورات

مركز البحوث والدراسات والنشر

كلية الكوت الجامعة

٦٢١ / ٣٦٦

ج ٢٩٤ الجبوري، محمد زيدان خلف

التكنولوجيا المستدامة القائمة على الليزر لمكافحة الآفات الزراعية.

محمد زيدان خلف الجبوري، طالب زيدان تعبان الموسوي. - ط١ . -

بغداد : مطبعة كلية الكوت الجامعة، مركز

الدراسات والبحوث ، ٢٠٢٤

١٢٠ص ؛ ٢٤ سم .

١- الليزر ٢. الآفات الزراعية - مكافحة

أ. الموسوي ، طالب زبدان تعبان (م. م.) ب. العنوان

رقم الايداع

٢٤٨٥ / ٢٠٢٤

المكتبة الوطنية/الفهرسة اثناء النشر

رقم الايداع في دار الكتب والوثائق ببغداد

٢٤٨٥ لسنة ٢٠٢٤م

ISBN: 978-9922-685-88-5

ملاحظة

مركز البحوث والدراسات والنشر في كلية الكوت الجامعة
غير مسؤول عن الافكار والرؤى التي يتضمنها الكتاب
والمسؤول عن ذلك الكاتب او الباحث فقط.

Al-Kut University College Printing Press

مطبعة كلية الكوت الجامعة

المحتويات

الموضوع	رقم الصفحة
المقدمة	3
الفصل الاول	5
الاضرار الاقتصادية والبيئية والتغذوية للافات الزراعية	5
خسائر الاغذية نتيجة أضرار الافات	5
تحدي الحشرات الغازية	7
طبيعة مفهوم أدارة الافات الحشرية	9
مكونات أنظمة الادارة المتكاملة للافات	10
الفصل الثاني	13
ماهو الليزر؟	13
أجزاء جهاز الليزر	14
أنواع الليزر	14
تطبيقات الليزر في الهندسة الزراعية	15
الفصل الثالث	21
الاستراتيجية العالمية لمكافحة الافات	21
تطبيقات الليزر في برامج ادارة الافات	23
تطبيقات الليزر في السيطرة على حشرات المن	23
تطبيقات ليزر NIR في مكافحة حشرات الذباب الابيض والمن	27
تقنية الليزر في مكافحة الذباب الابيض	29
تقنية الليزر في مكافحة ذبابة التبغ البيضاء	29
أختبارات جهاز ليزر في صيد الصراصير	32
الصراصير موضع استهداف من الذكاء الاصطناعي وأشعة الليزر	36
استخدام اشعة الليزر في السيطرة على دودة اللهانة	38
تاثير الليزر في دودة ورق القطن	39
رصد الحشرات على اساس الاستشعار عن بعد بالليزر	41
التحكم بنبضات قلب ذباب الفاكهة باستخدام الليزر	43
ذبابة الفاكهة الموجه بالليزر- التحكم الحراري	44
أستخدام نظام الليزر في التصنيف والتتبع والسيطرة على الحشرات الطائرة	45
ثلاثة عشر حقيقة عن البعوض (روبوت للقضاء على البعوض)	47
بندقية ليزر لقتل البعوض	52
روبوت بحجم لعب الاطفال للقضاء على البعوض	52

مصيدة ليزر لجذب وقتل البعوض والحشرات الاخرى	53
تطوير نظام ليزر الي بواسطة الرؤيا الالية لتحييد والقضاء على الحشرات المتحركة	55
التنبوء بمسار الافات باستخدام الليزر	56
جهاز ليزر لتحييد البعوض والزنابير الاسيوية والاعشاب الضار والافات الاخرى	58
أستخدام الليزر في تطبيقات الرش الذكي للمبيدات	60
تطبيقات الليزر في السيطرة على حشرات المخازن	62
نظام السياج الضوئي Photonic Fence	63
الليزر السلاح الجديد ضد افات المنتجات المخزنة	64
تاثير أشعاع الليزر النبضي في خنفساء اللوبيا	66
تاثير الليزر في خنفساء الجلود	67
التصوير المقطعي بالليزر كتقنية واعدة لتقييم جودة الحبوب وتطور الحشرات الداخلية في المنتجات المخزنة	68
التعرف الذكي على الافات باستخدام الليزر	70
رصد ومراقبة الحشرات على أساس الاستشعار عن بعد بالليزر	73
الفصل الرابع	77
رادار الحشرات	77
رادار المسح النبضي Pulsed Scanning Radar	80
الرادار ذو المظهر العمودي Vertical-Looking Flight Observations Radar	77
رادار الموجة المستمرة المعدل التردد Frequency Modulated Continuous Wave Radar (FMCWR)	81
الرادار التوافقي Innovative Harmonic Radar لتتبع الزنبور الاسيوي ذو الارجل الصفراء (yellow-legged Asian hornet) *Vespa velutina*	81
ليزر ليدار الحشرات أداة واعدة لرصد خنافس اللحاء Entomological Laser Lidar	85
الفصل الخامس	89
الليزر وسيلة فعالة لمكافحة الادغال	89
أشعة الليزر وطائرات بدون طيار لمكافحة الأعشاب الطفيلية	100
أجهزة الليزر لاخافة وابعاد الطيور Laser bird deterrent system	103
محاسن استخدام الليزر	109
مساوىء استخدام الليزر	109
المصادر	110

المقدمة

تواجه الزراعة في القرن الحادي والعشرين تحديات متعددة بما في ذلك زيادة الطلب على الغذاء، وشح المياه، وتغيرات المناخ العالمي، وقيود موارد الطاقة، وفقدان الأراضي الصالحة للزراعة بسبب التحضر. من المتوقع أنه على مدار الثلاثين عامًا القادمة، سينمو عدد سكان العالم بنسبة ~ 25 ٪ (الأمم المتحدة، 2017) وهذا يستدعي الحاجة إلى تبني تقانات جديدة وموفرة للطاقة وصديقة للبيئة وغير مدمرة وذلك لتحسين كمية الانتاج، وجودة وسلامة المنتجات الزراعية لأن الطرائق التقليدية لن تكون كافية لإطعام العالم. هناك ثلاث طرائق رئيسية لمعالجة الطلب المتزايد على الغذاء، أي زيادة الأراضي الصالحة للزراعة، وتعزيز غلة المحاصيل/الإنتاجية، وتقليل خسائر ما بعد الحصاد -https://www.agro .lib.site/2021/11/blog-post_646.html

الآفات هي واحدة من المشاكل الرئيسية في الزراعة اليوم. تتعرض المحاصيل المتضررة من الآفات لخطر انخفاض كبير في إنتاجها وخسارة اقتصادية واسعة النطاق. تؤثر هذه الآفات، وخاصة اليرقات، على أجزاء مختلفة من المحاصيل مثل الأوراق والجذور والثمار وتعتمد دورة نمو اليرقات بأكملها على أجزاء النبات المختلفة كغذاء. تبتلع معظم اليرقات الأوراق بقوة أثناء دورة نموها، حيث يؤدي هذا عمومًا إلى زيادة حجم الجسم عند التشرنق وتحسين جودة وكمية البيض. الطرائق الحالية للقضاء على الآفات هي بالوسائل الميكانيكية أو الكيميائية وتشمل الطرائق الميكانيكية استخدام المصايد، والشاشات أو الحواجز، والاجراءات الحقلية، وما إلى ذلك. وتشمل الطرائق الكيميائية استخدام المبيدات الحشرية، أو مبيدات الأعشاب المستهدفة. يتم أيضًا استخدام الإزالة اليدوية لهذه للآفات أو تناوب المحاصيل. هذه إما طرائق تستغرق وقتًا أو جهدًا أو تضر بالبيئة. أن استخدام التقنية الناشئة لمكافحة الآفات بالليزر أمرًا حكيمًا. إن دمج التعلم العميق الفعال مع نظام الليزر المذكور أعلاه للكشف السريع والدقيق عن الآفات ومكافحة الآفات اللاحقة يجب ان يكون النهج المستخدم في الدراسات الحالية والمستقبلية.

يعد موضوع الفيزياء الحياتية متعدد التخصصات ويشمل مجالات البايولوجيا والفيزياء وعلم الاحياء الحسابي وغيرها في مجال الميكروبات والنباتات والحيوانات والانسان ذات اهمية متزايدة، وتركز مساهمات العلماء والخبراء من مختلف القارات والبلدان على الجوانب

الرئيسية للفيزياء الحياتية مما ادى الى تطور التقنيات والتطبيقات في هذا المجال ويعد الليزر من اهم التقنيات في هذا المجال لتطبيقاته الواسعة في المجال الصناعي (Masera, 2012; حمودي واخرون 2017). إن حجم الأبحاث والمؤلفات حول استخدام الليزر لإبادة الآفات أو كرادع للآفات ليس كبيرًا. وقد يرجع ذلك إلى مجموعة متنوعة من الأسباب مثل صعوبة الحصول على نتائج مماثلة لتلك التي يتم تحقيقها في المختبر على الأراضي الزراعية، ومتطلبات التبريد واحتياجات العمل الخاصة لأجهزة الليزر عالية الطاقة، وما إلى ذلك. في عام 2005 أجرى Obayashi, et al. (2005) تجارب على يرقات ذبابة الفاكهة (الدروسوفلا) *Drosophila Melanogaster* حيث تم تعريض اليرقات لأطوال موجة ليزر بطول 532 نانومتر و1064 نانومتر وتم التوصل إلى أن الموجة 532 نانومتر كان أكثر فعالية بكثير من الموجة 1064 نانومتر لقتل اليرقات وأن كثافة الطاقة البالغة 6 كيلوجول/م2 كانت العتبة المطلوبة لنفس الشيء. في العام التالي، وفي تجارب أخرى على ذبابة الدروسوفلا وجد أن التعرض لشعاع ليزر من أشباه الموصلات بطول 650 نانومتر لمدة 1282 ثانية بقدرة 60 ميكاواط أو أكثر أدى إلى معدل وفيات بنسبة 99%. ومن المثير للاهتمام، عند التعرض لأقل من 40 ميكاواط قد عزز نمو اليرقات. في عام 2016، استخدم Dix, et al. 2016 وزملاؤه الليزر لإثبات أن التعرض لضوء ليزر ديود 532 نانومتر، 500 ميكاواط لمدة 2.5 ثانية تسبب في أضرار كبيرة لتجمعات حشرات المن، ويمكن تحقيق معدل وفيات بنسبة 100% مع التعرض لمدة 3.5 ثانية أو أكثر. أجرى Keller, et al. (2016)، سلسلة من التجارب على بعوض *Anopheles stephensi* تم إخضاع البعوض لأطوال موجية مختلفة من الليزر، سواء النبضي أو CW. وقد لوحظ أن معدل الوفيات يرتبط بقوة بخصائص الامتصاص للبعوض وفي حالة الليزر النبضي، يرتبط بمدة النبضة لنفس الطول الموجي وقطر الشعاع.

الفصل الاول

الأضرار الاقتصادية والبيئية والتغذوية للآفات الزراعية

تعد عملية ضمان الاحتياجات الغذائية لسكان العالم المتزايد من العمليات الحرجة التي تضغط على المصادر الطبيعية المطلوبة للإنتاج الزراعي، وتبعاً لمنظمة الصحة العالمية WHO فأن اكثر من 3700 مليون شخص يعانون من سوء التغذية في عام 2004 وهذا يعد اكبر رقم سجل لحد ذلك الوقت وهو في تزايد مستمر، ويعني سوء التغذية نقص السعرات الحرارية والبروتين والحديد واليود والفيتامينات. ان الوضع العالمي للجوع ونقص الأغذية قد نبهنا الى موضوع ازدياد مستوى عدم الأمان في إمدادات الأغذية العالمي والى مدى حساسية وتأثر صحة الإنسان وانتاجيته بهذا الشأن. ان تقرير منظمة الغذاء والزراعة للامم المتحدة FAO لأنتاجية الحبوب في العالم يؤكد انخفاض ما متوفر من غذاء لكل شخص ومنذ عام 1984. وهذا بحد ذاته يشكل انذارا مهماً طالماً ان الحبوبيات تشكل حوالي 80% من امدادات الغذاء العالمي. فبالرغ من ان إنتاجية الحبوب لكل هكتار قد ازدادت في معظم دول العالم الا ان معدل الزيادة بطيء نوعاً ما، فعلى سبيل المثال وتبعاً لوزارة الزراعة الأمريكية فأن أنتاج الحبوب في أمريكا قد ازداد بحدود 3% بالسنة ما بين عام 1950 و1980 لكن منذ ذلك الوقت فأن معدل الزيادة السنوية لمحصول الذرة مثلاً وغيرها من الحبوب لم يتعدى 1%. وفي نفس الوقت وتبعاً لما يعلن من احصائيات سكانية فأن سكان العالم قد ازداد ليصل الى 6500 مليون نسمة، مسلطاً ضغطاً لم يسبق له مثيل على استهلاك المنتجات الز ارعية. ومن بين اهم محددات الانتاج الز ارعي، تشكل الاضرار والخسائر التي تحدثها الافات الزراعية وخصوصاً الحشرية منها، تاثيرا كبيرا على الامدادات والاحتياجات الغذائية للانسان (الربيعي، 2013).

خسائر الأغذية نتيجة أضرار الآفات

هناك ما يقدر بحدود 70000 نوع من أنواع الآفات في العالم تقوم بالاضرار بالمحاصيل الزراعية وحيوانات المزرعة، من هذه الآفات هناك حوالي 10000 نوع من الحشرات والحلم و 50000 نوع من ألامراض النباتية و 10000 نوع من الاعشاب والأدغال الضارة، علماً ان اقل من 10% مجموع أنواع الآفات المشخصة تعد آفات رئيسية. وان أكثر من 40% من أنتاج المحاصيل في العالم يتم تدميره من قبل الآفات، مع الاخذ بنظر الاعتبار نوعية الآفات فان

نسبة ضرر الآفات الحشرية تقدر بحدود 14% والامراض النباتية 13% وكذلك للأدغال. ان قيمة مثل هذه الإضرار مجتمعتاً تقدر بحدود 300000 مليون دولار أمريكي سنويًا. وعلى سبيل المثال فأن نسبة الخسائر في الإنتاج السنوي في أمريكا نتيجة الآفات تقدر بحدود 37%، وطالماً ان مجموع قيم الإنتاج السنوي من المحاصيل في الولايات المتحدة يصل الى 160000 مليون دولار سنويا، وًبالرغم من كل الجهود الكبيرة المبذولة للسيطرة على الآفات باستعمال المبيدات وغيرها من وسائل المكافحة من غير الكيميائيات. وفي الوقت الحاضر فأن الولايات المتحدة تستثمر بحدود 8000 مليون دولار في عمليات استعمال المبيدات في مكافحة الآفات لكي تؤمن حاصلات يقدر ثمنها بحدود 30000 مليون دولار سنوياً، كذلك عند استعمال وسائل المكافحة الأخرى مثل الأعداء الطبيعية وبصورة عامة فأن كل دولار يستثمر في مكافحة ألافات فانه يعود بثلاثة الى أربعة دولارات. من جهة أخرى فلو نظرنا الى نسبة الضرر الذي تحدثه الحشرات فقط في الولايات المتحدة الأمريكية والتي كانت لا تتجاوز 7% عام 1945 قد تضاعفت لتصبح 13% في الوقت الحاضر بحسب المصادر، بالرغم من الزيادة التي تصل الى عشرة أضعاف في كمية المبيدات الكيميائية المستخدمة. وهذا يعزى الى التغايرات المختلفة التي حدثت في تقنيات الإنتاج الزارعي هذا فضلاً عن التحسينات النوعية المحدثة في مجال زيادة اختيارية المبيدات وخفض مستوى متبقياتها. مع ذلك ان من الجدير بالذكر انه لولا مبيدات الآفات وغيرها من وسائل المكافحة فأن الخسائر في المحاصيل ستكون اعلى مما حدث في الوقت الحاضر. وتشير أحدث الدراسات انه بدون تدخل الإنسان المباشر للسيطرة على الآفات فأن الخسائر قد تصل الى 70% وما قيمته 525000 مليون دولار سنوياً مما يقلص الإمدادات الغذائية العالمية ويزيد من حالات سوء التغذية بصورة معنوية. ومن اجل الحد من استخدام المبيدات الكيميائية المضرة تجرى ومنذ وقت عمليات تطوير لبرامج المكافحة المتكاملة والزراعة العضوية والزراعة بدون مبيدات. ولا تنتهي مضار الآفات عند الحصاد وانما تستمر خلال فترات خزن المحاصيل، حيث تقدر الخسائر في هذه المرحلة بحدود 25% على المستوى العالمي. وهذا يعني ان الآفات تتسبب في خسائر للمحاصيل الغذائية تصل الى 52% وبغض النظر عن تقنيات المكافحة المستعملة.

تحدي الحشرات الغازية

يشكل انتقال الآفات الحشرية والحلم والادغال من نظام بيئي الى اخر تحدياً أخر ومشكلة دائمة الخطورة لكل المهتمين بمكافحة الآفات. ان التقدم والتنوع في وسائل النقل ساعد على حركة الآفات وانتشارها إلى أماكن جديدة. وتشير أحدى الدراسات الى ان تمركز اعداد الانواع الجديدة من الافات في ولاية فلوريدا الامريكية يصل الى 14 نوع بالسنة، وقد ذكر دخول حوالي 150 نوعاً جديداً من الحشرات الى هذه الولاية للمدة 1986 - 2000 . وفي العراق نذكر من جملة الافات الحشرية التي دخلت وتوطنت: البق الدقيقي على الحمضيات وحفار أوراق الحمضيات وذبابة الياسمين البيضاء على الحمضيات وذبابة فاكهة البحر المتوسط وعثة الطماطة وخنفساء كولورادو على البطاطا و ذبابة الدودة الحلزونية على الماشية. وفي هذا الصدد هناك اهتماماً وقلقاً عالمياً متزايدا أمام ما يجب استثماره من أموال وطاقات للتصدي لهكذا مشكلة متفاقمة، فعلى سبيل المثال فأن معدل ما تم انفاقه من قبل مصلحة فحوصات الصحة الحيوانية والنباتية (APHIS) في أمريكا وضمن برامجها الطارئة للمدة 1989- 2002 قد تصاعدت بصورة قياسية من 6.4 مليون دولار في عام 1989 الى 334.8 مليون دولار في 2001. هذا فضلاً عن عدم أمكانية تطوير تقنيات ملائمة وبالسرعة المناسبة لمجابهة. هذا التحدي المتمثل في استمرارية دخول أنواع جديدة غازية وتمركزها في بيئات جديدة واحداثها ضررا مضافا للمحاصيل وبالتالي حدوث نقص في الامدادت الغذائية. ان الضرر المحدث من قبل الحشرات الغازية التي تهاجم المحاصيل والغابات والأنظمة البيئية يعد كبيرا جداً، فعلى سبيل المثال يقدر بحدود 40% من الآفات الحشرية والحلم في الولايات المتحدة هي انواعاً غازية، أي لم تكن موجودة اصلاً وتصل خسائرها السنوية بحدود 10000 مليون دولار كأضرار للمحاصيل وكلف مكافحة. وبقدر أهمية الحجر الزراعي عند منافذ دخول البضائع الا انه لابد وان يرافقها وضع استراتجية أدارة مخاطر الآفات المحتملة Risk Analysis Pest عبر اعداد تقارير تحليل مخاطر الافة التي تتضمن تحييد احتمالية دخول الافات الى منطقة معينة، ويشير تقرير تحليل المخاطر لمنظمة وقاية النبات الاوربية والبحر الابيض (16120- 10 في 2012) الى احتمالية دخول ذبابة الفاكهة النوع *Bactrocera invadens* الخطرة جدا الى العراق عن طريق أيران او تركيا. كما تتضمن هذه التقارير الاجراءات الواجب اتخاذها ومنها:

تحديد العوائل الرئيسية والثانوية للافة في البلدان المتمركزة فيها والتأكيد على ضمان دقة وصحة وثائق السلامة والصحة النباتية الصادرة من البلد المصدر واجراءات الحجر الزراعي الوطني فضلا عن تقليص مخاطر الآفة في أماكن تواجدها الأصلية، وهذا يعني في أماكن أنتاج البضائع المستوردة. وتقيلص مخاطر الافة في اماكنها الاصلية يضمن وصول بضائع نظيفة الى منافذ الدخول. أن أحدى آليات تقليص مخاطر آلافه هو أيجاد ما يسمى بالمناطق الخالية من الآفة Areas Free Pest، وبهذه الطريقة يمكن للبلدان المصدرة للبضائع الزارعية تقليص مخاطر انتقال الآفات إلى البلدان المستوردة. وهناك حالتين يمكن من خلالها تطبيق مفهوم المناطق الخالية من الآفة هي:

1- المناطق الجغرافية الواسعة مثل كامل البلد حيث يثبت ويعلن رسمياً خلوه من أفة محددة ويتم ضمان هذه الحالة بصورة رسمية.
2- مناطق انتاج محددة خالية من افة معينة مضمونة رسمياً، وهنا يتم ديمومة الحالة ضمن مدة محددة. ومن اجل تطبيق هذا المفهوم قامت سكرتارية الاتفاقية الدولية لوقاية النبات بتطوير مقاييس دولية لأنشاء وادامة مثل هذه المناطق الخالية من الافات. ومتطلبات تطبيق هذا المفهوم تتضمن برنامج دقيق لمراقبة الآفات والعمل على خفض مستوى سكان الآفة ذات الأهمية من ناحية الحجر الزراعي الى مستويات غير ملموسة، كذلك السيطرة الحازمة على الحقول فضلاً عن حماية المنتوج من الإصابة أثناء التوظيب والنقل الى منفذ التصدير. وبهذه الطريقة تمكنت ولاية فلوريدا مثلا من أعادة تصدير الأعناب المنتجة في بساتين الأعناب الخالية من الافات في 22 بلداً والى اليابان خاصة حيث يقوم مختصون يابانيون بالفحص والاشراف على مجمل العمليات من الإنتاج والتوظيب وحتى النقل. وبحلول عام 1980 نجحت شيلي في القضاء على ذبابة فاكهة البحر الأبيض المتوسط التي دخلت العراق نهاية عام 2006 نتيجة دخول الفاكهة بصورة عشوائية من سوريا ومصر وغيرها من البلدان التي تنتشر فيها هذه الآفة، ومنذ ذلك الحين تستورد الولايات المتحدة كميات ضخمة من الفاكهة المنتجة في تشيلي ومن دون الحاجة الى معاملات الحجر الز ارعي. ويعد خلو بعض الولايات المكسيكية من الأنواع الخطرة من ذباب الفاكهة Fruit flies عبر تطبيق مفهوم المناطق الخالية من الافة فأن تصدير الحمضيات والثمار الحجرية والتفاح والخضر لايخضع لمعاملات خاصة لما بعد الجني. ان عملية خلق

التوازن ما بين انتاج كافي من الإمدادات الغذائية والاحتياجات الأساسية للناس من اجل ديمومة المتطلبات الغذائية ستصبح اكثر صعوبة خلال العقود القادمة. الا ان من حسن الحظ وجود التطور والتحسن الواضح في تقنيات مكافحة الافات التي تستهدف تقليص مستوى اضرار الافات وبالتالي الحفاظ على امدادات غذائية مناسبة. مع ذلك لابد من التاكيد على الدراسات البيئية والحياتية للافات ودور المكافحة الاحيائية والاستعمال الامن للمبيدات ضمن برامج ادارة الافات والزراعة العضوية. ومن المفاهيم الحديثة نسبيا في مجال ادارة الافات ما يسمى بالمكافحة الشاملة Control Area-wide التي تتضمن استعمال وسائل وطرائق تعيق تطور المقاومة ضد المبيدات كذلك توفر المجال الواسع لتطبيق الوسائل والطرائق الامنه بيئياً مثل الطرائق الفيزيائية والتي من ضمنها (تقنية الحشرات العقيمة باستعمال الاشعة المؤينة وتقنية الليزر) والمتطفلات والمفترسات والفيرمونات ومثبطات التزاوج .. الخ، على مستوى كافة مناطق انتشار الافة المستهدفة.

طبيعة مفهوم أدارة الافات الحشرية

بصورة عامة أن أدارة الافة الحشرية تتضمن توليفة عملية لكل الوسائل المناسبة من طرائق المكافحة الممكن استخدامها لحل معضلة محددة وجدت نتيجة لفعل ونشاط الافات. وبذلك يمكن وضع تعريف علمي دقيق لمفهوم أدارة الافات الحشرية Integrated Pest Management (IPM) بأنه ذلك " التحوير التطبيقي لسكان الافة المستند على اساسيات بيئية واضحة بهدف أبقاء هذا السكان تحت المستوى الذي يتسبب عنه ضررا أقتصاديا". ونلاحظ التأكيد على البيئي على " التطبيقي" و "البيئي" فهناك العديد من الطرائق والوسائل للسيطرة على الافات الحشرية ولكن القليل منها تعد ممكنة التطبيق وحتما الاقل منها ذات أسس بيئية سليمة وبما يضمن عدم خلق مشاكل أسوء. تبعا لذلك فأن أدارة الافات الحشرية تتمثل في أستعمال التوليفة الافضل من تقنيات مكافحة الافات وبما يسمح لنا (التعايش) مع الافة وبنفس الوقت عدم احداثها خسائر اقتصادية. نواجه في البحوث العلمية مصطلحا اخر هو المكافحة المتكاملة للافات Insect Pest Control (IPC) الذي غالبا مايستعمل بالتبادل مع مصطلح أدارة الافات الحشرية مع ذلك ومن وجهة نظر محددة فأن هذان المصطلحان غير متطابقين (الربيعي واخرون، 2016).

أن التمييز بين أدارة الافات والمكافحة المتكاملة هو امر حقيقي ولكنه ضيق وخصوصا عندما نقارن مابين الفكرة القديمة "لمكافحة الحشرات" التي تميل الى الاعتماد على أستعمال المبيدات الكيميائية فقط في مكافحة الافات. وببساطة فأن المكافحة المتكاملة تعني تغيير المكافحة الكيميائية بطريقة تؤدي الى حماية الحشرات النافعة وبكلمة اخرى تكامل الطرائق الكيميائية والاحيائية. ولاحقا تم توسيع هذا المفهوم ليشمل كل الطرائق الملائمة الممكن استعمالها ومن ضمنها "الطبيعية و الفيزيائية" وبصورة تكاملية لتقليص سكان الافة وابقائه بمستويات لايتسبب عنها ضررا اقتصاديا. وهذا ماندعوه حاليا بألادارة المتكاملة للافات Integrated Pest Management (IPM) ويمكن أعتماد تعريف خبراء منظمة الغذاء والزراعة الدولية (FAO) عام 1992 والذي يتضمن بأن هذا المفهوم يعني " ذلك النظام الذي يأخذ بنظر الاعتبار البيئة المحيطة وديناميكية سكان الافة عند استعماله كل الطرائق والتقنيات الملائمة وبصورة متوافقة قدر الامكان للابقاء على سكان الافة بمستوى لأوطأ من ذلك الذي يتسبب عنه ضررا أقتصاديا. من ذلك سنتطرق في هذا الكتاب الى احد التقنيات الممكن استخدامها في السيطرة على بعض الافات الحشرية وهي تقنية "تضخيم الضوء بانبعاث الإشعاع المُحفز" الليزر Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER))

مكونات أنظمة الادارة المتكاملة للافات

يمكن تحديد العناصر الاساسية ضمن النظام البيئي الزراعي التي يستند عليها أي نظام فعال لادارة الافات الحشرية بما يلي:

المكافحة الطبيعية Natural Control: يتضمن الاستخدام الواسع للوسائل الكابحة الطبيعية لسكان الافات والتي تشمل أي فعالية حقلية ضمن كامل النظام البيئي بحيث تكون اقل ملائمة لنمو سكان الافة الحشرية وهذا يتطلب فهما عميقا للنظام البيئي المعني.

المكافحة الزراعية Agricultural Control: وهي احدى طرائق المكافحة الرئيسية التي سبقت المكافحة الكيميائية بسنين عديدة. وبالرغم من قدمها واستنادها على أسس بيئية سليمة وثبوت فعاليتها ألا انها على العموم قد تقلص استعمالها خصوصا بعد ظهور المبيدات العضوية المصنعة في منتصف اربعينيات القرن الماضي، وببساطة تعني أستعمال الممارسات الحقلية او

الزراعية المرتبطة بالانتاج الزراعي بهدف جعل البيئة المحيطة أقل ملائمة لمعيشة ونمو وتكاثر الافة مثل تغيير توقيتات الزراعة والحصاد والسماد والحراثة والنظافة والري.

المكافحة الاحيائية Biological Control: المكافحة الاحيائية ربما تكون أقدم طريقة لمكافحة الافات الحشرية وهي عنصر مهم من عناصر المكافحة الطبيعية. ويشار في الوقت الحاضر على انها واحدة من الطرائق المتطورة والمتقدمة للسيطرة على الافات الحشرية واحد الاسباب الرئيسية خلف هذا التطور هو أن تطبيقاتها تبنى على أسس بيئية رصينة وطالما ان هذه الطريقة من المكافحة توظف البيئة ومكوناتها فأنها لابد ان تمثل البؤرة التي تتكامل حولها بقية طرائق المكافحة، ولهذه الطريقة ثلاث انواع من الاسس لعناصر المكافحة الاحيائية: الحفظ والصيانة Conversation، الادخال Introduction، الزيادة أوالتعزيز Augmentation لسكان الاعداء الطبيعية.

المكافحة الكيميائية Chemical Control: وتتضمن استخدام المبيدات الكيميائية في السيطرة على الافات الحشرية وعلى الرغم من التوسع السريع في استخدام المبيدات الكيميائية وفعاليتها المدهشة ومداها الواسع من الافات الحشرية التي كانت مذهلة جدا مما ادى الى استخدامات اوسع وبتكرار اكثر وبصورة عشوائية في اغلب بلدان العالم وخصوصا المتقدم منها حتى ان الرش بالطائرات لمناطق الغابات وتلك المحيطة بالمدن اصبح من الممارسات الشائعة، لكن المخاطر التي شخصت لاحقا والتي منها السمية الحادة والمزمنة Acute and Chronic Toxicity للعديد من مبيدات الحشرات للانسان والحيوانات الداجنة والبرية والنباتات وبزوغ افات ثانوية بعد الاستخدام المكثف للمبيدات وتطوير الافات للمقاومة Resistance أتجاه المبيدات وثبوتية وبقاء Persistence العديد من المبيدات ومتبقياتها Residue في التربة والماء والغذاء وقابليتها على تلوث البيئة، وكاستجابة لهذا التشخيص لمشاكل المبيدات البيئية والصحية فأن معظم الدول والمنظمات الدولية ذات العلاقة (الزراعية FAO والصحة WHO) قاموا بوضع انظمة معقدة لتسجيل المبيدات وانشأوا منظومات رقابية وحددوا متطلبات تنظيمية عديدة يجب الايفاء بها قبل ان يصرح بالسماح باطلاق اي مبيد للاستخدام العام.

الاصناف النباتية الحاملة لصفة المقاومة Host plant Resistant: أن المقاومة النباتية هي نتيجة للتفاعلات مابين النبات والحشرة، وتعزى صفة المقاومة الى طول العلاقة مابين العائل النباتي والافة الحشرية على المستوى الجيني أو يعزى الى التأثيرات الجينية التي تتواجد نتيجة قوى اختيارية ليست ذات علاقة بالحشرة وهي اما مقاومة موروثة، او نسبية وتصنف لعدة مستويات : المناعة Immunity، مقاومة عالية High Resistance، مقاومة منخفظة Low Resistance، الحساسية Susceptibility والحساسية العالية High Susceptibility

المكافحة الاحيائية النظيرة أو الفيزيائية Parabiological Control (Physical): تتضمن طرائق خاصة لمكافحة الافات أقرب للمكافحة الاحيائية فهي تعتمد على الكائنات الحية وخصوصا الحشرات نفسها في مكافحة نفس النوع عبر الوسائل الوراثية (مثل الحشرات العقيمة) وهي اختيارية التاثير ومن دون تأثيرات سلبية على صحة الانسان فضلا عن غيرها من المواصفات التي تجعلها مناضرة للمكافحة الاحيائية، ومن هذه التقنيات: تقنية الحشرات العقيمة The Sterile Insect Technique (SIT) في خفض سكان الافة أو ابادتها Eradication من خلال التحوير الوراثي عبر طرائق القتل الذاتي Autocidal او السيطرة الوراثية Genetic Control وذلك من خلال استعمال الاشعاع المؤين الذي يؤثر على الخلايا الجنسية وتبعا لمرحلتها التطورية فالخلايا المنقسمة تكون اكثر حساسية للاشعاع مقارنة بالخلايا التي في المرحلة النهائية من التطور. وان تعرض الخلايا الجنسية الى الاشعاع المؤين يتسبب عنه طفرات سائدة مميتة، اي طفرات ينتج عنها موت في الافراد الناتجة عن الاباء المشععة

الفصل الثاني

تطبيقات الليزر في الهندسة الزراعية

ماهو الليزر؟

الليزر أو تكثيف الضوء بالانبعاث المحفز للإشعاع (بالإنجليزية: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation اختصاراً (LASER) هو جهاز ينبعث منه الضوء من خلال عملية تضخيم ضوئي تعتمد على الانبعاث المستحث للإشعاع الكهرومغناطيسي. تكون فوتوناته متساوية في التردد ومتطابقة الطور الموجي حيث تتداخل الموجات وقد تعضد بعضها البعض مما يُحدث تقوية للشعاع الضوئي. عملية تداخل الموجات يمكن أن يكون تداخلا بناءً بين موجاتها لتتحول إلى نبضة ضوئية ذات طاقة عالية وشديدة التماسك زمانيا ومكانيا ذات زاوية انفراجها صغيرة جداً ، أو تتداخل الموجات تداخلا غير بناء فيختفي الضوء [Mayer, et al. 2017; Corbalan, 2000; Charles, 2003]. تم بناء أول ليزر في عام 1960 من قبل ثيودورهارولد مايمان في مختبرات أبحاث هيوز، بناءً على العمل النظري الذي قام به تشارلز هارد تاونز وآرثر ليونارد شاولو [www. aps.org, 1958]. بسبب طاقتها العالية وزاوية انفراجها الصغيرة جداً استخدمت أشعة الليزر في عدة مجالات أهمها القياس كقياس المسافات الصغيرة جداً أو الكبيرة جداً بدقة متناهية ويستخدم أيضاً في إنتاج الحرارة لعمليات القطع الصناعي وفي العمليات الجراحية خاصة في العين ويستخدم أيضاً في الأجهزة الإلكترونية لتشغيل الأقراص الضوئية واستخدمت مؤخرا في السيطرة على بعض الافات الحشرية الناقلة للامراض او المسببة لضررا اقتصاديا في المحاصيل الزراعية.

يستخدم الليزر أشعة ضوئية احادية الطول الموجي أي لها نفس طول الموجة وهي تتولد في أنواع معينة من البلورات النقية. ويعمل جهاز الليزر على تسوية طور الموجات الضوئية بحيث تكون جميعها في نفس الطور، فتشتد طاقتها، فيحدث ما يسمى في الفيزياء تداخل بناء للموجات الضوئية. ويمكن تشبيه نبضة شعاع الليزر بالكتيبة العسكرية حيث يتقدم جميع العسكر بخطوات متوافقة منتظمة. وبينما يشع المصباح عادي الضوء في موجات ضوئية مبعثرة غير منتظمة

فلا يكون لها طاقة الليزر، فتكون كالناس في الشارع كل منهم له اتجاه غير الآخر. ولكن باستخدام لبلورات من مواد مناسبة (مثل الياقوت الأحمر) عالية النقاوة يمكن تحفيز إنتاجها لأشعة ضوئية من لون واحد (أي ذو طول موجة واحدة) وكذلك تكون في طور موجي واحد. عندئذ تتطابق الموجات على بعضها البعض - عن طريق انعكاسها عدة مرات بين مرآتين داخل بلورة الليزر فتصبح كالعسكر في الكتيبة - فتنتظم الموجات وتتداخل تداخلا بناء وتخرج من الجهاز بالطاقة الكبيرة المرغوب فيها.

أجزاء جهاز الليزر:

1. مادة توليد الليزر
2. مضخة طاقة لإثارة إلكترونات الوسط الليزري
3. مرآةعاكسة قوية
4. مخرج الأنبوب (مرآة نصف شفافة)
5. خروج شعاع الليزر

يعمل جهاز الليزر على توليد و انعكاس ضوء ذو لون واحد، أي ذو طول موجة واحدة بين المرآة الخلفية وعدسة خروج شعاع الليزر. ويتم ذلك بتحفيز الوسط الليزري على إنتاج ذلك اللون من الضوء، وهي خاصية من خصائص البلورة المختارة أو الوسط الليزري (يمكن أن يكون الوسط غاز معين ، مثل ثاني أكسيد الكربون). وبعد انعكاس أشعة الضوء داخل الوسط عدة مرات وتصل الموجات الضوئية المتجمعة إلى وضع التناسق. عندئذ تتميز الموجات الضوئية بانتظام طورها (خطوتها) وتخرج من العدسة كشعاع ليزر شديد الطاقة.

أنواع الليزر

- ليزر الغاز ثاني أكسيد الكربون Co_2 (Excimer LASER)
- ليزر السائل (Dye Laser)
- ليزر اشباه الموصلات (ليزر شبه الموصلات Diode Laser)
- ليزر الحالة الصلبة (نيوديميوم ياغ Neodymium-YAG LASER)

يعود الاستخدام الأولي لليزر في العلوم الزراعية إلى أكثر من 50 عامًا عندما كان وايلد وآخرون. (1969) و Paleg و (1970) Aspinall أبلغا عن التأثيرات المحتملة لضوء الليزر في تحسين نمو النبات وتطوره باستخدام ليزر الياقوت و He-Ne ، على التوالي. منذ ذلك الحين، استكشف العديد من الباحثين استخدام تقنية الليزر في الزراعة. عادةً ما يحدث امتصاص الضوء في النباتات من خلال مكونات المستقبلات الضوئية مثل phytochromes و cryptochromes و phototropins وما إلى ذلك. تمتص عناصر المستقبلات الضوئية هذا الضوء بشكل أساسي في نطاق 600-750 و 500-630 و 320-500 نانومتر على التوالي . إذا تطابق طيف ضوء الليزر الساقط مع الأطوال الموجية المرغوبة للمستقبلات الضوئية، يحدث امتصاص للضوء ويمكن أن يؤدي تحويل الطاقة الضوئية الممتصة إلى طاقة كيميائية إلى بدء عمليات فسيولوجية وكيميائية حيوية (تُعرف أيضًا باسم التحفيز الحيوي) داخل البذور مما يعزز الإنبات ويحسن المقاومة ضد عوامل الإجهاد المختلفة.

تشير الدراسات السابقة ذات الصلة إلى أن ليزر He-Ne كان مصدر الإشعاع الأكثر استخدامًا في دراسات التحفيز الحيوي هذه. علاوة على ذلك، تسمح مصادر الليزر بدراسة التفاعل بين الضوء أحادي اللون والبنية الجزيئية للنباتات من خلال تقنيات التحليل الطيفي المختلفة مثل LIF و Raman الطيفي. في التحليل الطيفي LIF ، تمتص جزيئات النبات ضوء الليزر عادةً في الأشعة فوق البنفسجية (UV) أو النطاق المرئي (مثل 355 ، 532 ، 630 نانومتر ، إلخ) ، ثم تبعث ضوءًا تلقائيًا بطول موجي أطول (بشكل رئيسي ~ 440 ، 520 ، 690 ، و 740 نانومتر) (Boshman وآخرون ، 2000). توفر أطياف التألق المنبعثة وسيلة لتقييم الخصائص الفسيولوجية والكيميائية للنباتات. في التحليل الطيفي لرامان ، تؤثر فوتونات الليزر على الخلايا المكونة للنبات مما يؤثر على اهتزازاتها الجزيئية أو دورانها وتغيير جزيئات الاستقطاب.

تطبيقات الليزر في الهندسة الزراعية ، الهمشري (2020)

- الروبوتات الزراعية
- توجيه ومحاذاة الجرارات والماكينات ذاتية القدرة
- تحسس مقاربة الروبوتات الزراعية

- ❖ توجيه حركة روبوتات الغابات (شكل.2-1)
- ❖ إنشاء خرائط البساتين
- ❖ إستشعار الصور ثلاثية الأبعاد
- ❖ إنشاء خرائط التضاريس
- ❖ تحسس حراثة التربة
- ❖ رصد طبوغرافيا التربة
- ❖ دراسة إستواء سطح التربة
- ❖ تحليل العناصر الكيميائية الثقيلة في أوراق النباتات
- ❖ الإشعاع المستحث بالليزر
- ❖ التسميد النيتروجيني عن طريق تحسس صفات المحصول اثناء النمو
- ❖ رصد خصائص وصفات النبات
- ❖ تحسس صفات المحصول اثناء النمو
- ❖ تحسس الحشائش في الحقول
- ❖ تمييز الحشائش في الحقول بإستخدام تقنية LiDAR
- ❖ التوصيف الإلكتروني لمراحل نمو أشجار الأعناب
- ❖ تحسس حصاد المحاصيل الدرنية
- ❖ حصاد التفاح الروبوتي "روبوت التفاح"
- ❖ تحليل مكونات وخصائص المنتجات الزراعية
- ❖ فرز المنتجات الزراعية عن طريق اللون
- ❖ تطبيقات متنوعة في مجال التصنيع الزراعي
- ❖ أنظمة الحلب الأتوماتيكية "روبوت الحلب"
- ❖ قياس جودة الزيوت في المصانع الغذائية
- ❖ رصد خصائص جزيئات المساحيق الغذائية
- ❖ تسوية الارض بالليزر
- ❖ المكافحة والسيطرة على الافات الحشرية

- تعقب الافات الحشرية
- دراسات فسيولوجية في الحشرات (شكل 2-2 و 2- 3)
- مكافحة الادغال والاعشاب في الحقول الزراعية

شكل 2- 1. جرار زراعي ذاتي التوجيه بالليزر

شكل 2- 2. مسدس ليزر الحشرات Insect Salt Gun Laser

شكل 2-3. اليعسوب بشعاع الليزر، حشرة خيالية للوحة الدوائر الكهربائية

مع تطور أساليب الزراعة والري، لجأ قطاع تحسين الأراضي للتوسع في تسوية التربة من خلال الليزر بشكل دقيق، باستخدام جرارات زراعية عالية القدرة، وموجهة بأشعة الليزر لتطهير الانهر والسواقي. إنّ تسوية الأرض بالليزر تزيد كفاءة استخدام الالة الزراعية والعمليات الزراعية المختلفة، كما ان أكثر الآلات شيوعا تتوقف دقتها على خبرة السائق واعتماده على الرؤية الصحيحة للحقل. أنّ التسوية قد تكون مكلفة، لكنها من أرخص عمليات المكننة الزراعية على المدى الطويل، بسبب استمرار الحقل في الاستواء بمتوسط 4 سنوات، لا يحتاج فيهما لتسوية أخرى، لافتة إلى أنّ التسوية عن طريق الليزر تقي المزارع من الوقوع في فخ الأماكن المنخفضة والمرتفعة، التي تؤثر على إنبات بذور النباتات، وتؤثر بالتالي على المحاصيل، بخلاف زيادة الإنتاج بما يوازي 50% من معدل الإنتاج الطبيعي. أنّ التسوية بالليزر لها فوائد جمة، بينها توفير 5/1 استهلاك الماء وإنتاج أعلى بنسبة 5/1 من المعدل الطبيعي، وزيادة

معدلات الإنبات لانتظام وصول الماء إلى البذور كلها، وانتظام نمو المحصول نتيجة وصول الماء المنتظم وبكميات محددة في الوقت ذاته، واستهلاك أقل في كمية ماء الري بنسبة 15%. اما في مجال تحسين الاصناف النباتية فيمكن توظيف الليزر في انتخاب أصناف ذات حساسية إشعاعية مما يسهل الحصول على طفرات متميزة من خلال مزارع الأنسجة باستخدام أشعة الليزر. أن شعاع الليزر يمكن أن يؤثر على العديد من الوظائف النباتية مثل تنشيط أو تثبيط أو تدمير الاحماض النووية بواسطة الفوتونات الضوئية الخارجة من شعاع الليزر Acid Nucleic of Destruction Photo. وقد يحدث ضرر في النظام الايضي أو الحيوي System Metabolic بأحداث تدمير لهرمون Auxin داخل النبات بالامتصاص المباشر للاشعة، وقد يحدث زيادة في تخليق مركبات معينة مثل تخليق البروتين عند التعرض للاشعة الحمراء وقد أو تحفيز مركبات معينة نتيجة لتحرير الاشعاع للجبريلين من بعض الروابط. ويمكن استخدام اشعة الليزر في الجوانب الاتية:

1. عملية تعقيم داخل مختبرات زراعة االنسجة.
2. عملية التجذير للعقل الـRooting .
3. في دفع النبات للنمو والتزهير المبكر.
4. في الحصول على جودة عالية من النمو والتزهير.
5. في دفع البذور للانبات السريع والخروج من طور الراحة.
6. في النقل الجيني Finger printing

بين أل خليفة والمير (2015) ان تعرض النموات الخضرية لنخيل التمر المكثر نسيجيا لاشعة الليزر على مسافات مختلفة وفترات زمنية مختلفة اظهرت التاثيرات التالية: زيادة عدد البراعم الجانبية المتكونه عند المعاملة على مسافة 2 سم ولمدة تعريض 32 ثانية اذ اعطت 33.2 برعم. كما تبين ان تعريض الاجزاء النباتية لاشعة الليزر ادى الى خفض محتواها من المركبات الفينولية كما ادى تعريض النموات الخضرية لاشعة الليزر الى رفع محتوى النموات الخضرية من المواد الكاربوهيدراتية والبروتين الكلي. كما ادت نفس المعاملة الى رفع محتوى الاجزاء النباتية من البروتين الكلي والى زيادة محتوى الاجزاء النباتية من الكلوروفيل الكلي. إن استخدام أشعة الليزر، قد حقق نجاحاً في تحسين التقانات الزارعية المختلفة وان أوسع تطبيقات الليزر

الزراعية استخدامها في معالجة البذور للحصول على مواصفات إنتاجية ونوعية أفضل وأنه بالامكان استخدام أشعة الليزر في متابعة نمو النبتة وتقويتها وزيادة إنتاجها وزيادة مقاومتها للامراض والحشرات.

الفصل الثالث

الاستراتيجية العالمية لمكافحة الآفات Global strategy against pests

لكي تكون حلاً موثوقًا به، يجب أن تستوفي طريقة المكافحة المعتمدة على الليزر عدة معايير.

أولاً: يجب أن يكون إشعاع الليزر فعالاً لقتل الحشرة المستهدفة فيجب تقييم ذلك. أثبت استخدام إشعاع ليزر ثاني أكسيد الكربون فعاليته. الآلية الأساسية، التي تعتمد على تسخين الماء الموجود في الخلايا، هي آلية عامة. في الواقع، وجدت الأبحاث السابقة أن قيمة LD90 للبعوض تبلغ حوالي 1 J سم وبالتالي فهي قريبة جدًا من استخدام نفس الطول الموجي. يعد استهداف مياه الخلايا أقوى من استهداف أصباغ الحشرات.

ثانياً: يجب أن يكون تدمير الآفات بالليزر موفراً للطاقة. من أجل تقدير الطاقة الفعلية التي يوفرها الليزر أثناء العمل، في احد التجارب اخذ في الاعتبار متوسط مساحة حقل بنجر السكر الفرنسي الذي يبلغ 17.6 هكتارًا في صفوف كل 50 سم ونبات كل 25 سم يمثل 13.6 مليون نبات لكل حقل. علاوة على ذلك، نفترض أن الاكتشاف المبكر لحشرة المن يسمح بمعالجة 5% فقط من النباتات مع قتل مائة من حشرة المن في كل نبات. واستنادًا إلى قيم LD90 المذكورة أعلاه، فإن هذا يعطي طاقة إجمالية تصل إلى 200 واط في الساعة لكل حقل. ومن الواضح أن هذا جزء صغير من تقدير تكلفة الطاقة. في الواقع، يستهلك الليزر 200 واط أثناء التصوير و150 واط في وضع الاستعداد. إذا سمح الاكتشاف المبكر كما هو مفترض بمعالجة جزء صغير من الحقل، فسيكون الليزر في وضع الاستعداد معظم الوقت. وبالتالي، فإن الطاقة المستخدمة ستعتمد في النهاية على سرعة ناقل الحركة المختار. وهذه النقطة خارجة عن النطاق ومع ذلك، فقد تمت معالجتها من قبل شركة GreenShield Technology الناشئة، وتم التحقيق فيها مؤخرًا من قبل اتحاد المختبرات الأكاديمية والصناعية في إطار مشروع الاتحاد الأوروبي WeLASER31. أن الإستراتيجية التي تجمع بين طريقة الكشف المبكر الحساسة وتقنية التدمير اللاحقة المعتمدة على الليزر يمكن أن تكون مستدامة اقتصاديًا وطاقيًا.

ثالثا: يجب أن تكون الاستراتيجية مستدامة بيئيا. يجب أن تكون قوية. يجب علينا بالتالي التأكد من أن إشعاع الليزر الذي يضرب النبات المضيف، وليس حشرة المن، لا يؤدي إلى إتلاف النبات بحيث يهدد حياته أو نموه. ولهذا الغرض، تم تصوير العديد من نباتات الفول *Vicia faba* و*Triticum aestivum* التي تمثل النباتات المضيفة لحشرة المن، وذلك باستخدام قيم LD90 (الجرعة التي تقتل 90% من حيوانات التجربة) لكل من أنواع حشرة المن في مراحل مختلفة (الحوريات أو بالغات) وألايام (D + 1 أو D + 7).

ومع ذلك، بما أن ليزر ثاني أكسيد الكربون يعمل على الماء الموجود في الخلايا، فمن المحتمل أن تكون المؤثرات المستخدمة ضارة لمجتمع الحشرات غير المستهدفة (مثل الحيوانات المفترسة للمن على سبيل المثال). لتجنب تأثير الأضرار الجانبية هذه، يجب أن يكون التحديد الفائق الطيفي للحشرات الموجودة في الحقول دقيقًا قدر الإمكان، قبل العلاج بالليزر.

عند تحليل قيم LD90 لثلاثة أنواع من المن باستخدام الليزر المرئي والأشعة تحت الحمراء. أثبت ليزر CO2 IR، الذي يؤدي إلى أدنى مستوى من LD90، أنه الأكثر ملائمة. حيث ان آلية تفاعلها مع المادة الحية تجعلها تتكيف أيضًا مع جميع الآفات. يمكن الحصول على الحد الأدنى من LD90 أولاً عن طريق تشعيع الحوريات بدلاً من البالغات وثانيًا من خلال تحديد تاريخ مميت بعد سبعة أيام من التشعيع بدلاً من يوم واحد. ومع ذلك، فإن الليزر فعال فقط على حشرات المن المشعة مباشرة وليس على النسل الصادر من الجيل المشع. ومن ذلك يعد الليزر حلاً فعالاً ضد تكاثر حشرة المن، خاصة عندما يقترن بالعلاج المبكر لهذه الحشرة. وقد بينت الدراسات أن تأثير الليزر على النباتات المضيفة في حالة الكشف الإيجابي الكاذب لا يكاد يذكر. وبالتالي، يمكن اعتبار الإستراتيجية العالمية القائمة على تدمير الآفات بالليزر سليمة.

تطبيقات الليزر في السيطرة على حشرات المن

تسبب حشرة المن ضررا مباشر أو غير مباشر في النباتات عن طريق التغذية ونشر الأمراض، مما يؤدي إلى خسائر اقتصادية فادحة. وحتى الآن، فإن استخدام المبيدات الحشرية فقط هو الذي يمكن أن يخفف من ضررها، مما يسبب مشاكل صحية وبيئية خطيرة. لذلك، يجب تشجيع الحلول المبتكرة والصديقة للبيئة ومنخفضة التكلفة. أنجزت دراسة حول استخدام إشعاع الليزر كحل موثوق للسيطرة على حشرات المن. فاجري تحليل الجرعة المميتة اللازمة لقتل 90% من سكان نوعين رئيسيين من حشرات المن (*Acyrthosiphon pisum* و*Rhopalosiphum Padi*). وتبين أن تشعيع الحشرات في مرحلة مبكرة (حورية عمرها يوم واحد) أمر بالغ الأهمية لخفض الجرعة المميتة دون التأثير على نمو النبات وصحته. يعتبر الليزر قاتلاً في الغالب، لكنه قد يتسبب أيضًا في تقزم الحشرات وتقليل خصوبة الناجين من الموت. ومع ذلك، لم نلاحظ أي تأثير واضح ملحوظ على نسل الجيل المشعع الباقي. تُظهر تكلفة الطاقة المقدرة والتأثير غير الضار لإشعاع الليزر على النباتات المضيفة أن هذه الإستراتيجية القائمة على الفيزياء يمكن أن تكون بديلاً واعداً للمبيدات الحشرية الكيميائية (Gaetani, et al. 2021).

أجريت عدد قليل من الدراسات الرائدة في مكافحة الحشرات الصغيرة، مثل الصراصير والبعوض وذباب الفاكهة والخنافس الأرضية، باستخدام أنظمة الليزر من الأشعة فوق البنفسجية إلى IR24،25،26،27،28 فاشارت الى امكانية استخدام الليزر أن ينتج شعاعًا عالي الطاقة طويل المدى. ولذلك فهي مناسبة مع ظروف التشغيل في الهواء الطلق. من المعروف أن ضوء الأشعة فوق البنفسجية يسبب تلف الحمض النووي عند الإشعاعات العالية. ومع ذلك، فإن مثل هذه الطريقة ليست مناسبة لاستبدال المبيدات الحشرية لأنها تتطلب وقتا طويلا قبل أن يتطور تلف الحمض النووي مما يؤدي إلى تأثير مميت عالمي على عدد كبير من سكان الافة. علاوة على ذلك، فإن إثارة طفرات في الحمض النووي لمجموعات الحشرات ليس أمرًا ضارًا على المدى الطويل لأنه يمكن أن يؤدي إلى أنواع معدلة وراثيًا ومتكيفة. في المقابل، تبين أن استخدام ضوء

الليزر الأخضر النبضي (~ 25 مللي ثانية) (الطول الموجي 532 نانومتر) أو ليزر CO2 IR (الطول الموجي 10.6 ميكرومتر) فعال في قتل البعوض (*Anopheles stephensi*) بجرعات طاقة معتدلة (حوالي 1 J سم -2)25 (Keller, et ai.2016l).

أستخدم Gaetani, et al. (2021) إشعاع الليزر لمكافحة الحشرات كجزء من برنامج عالمي يتضمن خطوة أولية للكشف عن الآفات الحشرية على وجه التحديد من خلال ملامحها الطيفية. لقد تم اقتراح هذه الإستراتيجية وحصلت على براءة اختراع ، وهي تجتذب الاهتمام على المستوى الأوروبي (Rakhmatulin & Andreasen, 2020) https://cordis.europa.eu/project/id/101000256. ولكي تكون هذه الاستراتيجية مستدامة بيئيا، يجب استيفاء معيارين: أولاً، يجب أن تمتص الآفات إشعاع الليزر المختار بكفاءة، مما يؤدي إلى تأثير مميت عند الحد الأدنى من الطاقة المتوفرة. ثانيًا، يجب أن يتم وصول الطاقة خلال نطاق زمني قصير (< 100 مللي ثانية) بحيث يمكن معالجة جزء كبير من حقل المحاصيل في وقت معقول (يوم واحد).

أستعمل Gaetani, et al. (2021) ثلاثة إشعاعات ليزر متميزة: عند 532 نانومتر، 1070 نانومتر و10.6 ميكرومتر. بهدف التحقق من كفاءة آليتين متميزتين، وهما الامتصاص بواسطة أصباغ الهيكل الخارجي للحشرة وبواسطة ماء الخلية، على التوالي. الآلية الأولى تعتمد على الأنواع بينما الثانية ليست كذلك. كان الهدف هو تحديد الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لقتل 90% من مجموعة الآفات في أقل وقت ممكن. تم اختيار حشرة المن كآفات حشرية لأنها الأكثر انتشارًا وتشكل تهديدًا خطيرًا للزراعة. وبصرف النظر عن كونها ضارة للغاية بشكل مباشر وغير مباشر بالمحاصيل عن طريق التغذية ونشر الأمراض، فإن حشرة المن هي أيضًا نظام نموذجي يمثل الآفات الحشرية الأخرى الماصة للنسغ، بما في ذلك نطاطات الأوراق والبق الدقيقي والذباب الأبيض. استخدم ثلاثة ثلاثة انواع من المن: من البازلاء الاخضر *Acyrthosiphon pisum*، من البازلاء الوردي، *Acyrthosiphon pisum* ومن الشوفان *Rhopalosiphum Padi*. تم اختبار الليزر على الحشرات بألوان مختلفة (ويفترض أن لها خصائص مختلفة للهيكل الخارجي) وبأحجام مختلفة. دورات حياتها معقدة للغاية ومتناوبة في الحقل، التكاثر العذري الجنسي والعذري، ولكن يمكن تربيتها جميعًا في ظل التوالد

العذري الإلزامي في ظروف المختبر. لكي تكون فعالة وأقل استهلاكًا للطاقة، فإن أي استراتيجية إبادة تتطلب معالجة النباتات في أقرب وقت ممكن وعلى وجه التحديد في مرحلة تطور حشرة المن المبكرة قبل أن تبدأ في التكاثر بشكل جنسي. ومن الواضح، كما ذكرنا من قبل، أنه يجب استغلال نظام الكشف الذي يحدد وجود الآفات في حقول المحاصيل في أسرع وقت ممكن قبل توزيع المعالجة القاتلة الانتقائية.

يعتبر كل من الليزر الأخضر وثاني أكسيد الكربون فعالين في قتل أنواع المن الثلاثة، حيث يتراوح LD90 من 1 إلى أكثر من 50 J cm−2. ومع ذلك، فإن ليزر ثاني أكسيد الكربون يقلل من قيمة LD90 لنوعين من حشرات المن بحوالي 75% لـ *A. pisum* LL01 و*A. pisum* YR2، في حين أنه يكافئ تقريبًا لمن الشوفان *R. padi* مع كلا الليزرين (تخفيض بنسبة 21%) فقط. بالإضافة إلى ذلك، من خلال اختيار طول موجي واحد، لاحظنا أن *A. pisum* LL01 و*A. pisum YR2* يظهران سلوكًا مشابهًا، بينما يظل المن *R. padi* الأكثر حساسية للإشعاع، حيث يُظهر أقل قيمة LD90. في حين أن كلاً من *A. pisum* LL01 وYR2 لديهما المتكافل الإلزامي للمن *Buchnera aphidicola* الذي يشارك في تغذيتهما، فإن YR2 فقط لديه متكافل ثانوي Regiella الذي يمكن أن يوفر للمضيف مقاومة أكبر للضغوط الحيوية وغير الحيوية (درجة الحرارة، هجوم الطفيليات، إلخ)(Luo, et al. 2020). كما وضحت الدراسات وجود اختلاف بين حشرات المن في درجة حساسيتها لاشعة اليزر. علاوة على ذلك، فإن الطول الموجي 1070 نانومتر غير فعال في قتل حشرات المن، مما يتطلب جرعات مميتة أعلى بأربعة مرات من الطولين الموجيين الآخرين .

أن الأضرار الناجمة عن الليزر ترجع إلى خصائص الامتصاص البصري. وهذا يعني أن معامل الامتصاص الأفضل يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الجسم. وبالتالي فإن التأثير الأساسي للوفاة سيكون زيادة سريعة في درجة حرارة الجسم. بالنظر إلى أن الماء الموجود في الخلايا هو السبب الرئيسي لامتصاص الليزر، يمكننا القول أن هذا غير فعال عند 532 نانومتر، وفعال إلى حد ما عند 1070 نانومتر، وفعال جدًا عند 10.6 ميكرومتر. معامل الامتصاص هو قليل 3 - 10 سم عند 532 نانومتر، و10 سم عند 1070 نانومتر و1000 سم عند 10.6 ميكرومتر. بالنظر إلى المن بسمك 1 مم (الحجم النموذجي لعينة المن *R. Padi*)، يتم امتصاص أقل بكثير من 1٪

من إشعاع الليزر 532 نانومتر الذي يدخل إلى المن بواسطة الخلايا. ومع ذلك، فإن هذا يصل إلى 60% و100% عند 1070 نانومتر و10.6 ميكرومتر، على التوالي. علاوة على ذلك، في الحالة الأخيرة، يتم امتصاص الإشعاع على عمق نموذجي يبلغ 50 ميكرومتر. لا تأخذ هذه التقديرات في الاعتبار الانعكاس المختلف لكل طول موجي بسبب الهيكل الخارجي. ومع ذلك، فإنها تفسر جزئيًا سبب كون الإشعاع البالغ 10.6 ميكرومتر هو الأكثر كفاءة.

إذا كان الامتصاص بواسطة الماء هو على الأرجح السبب المميت عند 10.6 ميكرومتر، فمن الواضح أن الأمر ليس كذلك عند 532 نانومتر و1070 نانومتر. في كلا الطولين الموجيين، يكون الامتصاص بواسطة أصباغ المن هو الآلية الأكثر احتمالا. علاوة على ذلك، إذا أخذنا في الاعتبار انعكاس YR2 و LL01 A. نلاحظ أن الانعكاس عند 532 نانومتر يبلغ حوالي 0.35 أو 0.4 لحشرات المن، اعتمادًا على لونها. بالنسبة للأطوال الموجية التي تزيد عن 1000 نانومتر، يكون الانعكاس أكبر بمرتين (حوالي 0.75). وهذا يعني أن نصف الطاقة الواردة فقط متاحة للامتصاص من الاصباغ عند 1070 نانومتر مقارنة بـ 532 نانومتر. وهذا يتفق نوعيًا مع عدم كفاءة الليزر 1070 نانومتر الملحوظ في تدمير حشرات المن.

يمكن أن نتسائل، عما إذا كانت الجرعة غير المميتة يمكن أن تؤثر على فسيولوجيا حشرات المن وتؤثر على خصوبتها ومعدل زيادتها السكانية، حتى في الحالة التي يمكن فيها لحشرات المن المشعة أن تتكاثر وتلد حوريات من الجيل الاول (F1)، فإن تشعيع الليزر يمكن أن يؤثر أيضًا على هذا الجيل F1. ولتحقيق هذه الغاية، فحصت المعلمات البيولوجية التي تشير إلى الحالة الصحية لحشرات المن على أجيال حشرات المن (جيل الاباء) F0 و (الجيل الاول، الابناء) F1 (المولودين في اليوم الأول والخامس والعاشر والخامس عشر خلال مرحلة التكاثر F0) وعلى ذريتهم. لو أن 50% من سكان N1 الذين نجوا من الجرعة المختارة يمكن أن يتأثروا بطريقة قد تؤدي إلى ضعف نموهم وانخفاض نسلهم، فقد لوحظ أنه عند تعريض أفراد N1 للإشعاع عند هذا التأثر، لا يزال بإمكانهم توليد الحوريات عن طريق التوالد العذري. أظهرت حوريات F0 فقط التي تلقت الاشعاع معدل وفيات كبير بينما لم يظهر ذريتها F1 أي وفيات. اما في اليوم السابع من التطور (نهاية تطور الحورية)، لوحظ انخفاض كبير في وزن العينة المشعة (F0 L). ومع ذلك، لم يُظهر نسلهم F1 أي فرق مع مجموعة المقارنة التي لم تشعع،

مما يدل على أن تأثر 0.76 J cm−2 لا يؤثر على وزن النسل. يأتي انخفاض الوزن على حشرات المن F0 المشعة مع تأخر في النمو. في حين أن جميع أفراد الجيل الأول غير المشعة (F0 كعنصر مقارنة) تصل إلى مرحلة البلوغ، فإن 63٪ فقط في مجموعة الجيل الأول المشعة (F0 L بالليزر)، ويبقى الباقي في نهاية فترة الحورية. تطور الحوريات F1 L لا يختلف عن مجموعة المقارنة، باستثناء الحوريات وبعض الحوريات من الممكن أن يكون لديها نسل من حشرات المن الام F0 المشعة او تأخير طفيف في النمو. وحتى لو كان المن F0 المشع لا يزال بإمكانه التكاثر، فإن خصوبتها تتأثر أيضًا. ويتأثر فقط افراد المن المشعة (F0 L) بانخفاض طفيف في الخصوبة ومعدل الزيادة الجوهري (rm). إن انخفاض الخصوبة هذا مستقل عن التقزم الذي تمت الاشارة اليه سابقًا نظرًا لأن جميع حشرات المن F0 التي تم اختيارها لوضع الجيل الاول F1 كانت بشكل كبير. ومع ذلك، كانت بالغات F0 أصغر من البالغات في معاملة المقارنة (انخفاض الوزن بنسبة 30٪)، مما قد يؤثر على إنتاجها للأجنة. إن الخصوبة المتراكمة للمجتمع المشع (F0 L) بعد خمسة عشر يومًا أقل بنسبة 11٪ من المقارنة (F0 C) ومعدل الزيادة الجوهري هو 0.327 مقارنة بـ 0.348 في المقارنة. من ذلك، يمكننا أن نفترض أن العلاج بالليزر يؤثر فقط على مجموعات المن المشعة وليس على الأجيال القادمة. في الواقع، لا يظهر نسلها إلا تأخيرًا طفيفًا في الوصول إلى مرحلة النضج ولا يتعرض بقاؤهم للخطر.

تطبيقات ليزر NIR في مكافحة حشرات الذباب الابيض والمن:

قام Marx, et al. (2013) بتحليل الخصائص الطيفية لحشرات المن والذباب الأبيض من أجل فحص مدى ملائمة أنظمة الليزر NIR عالية الطاقة للاستخدام المميت في قتل الآفات مع الحفاظ على النباتات المضيفة في أوقات التشعيع القصيرة دون تأثر. فقام باختبار تاثير الليزر في نباتات الملفوف (الكرنب) *Brevicoryne Brassicae*، والقمح الشائع *Triticum aestivum* L، والفاصوليا الشائعة *Phaseolus vulgaris* المزروعة تحت ظروف الزراعة المحمية في البيت البلاستيكي والمصابة بنوعين من حشرات المن (من الباقلاء *Aphis fabae* ومن الحبوب *Sitobion avenae* وذبابة الملفوف البيضاء *Aleyrodes proletella*.

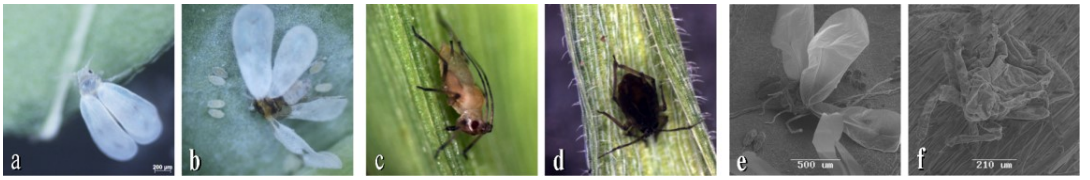
من أجل تحديد أطوال موجات الليزر الأكثر كفاءة، استخدمت أطياف الانعكاس Reflectance spectra للافات وكذلك اوراق النبات وذلك باستخدام مطياف مزود بجهاز دمج المجال (Lambda 900, PerkinElmer IncL) تجاوز حجم الورقة الفتحة ($8x15\ mm^2$) وحسب معدل اطياف الانعكاس للافات الثلاثة. وضعت الآفات الموجودة على الجانب السفلي من الأوراق في وسط منطقة العمل الماسح الضوئي بالليزر وشعت مساحة قدرها 50 مم2 بخط أحادي الاتجاه Unidirectional line-by-line Scaning بأربعة أنظمة ليزر مختلفة اختبرت كل منها عند 5 KHz pulse-width modulation mode من أجل تحقيق أفضل حالات الاختبار، تم تشغيل كل نظام ليزر بشكل فردي مع الأخذ في الاعتبار قطر البقعة Spot diameter وسرعة الشعاع الموجه Speed of the guided beam و شدة شعاع الليزر laser beam intensities (جدول 1). ركزت سلسلة الاختبارات على تحديد قوى الليزر الفعالة لإلحاق أضرار قاتلة بالآفات في أقطار بقعة معينة وأوقات تشعيع معقولة وكذلك على تأثير قطر بقعة الليزر وزمن التشعيع عند ثابت كثافات طاقة الليزر Constant laser energy densities.

جدول 1. مواصفات انظمة الليزر المستخدمة في تشعيع الافات وانواع النباتات

Energy density J mm^{-2}	Feed rate\ $mm\ s^{-1}$	Max. output w	Used spot e mm	Focus e µm	Wavelenght nm	Laser type
3.55-12.00	20-30	100	0.25-0.39	250	1064	Sold state laser (Nd YAG)
0.09-0.16	50	50	1.20	25	1908	Fiber laser (Tm)
0.05-0.20	5-15	50	2.25-3.50	250	10600	Gas laser (Co_2)

التقط تاثير كل ليزر باستخدام كاميرا مجهرية (DigiMicro 2.0 Scale، DNT بالإضافة مجهر ستيريو (Stemi 2000-C، Carl Zeiss GmbH، واثنين من أجهزة SEM (Series 2 CamScan، Quanta 400 F و FEI Comp، و تم تصنيف الصور قبل وبعد

التشعيع بالليزر باستخدام أربعة مستويات من الجودة وفقا لمدى الأضرار الظاهرة. أدى تشعيع الليزر إلى تشوه الآفات بشكل رئيسي بسبب فقدانها الهيموليمف وتقزم الارجل وكذلك التاثير في منطقة الراس حيث تغير اللون إلى اللون البني الغامق ويوضح (الشكل 3-1) الذباب الابيض وحشرات المن اسطحا خشنة بسبب تلف الانسجة.



شكل 3- 1. تأثير اشعة الليزر في ذبابة الملفوف البيضاء (*Aleyrodes proletella*) ومن الحبوب (*Sitobion avenae*) . a, c غير معرضة لاشعة الليزر، b,d معرضة لاشعة الليزر (اضرار قاتلة).

بالنسبة لأطياف الآفات، كانت اقل من اطياف اوراق النباتات خاصة في نطاق 720 إلى 800 سيكون تحديد المواقع مناسبًا للتشعيع الانتقائي للآفات الفردية وأن إشعاع الليزر عند 1064 نانومتر أدى إلى تلف الآفات قبل ظهور أوراق النبات لأن الامتصاص الكلي كان منخفضًا ستكون هناك حاجة لأي ضرر مميت للآفات. إشعاع الليزر عند 1908 نانومتر أو 10600 نانومتركانت لها قيم انعكاس أقل بسبب الامتصاص العالي للماء، وان زمن التعريض لم يكن له تأثير على تلف الأوراق بل كان له تأثيراً كبيراً على الآفات (كلما كان الضرر أسرع كلما كان الضرر أقل). لذلك تتيح أنظمة الليزر NIR/MIR عالية الطاقة علاجات انتقائية وسريعة. لذلك بينت التحليلات الطيفية، ان استخدام أشعة ليزر NIR ذات طول موجي يتراوح بين 720 و800 نانومتر كانت أكثر ملائمة لإلحاق أضرار قاتلة بالآفات ذات الأجسام الرخوة مثل المن والذباب الابيض وان أشعة الليزر عند 1908 نانومتر و10600 نانومتر تتطلب طاقة أقل بسبب امتصاص أعلى لأجسام الحشرات. أن الجرعات الفعالة من الليزر تعتمد على نوع الآفة و مرحلة تطورها أيضًا.

تقنية الليزر في مكافحة الذباب الأبيض:

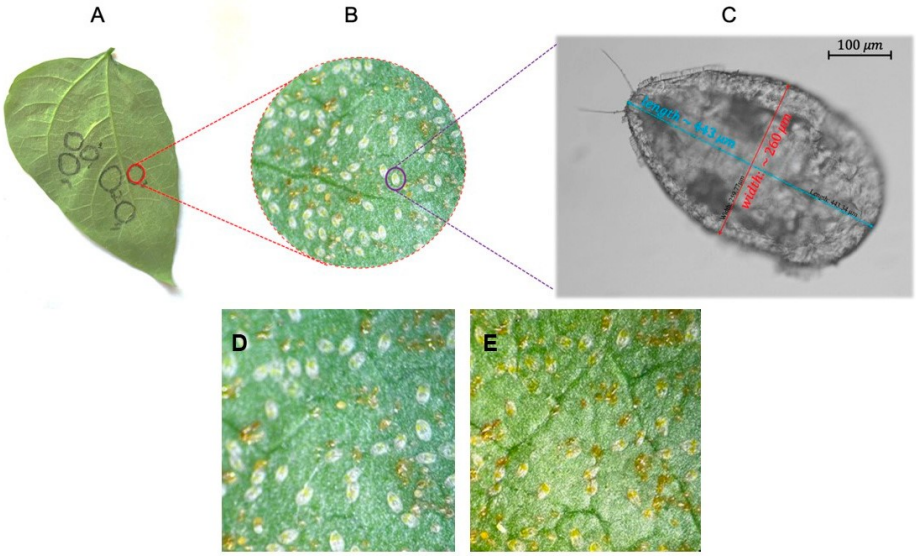
التطورات الحديثة في الطرائق الفيزيائية لمكافحة الحشرات وذلك باستخدام الكهرومغناطيسية طبقت على العديد من أنواع الحشرات، بما في ذلك النمل خنافس، الحبوب المخزنة، المن،

صانعات الانفاق، الحلم و العنكبوت، البعوض، والذباب الأبيض، استخدم فيها أنظمة ليزر مختلفة تتراوح من VIS إلى IR (الأشعة تحت الحمراء)، باستخدام كل من الحزم المستمرة والنبضية. وقد جذبت هذه الأعمال انتباه الباحثين، والتي كانت منخفضة التكلفة. كما استخدمت أنظمة ليزر مدمجة ذات انبعاث طول موجي عند 405 نانومتر و445 نانومتر، حيث تعتبر عوامل البعد المنخفض والتكلفة المنخفضة أمرًا بالغ الأهمية لهذه الانظمة في مكافحة الحشرات، والتي تعد طريقة بديلة عملية محتملة للعمليات الكيميائية والبيولوجية لمكافحة الآفات. يعد مصدر الليزر منخفض التكلفة مؤشرا ممتازا على أن هذا النظام يمكن أن يصبح في المستقبل القريب بديل لمنتجي المزارع الصغيرة والمتوسطة للحصول على تقنية فوتونية متاحة ومتوافقة حيويا.

مكافحة ذبابة التبغ البيضاء *Bemisia tabaci*

تعتبر ذبابة التبغ البيضاء *Bemisia tabaci* من أهم الآفات الزراعية في العالم وواحدة من أكثر 10 آفات حشرية غزوًا في العالم. ترتبط الذبابة البيضاء *B. tabaci* بشدة مع فقدان المحصول وجودته، ويرجع ذلك أساسًا إلى كونها ناقلا للفيروسات النباتية، كما هو الحال في النباتات الشائعة مثل الفاصوليا والفول (*Phaseolus vulgaris* L). يعد الحد من استخدامات المبيدات الحشرية أولوية في اهتمامات الباحثين، على سبيل المثال، تطوير تقنيات مبتكرة ونظيفة مثل الموجات الكهرومغناطيسية، والمعلمات الفعالة لليزر في تقليل الكثافة السكانية للذباب الابيض واجريت العديد من الاختبارات عن طريق تشعيع أشعة الليزر ذات الموجة المستمرة بأطوال موجية مختلفة يدويًا (444 نانومتر، 527 نانومتر، 640 نانومتر) والكثافات البصرية مباشرة على الحشرات وتبين ان الطول الموجي الأكثر فعالية هو 444 نانومتر، كما جربت الية للتحكم في زمن التعرض وفق نظام الي نظام آلي : (t1 = 1 ثانية، t2 = 2 ثانية، t3 = 3 ثانية و t4 = 4 ثانية) مع اشعاع ساقط عند شدات بصرية مختلفة : (I1 10 Wcm 2، I2 4 Wcm 2، I3 2 Wcm 2). حققت هذه التجارب معدل وفيات في حشرات الذباب الابيض بلغت نسبتها: 100% عن طريق تشعيع بالطول الموجي بالليزر 454 نانومتر في العمر الثالث لحوريات ذبابة التبغ البيضاء *B. tabaci* مع المعلمات التالية: (I1(t1، I2(t3) و I3(t4)) (شكل 3-2). ولم يظهر التشعيع اي تاثير في تطور النبات وانتاجيته وهذا

يشير الى امكانية استخدام تقنية ضوئية يمكنها التحكم بالذباب الابيض دون الاضرار بنمو النبات وانتاجيته (Azaidem, et al. 2023).



شكل 3-2. ذبابة التبغ البيضاء على اوراق نبات الفاصوليا المعرضة لاشعة الليزر. A ورقة النبات عليها الحشرات، B الذبابة البيضاء، C الذبابة البيضاء مكبرة، D الذباب الابيض الحي، Eالذباب الابيض الميت. عن Azaidem, et al. 2023

ولتقييم ما إذا كان إشعاع الليزر يمكن أن يضعف نمو النبات، تم تعريض نباتات الفاصوليا لنفس أطوال موجات الليزر وكثافتها المستخدمة في الاختبارات الأولية، باستثناء الليزر 640 نانومتر، والذي لم يسبب وفيات كبيرة للحشرات. تم وضع النباتات مع السطح المحوري لأوراقها المعرضة لأشعة الليزر مرتين عند 14 و21 DAS،وذلك لتقييم التأثير الحراري المحتمل والتقطت صور للأوراق عند تطبيق الليزر مباشرة باستخدام كاميرا FLIR الحرارية. تم الاحتفاظ بالنباتات في البيت الزجاجي، مع اتباع جميع الإدارة الموصى بها، حتى نهاية دورتها لتقييم تطور النبات وإنتاجيته. عدد القرون لكل نبات، تقييم عدد الحبوب لكل نبات وصلاحية البذور (معدل الإنبات). لتقييم معدل إنبات البذور، تم وضع البذور على ورق Germitest، المنقوع مسبقًا في الماء، ثم نقلت إلى غرفة الإنبات، عند درجة حرارة متحكم بها تبلغ 28 درجة مئوية لمدة أربعة أيام ، فلم تظهر اشعة الليزر الملائمة للاستخدام اي تاثير في النبات .

اختبارات جهاز ليزر صيد الصراصير:

تربية الصراصير

استخدمت الصراصير الألمانية *Blattela germanica* لاختبار صلاحية جهاز الليزر الخاص بمكافحة الآفات. تم الحصول على مجموعة سكانية مكونة من 150 فردًا من الحوريات البالغات (نسبة الجنس 1: 1) استخدمت الحوريات والبالغات (♂ و ♀) بشكل عشوائي خلال التجارب. تم وضع الصراصير في صندوق بلاستيكي شفاف (ارتفاع 8 سم × طول 24 سم × عمق 6 سم) بدون طعام أو ماء لمدة 24 ساعة قبل التجارب. أجريت التجارب في غرفة بضروف عند درجة حرارة 24 درجة مئوية، ونسبة رطوبة أقل من 65% (مستشعر درجة الحرارة بدقة 0.1 درجة مئوية ومستشعر الرطوبة بدقة 1%، TDJstudio) وبإضاءة 150 لوكس (Digital Lux Meter) جهاز قياس الإضاءة BT-881D، BTMETER،). اعتمادا على التجربة، تم وضع الصندوق الشفاف الذي يحتوي على الصراصير على طاولة على مسافة 600 ملم أو 1200 ملم من الليزر، واستخدمت ثلاثة أنواع من الليزر لهذا الغرض:

- طاقة الليزر، 300 ميجاوات، 450 نانومتر .
- قوة الليزر، 1600 ميجاوات، 808 نانومتر – أوكسلارز، الصين.
- طاقة ليزر 100 ميجاوات، 660 نانو متر – أوكسليرز، الصين.

لاختبار دقة نموذج الليزر الأولي الخاص في تحييد الصراصير التي تتحرك بحرية في الصندوق، استخدمت مجموعة من أربعة صراصير لكل صندوق، وهذا هو العدد المحدود من الكائنات التي يمكن تتبعها بكفاءة بسرعة عالية باستخدام خوارزمية الشبكة العصبية. تم استخدام خمس مجموعات من الصراصير كعناصر مقارنة (العدد = 20 صرصور). في مجموعات المراقبة هذه، يمكن للصراصير التحرك بحرية والتفاعل في الصندوق لمدة 10 دقائق. عرضت الصراصير لليزر. وذلك بمقارنة اثنين من قوة الليزر (300 مللي فولت و 1600 مللي واط) والمسافتين بين الليزر والصندوق الذي يحتوي على الصراصير (600 ملم و 1200 ملم). واختبرت أحجام مختلفة لبقع الليزر (2 مم، 3 مم، 5 مم) لـ 1600 ميكاواط للتأكد من فعالية شدة الليزر. قورنت منطقة العمل في صندوق الصراصير في مجموعات التحكم والليزر مع مرور

الوقت. قيست حركات الصراصير (المسافة المقطوعة) باستخدام OpenCV cv2.TrackerCSRT_create، ودقة الكشف بالليزر، وكفاءة التحييد.

نهج ردع الليزر:

لردع الصراصير من التجمع في ملجأ مظلم عند التعرض للضوء، استخدم ليزرًا بقوة أقل تبلغ 100 ميجاوات وادى الى هروب الصراصير. كان المأوى عبارة عن صفيحة بلاستيكية غير شفافة (أبعادها 500 × 300 × 10 مم). تم وضع الصندوق الذي يحتوي على الصراصير على مسافة 300 ملم من الليزر. اجريت تجارب مع خمس مجموعات مقارنة (N = 20) يمكنها التحرك بحرية لمدة 12 ساعة تم اطلاق اليزر على الصراصير باستخدام ليزر منخفض الطاقة في كل مرة يتم اكتشافها وهي مختبئة تحت الملجأ. لقياس التأثير الرادع لليزر، تم إنشاء منطقة اهتمام افتراضية (ROI) في صندوق الاختبار باستخدام مكتبة OpenCV ثم تم أحصاء عدد المرات التي دخلت فيها الصراصير منطقة ROI باستخدام وظيفة OpenCV ومقارنة البيانات في بداية التجارب وبعد 12 ساعة من التعرض لليزر.

بينت نتائج ذلك في المتوسط، ان الصراصير ركضت بسرعة 1.3 متر في الثانية (4.8 كم/ساعة) بشكل عام، غطت الصراصير في مجموعات الليزر مسافة أكبر بكثير من الصراصير في مجموعات المقارنة، حيث لم تتأثر المجموعات الأخيرة بالتأثير الحراري الناجم عن الليزر.

كانت هناك زيادة في سرعة حركة الصراصير المستهدفة بالليزر 300 ميكاواط مقارنة بتلك التي تم إطلاق النار عليها بالليزر 1.6 واط. هذه الزيادة في السرعة في مجموعة الليزر السفلية ترجع إلى تحييد الأفراد بشكل عام، يحتاج الليزر إلى إطلاق النار على الهدف بشكل مستمر لمدة 2-3 ثوانٍ تقريبًا (ساعة الإيقاف - RDA55-0028 ساعة توقيت رقمية 055 مقاومة للماء ومضادة للمطر باللون الأسود، دقة 0.01 ثانية، وعند قوة الليزر المنخفضة هذه، لا تموت الصراصير على الفور، بل تتحرك بسرعة خارج شعاع الليزر. بشكل عام، كان الليزر 1.6 واط أكثر كفاءة في تحييد الصراصير من الليزر 300 ميكاواط. كان تحييد الليزر أيضًا أسرع بكثير مع 1.6 واط مقارنة بـ 300 ميكاواط.

بينت العلاقة بين مسافة الليزر وأقطار بقعة الليزر مع فعالية التعادل. أولاً، أنه كلما زادت المسافة بين الليزر والصندوق، كلما استغرق الليزر وقتًا أطول لتحييد الصراصير. تم أيضًا تقليل دقة

الاكتشاف والتصوير بشكل كبير مع المسافة من الليزر. ثانيًا، تم اختبار أقطار مختلفة من نقاط الليزر لاستهداف ليزر بقوة 1.6 واط عند 300 ملم. اشار منحنى تأثير الجرعة لتحييد الصراصير بالليزر لبقع الليزر المختلفة إلى أن حجم بقعة الليزر الأمثل هو 3 ملم. من الناحية النظرية، يجب أن يكون تقليل حجم بقعة الليزر إلى 1 ملم أكثر كفاءة في التحييد، خاصة إذا ضرب الليزر بطن الصرصور. ومع ذلك، فإن النقطة 1 ملم صعبة للغاية للتنفيذ تجريبيا. بالإضافة إلى ذلك، من المهم ملاحظة أنه عندما تلامس بقعة الليزر الجزء البعيد من ساق الصرصور (arolium an Puvilli) الذي يحتوي على مستقبلات حرارية، فإنها تؤدي إلى تنشيط استجابة الهروب وبالتالي لا تسبب سوى أضرار طفيفة وتجنيب الفرد التعرض المميت. على الرغم من أن تركيز حجم البقعة يؤثر بشكل مباشر على كفاءة الليزر، فان التحييد الفعال، يجب أن تصل قوة ليزر تبلغ 1600 ميكاواط وحجم بقعة يبلغ 3 ملم إلى منطقة الجسم، وإلا فإن ضرب زوائد الارجل يؤدي إلى استجابة الهروب، يزيد من السرعة ويقلل من التحييد. نظرًا لأننا لا نستطيع التحكم في أي جزء من الجسم يتعرض لضربة الليزر في كل محاولة تحييد، وتمنع الفجوات التقنية من استهداف الليزر في منطقة معينة، فهناك حاجة إلى مزيد من التحسينات من أجل تحييد فعال.

تكون الصراصير أكثر نشاطًا في الليل بينما تستريح أثناء النهار في أماكن منعزلة، مثل الملاجئ (Lihoreau et al. 2012). ولذلك، في وجود الضوء يجعل الصراصير لديها ميل قوي للتجمع تحت هذه الملاجئ المظلمة (Halloy 2007). بعد أن أثبت قدرة الليزر عالي الطاقة على تحييد الصراصير، تم اختبار نظاما قادرًا على ردع الصراصير بنجاح، من خلال حثهم على عدم التجمع تحت مأوى مظلم مفضل يعتمد على التعزيز السلبي باستخدام ليزر منخفض الطاقة. تم وضع الليزر على بعد 300 ملم من الصندوق التجريبي الذي يحتوي على الصراصير.

من خلال التجارب اعلاه تم تطوير جهاز ليزر آمن، وصغير الحجم، ومنخفض التكلفة، وموفر للطاقة، آليًا عن طريق الرؤية الآلية، وهو قادر على تحييد سلوك الآفات الحشرية والتأثير عليها بطريقة صديقة للبيئة. من المهم جدًا ملاحظة أن استخدام هذه الجهاز يجب أن يقتصر على المناطق التي تقل فيها إمكانية وصول شعاع الليزر إلى عينة حية أخرى غير مستهدفة. الهدف من ذلك إثبات جدوى استخدام الليزر لمكافحة الآفات الحشرية، ولكننا نفهم أيضًا أن هناك مشكلات تتعلق بالسلامة عند استخدام الليزر في عمليات مكافحة الحشرات وأنها تتطلب المزيد

من الدراسة. تم تحسين العديد من النماذج من خلال الاستفادة من الشبكات العصبية العميقة من خلال استخدام Jetson nano، وهي مجموعة كمبيوتر مكتبية مدفوعة الأجر، وCUDA الخاص بها، وهي بنية برامج أجهزة للحوسبة المتوازية. كما درس تأثير حجم الليزر وقدرته على أداء الليزر. واختبرت زيادة مسافة عمل الجلفانومتر بشكل كبير. تميزت هذه الاجهزة بفعالية عالية الجودة، مع استهلاك منخفض للطاقة، ويقوم بتدميرالافات المستهدفة.

على الرغم من وجود اجهزة مناسبة للبحث الأكاديمي، إلا أنه يجب مراعاة عدة عوامل قبل استكشاف نشر هذه التكنولوجيا على نطاق واسع. أحد العوامل المحددة الرئيسية هو خطر إصابة شعاع الليزر بالعينين. يمكن أن يدخل الليزر إلى وعاء دموي ويسده، ويصل إلى نقطة عمياء حيث تذهب الأعصاب من جميع أنحاء العين إلى الدماغ، ويحرق خطًا من "البكسلات" ومن ثم يمكن أن تبدأ شبكية العين التالفة في التقشر، وهذا هو الطريق إلى فقدان البصر الكامل الذي لا رجعة فيه (Schirmacher, 2010). يتم النظر في خطر الليزر على أساس ما إذا كان يمكن أن يسبب ضررًا قبل أن تومض العين بشكل انعكاسي - ولا يعتبر أن قوة 5 ميكاواط ليست خطيرة جدًا بالنسبة للإشعاع المرئي. وكما أظهر مع الصراصير، فإن 5 ميكاواط ليست كافية للسيطرة على الآفات. للتغلب على هذه المشكلة، لذلك يمكن تطوير أنظمة أمنة إضافية، مثل أجهزة الكشف عن الإنسان وأجهزة الاستشعار الصوتية. لكن على أية حال، لايمكن جعل التثبيت آمنًا بنسبة 100%، حيث أنه حتى الليزر يمكن أن ينعكس ويلحق الضرر بعين الشخص الذي لا يكون في مجال رؤية الجهاز وعلى مسافة بعيدة. لذلك، لا ينبغي استخدام هذه التقنية في المنزل (Sliney, 2009). ومع ذلك، قد تظل هذه التكنولوجيا مفيدة في التطبيقات غير البشرية (التي يقودها الروبوت) أو عندما لا تكون هناك حاجة إلى سرعة ليزر عالية، على سبيل المثال، لمكافحة الأعشاب الضارة. يمكن ضبط النموذج باستخدام وحدة تحكم دقيقة بدلاً من الكمبيوتر، مما سيجعل النظام أكثر موثوقية وكفاءة في استخدام الطاقة. يمكن أيضًا الاستفادة من جهاز التحكم عن بعد لكاميرا IP لمهمة الرؤية المجسمة ويمكن استخدام الشبكات العصبية لتحديد المسافة (Zhang, 2021). كمعالج، يمكن دمج أي كمبيوتر أحادي اللوحة منخفض التكلفة مثل RaspberryPI، وBananaPI، وGoogle Coral Edge TPU، و ASUS Tinker Board. ومع ذلك، في جميع أجهزة الكمبيوتر اللوحية هذه، لا توجد إمكانية

لاستخدام وحدة معالجة الرسومات (GPU) نظرًا لبنية الأجهزة والبرامج الخاصة بالحوسبة المتوازية - CUDA.

باستخدام الصرصور الالماني *B. germanica* كنموذج للآفة، أظهرت التجارب إعدادات طاقة الليزر الأعلى يمكن لهذا الجهاز تحييد الصراصير المتحركة بحرية بشكل انتقائي على مسافة تتجاوز 1 متر. بالإضافة إلى ذلك، في بيئة منخفضة الطاقة، يكون جهاز الليزر هذا قادرًا على نشر الحرارة بدقة وبشكل مستمر على مسافة 300 مم، مما يؤدي إلى استجابة الصراصير للهروب من الحرارة وبالتالي التأثير على سلوك المأوى الخاص بها. على الرغم لم تتمكن هذه الاجهزة بإحصاء الصراصير بشكل دوري ولم تسمح بحساب عدد المرات التي يحتاج فيها كل صرصور إلى الضرب بالليزر لتجنب الاختباء. لحل هذه المشكلة، يمكن إما استخدام صرصور واحد فقط لكل تجربة أو تحسين برنامج التعقب. يمكن تحقيق المزيد من التحسينات في زيادة نطاق التتبع عن طريق استبدال الكاميرا بعرض وتركيز أعلى. في البداية استخدمت وسائل بسيطة، مثل سلسلة Haar بواسطة مكتبة OpenCV،حيث يمكن العثور على منطقة بها كائن ثم التركيز على هذه المنطقة باستخدام عدسة مقربة والحصول على صورة لشبكة عصبية. وبالتالي، يوفر نهجنا حلاً بديلاً معقولاً للمصائد الميكانيكية والمواد الكيميائية (المبيدات الحشرية) للتحييد الانتقائي وردع ليس فقط مجموعات الصراصير ولكن الآفات الحشرية الأخرى حيث أن هذا النظام قابل للضبط بسهولة ويمكن تطبيقه لتتبع ومراقبة أهداف أخرى على سبيل المثال. للحماية من البعوض والنحل من الزنابير المفترسة والنحل من الطفيليات الخارجية. من الممكن استخدام هذه الأجهزة لتطبيقات أخرى محتملة، مثل الكشف في الوقت الفعلي عن الكائنات ذات الخلفية الساطعة باستخدام OpenCV؛ أو نقل الصور عبر الشبكة وإجراء العمليات الحسابية عن بعد. بالنسبة لأي من التطبيقين.

الصراصير موضع استهداف من الذكاء الاصطناعي وأشعة الليزر

طور علماء من جامعة "هيريوت وات" البحثية في إدنبرة بإسكتلندا نظاماً لاستهداف الصراصير مستخدمين تقنية جديدة تشمل الليزر والذكاء الاصطناعي. وقد صمم نظام ركماتولين التقني مستخدماً معدات يستطيع الجميع الحصول عليها من المحلات التجارية، ويرصد الصراصير ضمن نطاق يبلغ 1.2 متر. وخضع النظام الجديد لاختبار قدرته على مواجهة تلك

الحشرات. وتبقى الأساليب المعتمدة حالياً في مكافحة الحشرات غير مجدية بالنسبة إلى الصراصير، بيد أن نظام ركماتولين يعتمد على آلة متطورة في رؤية تلك الحشرات. في هذا النظام، تتولى كاميرتان إرسال إشارات إلى الكمبيوتر الذي يرصد مكان الصرصور (شكل 3- 3) والبرص (شكل 3- 4). وحينما استخدم الباحثون أشعة ليزر منخفضة الطاقة، نجحوا في تغيير سلوك الصراصير. نتيجة الحرارة المستمرة التي يطلقها الليزر، تلجأ الصراصير إلى تغيير موضعها أو اتجاهها. هكذا، يكون في المستطاع ردعها عن الاختباء في أماكن مظلمة.

شكل 3- 3. استهداف الصراصير بالذكاء الاصطناعي والليزر

شكل 3- 4. مسدس قوي جدا مع ليزر لدقة التصويب لقتل الوزغ (أبو بريص)

أستخدام اشعة الليزر في السيطرة على دودة اللهانة *Pieris rapae*

تعتبر فراشة اللهانة *Pieris rapae* (L.) (Lepidoptera: Pieridae) واحدة من الافات التي تسبب ضررا بالغا ببعض المحاصيل الزراعية ، واليرقات هي المرحلة التي تسبب هذا الضرر. في بعض الحالات الخطيرة، تستهلك اليرقات جميع الأوراق ويمكن أن تسبب تعفنًا فيها. وفي الوقت الحاضر، تظل المكافحة الكيميائية هي طريقة المكافحة الرئيسية لهذه اليرقات. إن الاستخدام طويل الأمد للمبيدات الكيميائية قد تسبب في ضرر للإنسان والبيئة ويشكل حلقة مفرغة ولذلك، هناك حاجة ماسة إلى تحديد طريقة تحكم صديقة للبيئة لدعم الطلب على كمية أكبر من النباتات الصليبية ذات الجودة الأعلى.

يعد استخدام الإشعاع بالليزر لإدارة يرقات فراشة اللهانة *P. rapae* كبديل لاستخدام المبيدات الكيميائية. درس Li, et al (2021) السيطرة على يرقات هذه الحشرة والعوامل المؤثرة في الليزر. أظهرت الاختبارات باستخدام التأثير المضاد للتغذية ومعدل وفيات اليرقات كمتغيرات تابعة الى قوة الليزر ومنطقة التشعيع ووقت فتح الليزر وموضع التشعيع كانت مرتبطة بشكل إيجابي مع تأثير التحكم في يرقات هذه الحشرة. وكانت المعلمات المثلى لكل عامل على النحو التالي: قوة الليزر، 7.5 واط، منطقة التشعيع 6.189 مم2، وقت فتح الليزر، 1.177 ثانية، وموقع التشعيع وسط البطن. بناءً على ذلك تبين أن النسبة المئوية لمضادات التغذية ليرقات *P. Rapae* خلال 24 ساعة بعد العلاج كانت 98.49%، في حين كان معدل الوفيات 100%. كان مزيج المعلمات الأمثل الذي تم تحديده في الدراسة مناسبًا ليرقات *P. Rapae* في المراحل العمرية الأول إلى الخامس، ولوحظ تأثير تحكم أكثر فعالية مع اليرقات الأصغر سنًا. يمكن أن توفر هذه النتائج أساسًا نظريًا لمكافحة الآفات في المستقبل باستخدام روبوتات قتل الآفات بالليزر

يتكون الجهاز من وحدة ليزر أشباه الموصلات وقوس ضبط دقيق، طبق بيتري مقاس 90 × 15 مم وجهاز كمبيوتر محمول للتحكم بالليزر وبقعة الضوء لوحدة ليزر أشباه الموصلات مستديرة، ويمكن تعديل الطول البؤري والحد الأدنى للقطر البؤري أكثر من 0.1 مم. ليزر أشباه الموصلات مثبت على شريحة الضبط الدقيق وتوجيهه عموديًا، متجهًا نحو الأسفل. تمت دراسة فعالية مكافحة اليرقات والعوامل المؤثرة بالليزر 450 نانومتر. وعلاوة على ذلك، تم تقدير

المزيج الأمثل من المعلمات. تشير النتائج إلى أن طريقة التشعيع بالليزر غير المتصلة تظهر كفاءة عالية في السيطرة على يرقات *P. rapae* عن طريق التشعيع بالليزر. من خلال اختبار تأثير التحكم بالليزر 450 نانومتر على يرقات *P. rapae* ودراسة العوامل المؤثرة لليزر (طاقة الليزر ومنطقة التشعيع ووقت فتح الليزر وموضع التشعيع)، تم الحصول على المزيج الأمثل من معلمات العمل لتحسين أداء التحكم في يرقات *P. rapae*. وتم التوصل إلى الاستنتاجات الرئيسية التالية:

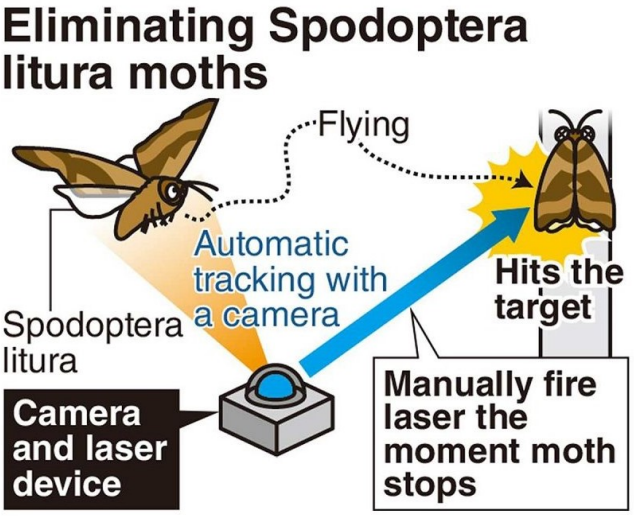
- **كان المزيج الأمثل للحصول على الدرجة الشاملة القصوى كما يلي: قوة الليزر، 7.5 واط؛ منطقة التشعيع 6.189 مم2؛ وقت فتح الليزر، 1.177 ثانية؛ وموقف التشعيع، البطن الوسطى.**
- **استخدامت التركيبة المثالية التي تم تحديدها الانخفاض في نسبة مضادات التغذية ليرقات *P. rapae* بعد 24 ساعة كان 98.49%، في حين أن معدل الوفيات خلال 24 ساعة كان 100%.**
- **كان مزيج المعلمات التجريبية مناسبًا ليرقات *P. Rapae* من الأول إلى الخامس، وكان معدل وفيات يرقات العمر الخامس عند 36 ساعة أيضًا 100٪.**

ان قدرة التشعيع بالليزر كي تكون بمثابة طريقة تحكم فيزيائي عالية الكفاءة ضد دودة اللهانة *P. rapae*. على الرغم من أن النسبة المئوية العالية لمضادات التغذية ومعدل الوفيات تعد من المؤشرات الجيدة للنجاح الميداني في استخدام الليزر، إلا أنه ينبغي تقييم تأثير التحكم في إشعاع الليزر ضد *P. rapae* في الحقل. ولا تزال أساليب هذه التكنولوجيا في مصانع المعالجة أو الحقول بحاجة إلى مزيد من الدراسة.

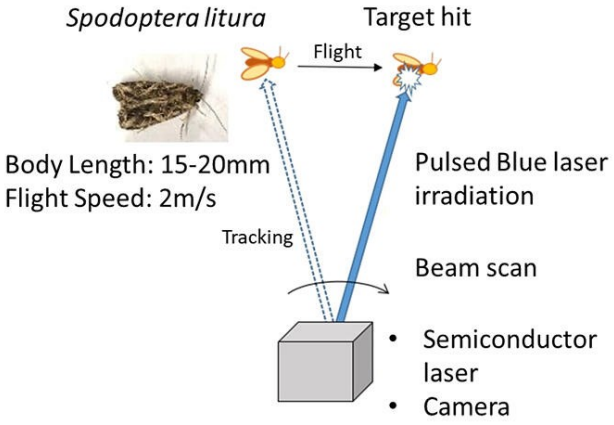
تاثير الليزر في حشرة دودة اوراق القطن (دودة ساق التبغ) *Spodoptera litura*

تظهر يرقات دودة ورق القطن *Spodoptera litura*، المعروفة أيضًا باسم دودة التبغ، بأعداد كبيرة من الصيف إلى الخريف، مما يتسبب في أضرار جسيمة لفول الصويا والملفوف والمحاصيل الأخرى. تم تصنيف هذه الحشرة كآفة بموجب قانون حماية النباتات، وتتوقع بعض الدول تفشي هذه الافة وتصدر تحذيرات للمزارعين لرش المبيدات الحشرية. ومع ذلك، فإن الحشرة شديدة المقاومة للمواد الكيميائية، مما يجعل بعض المبيدات الحشرية غير فعالة. قام

فريق من جامعة أوساكا على القضاء على بالغات هذه الحشرة وبالتالي منع تكاثرها. ولتحقيق هذه الغاية، قاموا بتطوير تقنية جديدة استخدم فيها ضوء الليزر الأزرق شبه الموصل، وهو صغير الحجم للغاية ويمكن تشغيله بتكلفة منخفضة. استخدم الفريق كاميرا لكشف وتتبع الفراشة البالغة التي يبلغ طولها من 15 إلى 20 ملم تلقائيًا وتطير بسرعة 2 متر في الثانية، ثم أطلقوا الليزر لمدة تتراوح بين 0.01 إلى 0.1 ثانية في اللحظة التي تضع فيها الفراشة جناحيها، مما أدى بنجاح إلى القضاء على فراشة هذه الحشرة (شكل 3- 5 أ ، ب). كما تمكنوا أيضًا من إسقاط الفراشات أثناء الطيران، على الرغم من أن الدقة كانت منخفضة. كما اكتشف الفريق أن منطقة الصدر هي منطقة حيوية لتاثير اشعة الليزر، ويمكن قتلها بشعاع رفيع. وتم التخطيط لتحسين النظام باستخدام الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بمسار رحلة هذه الافة وتوجيه الشعاع تلقائيًا لزيادة دقة إصابة النقطة الحيوية. ونظر الباحثون الى امكانية "في المستقبل، النظر في إبادة آفات أخرى، مثل الجراد الصحراوي الذي كان يمثل مشكلة في أفريقيا". وبين الفريق في هندسة الليزر يمكن لأشعة الليزر الزرقاء شبه الموصلة أن تؤثر بسهولة على الأجسام المشعة، ويتم تطبيقها في مجالات مختلفة، مثل معالجة المواد. وأكما يتوقع أن يتم تعزيز تكنولوجيا تتبع وتشعيع [الآفات] بشكل أكبر في المستقبل (Shimbun, 2023).



أ



ب

شكل 3- 5. استعمال اشعة الليزر في مكافحة دودة ورق القطن *Spodoptera litura*. عن Shimbum, 2023

رصد الحشرات على أساس الاستشعار عن بعد بالليزر :

Monitoring of insects based on laser remote sensing

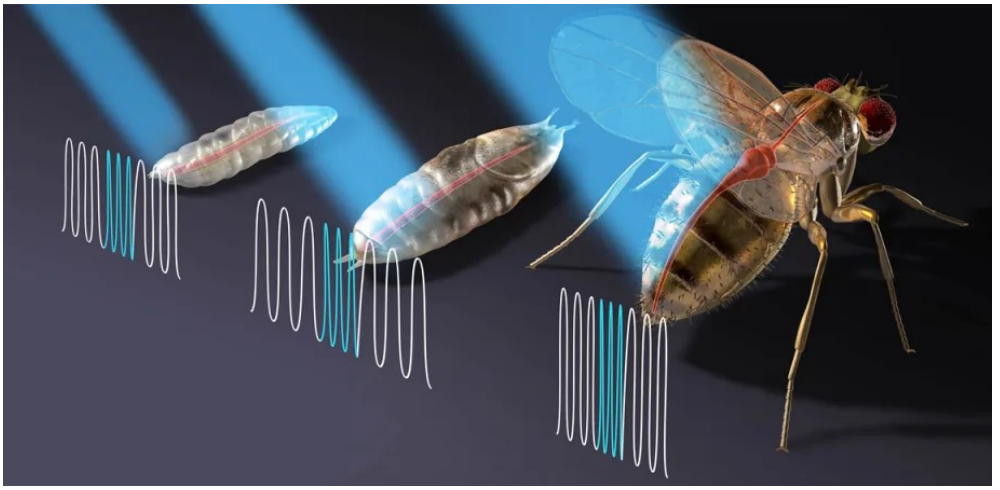
تساعد مراقبة الأنشطة الحيوانية في تقييم تأثيرات الظروف البيئية والعوامل البشرية المنشأ عليها، وهناك أنواع مختلفة من طرق الرصد المتعلقة بعلم الحشرات المعتمدة على الرادار والرؤية الآلية وغيرها من التقنيات التي تطورت بسرعة في السنوات الأخيرة. أن فهم الأنشطة السكانية للحشرات من خلال الطرائق التقليدية مثل طرق الرصد، التي تعتمد على جمع العينات، و الاصطياد، فهي تستغرق وقتا طويلا، وشاقة، وغير مناسبة على نطاق واسع (Desouza, 2022 et al. 2022). مؤخرا على مدى عقود شهدت طرائق الاستشعارعن بعد لرصد الحشرات سرعة كبيرة في التطوير، بما في ذلك الاستشعار السلبي عن بعد بالطاقة الشمسية (Brydegaard, 2018)، الاستشعار عن بعد بالموجات الدقيقة والأشعة تحت الحمراء، والاستشعار الصوتي، والسرعة العالية في التصوير الفوتوغرافي المعتمد على الرؤية الآلية (Clayborn and Clayborn, 2019). واستخدمت مؤخرا طريقة للمراقبة معتمدة على الليزر في الوقت الحقيقي، هذه التقنية تمكن المختصين والمهتمين مراقبة نشاط الحشرات عبر الإنترنت ودراسة استجابة مجموعات الحشرات للتغيرات البيئية والظروف مثل الطقس. وهناك أربعة تطبيقات محددة لرصد الحشرات على أساس تقنيات الاستشعار عن بعد بالليزر، بما في

ذلك وضع المصيدة الإلكترونية، أو جمع الضوء المتناثر أو حركة الحشرات المستهدفة في الفضاء المفتوح، ومراقبة نشاط سكان الحشرات بشكل غير مباشر عن طريق الرسم خصوصا في الغابات. تعتمد طريقة المراقبة على تقنية الاستشعار عن بعد بالليزر مزايا جودة الشعاع العالي والتطبيقات المتنوعة، وتمكننا من مراقبة نشاط الحشرات وتقدير الكثافة السكانية لها بشكل حقيقي (Genoud, et al. 2023). ومع ذلك، قد يكون التعرف على الاستشعار صعباً بسبب عدم وجود نماذج موحدة التي توصف بدقة آليات وكتالوكات تشتت الحشرات مع الخصائص البصرية الكمية لملايين الاصناف من الحشرات. ومن الضروري فهم طرائق الرصد بالاستشعار عن بعد من الحشرات بشكل كامل.

يمكن للرصد المستمر المعتمد على الليزر التمييز بين الحشرات المختلفة . بالإضافة إلى المسح ورسم الخرائط لرصد الحشرات بشكل غير مباشر وكذلك نشاطها السكاني كما تمكننا من رسم خريطة لتقييم تجمع وهجرة الكائنات الحية ومجموعات الحشرات العاشبة وتساعد في التنبؤ نمو أعداد الآفات وانفجارها السكاني. وبالمقارنة مع طرائق مراقبة أخذ العينات، مثل محاصرة الضوء أو الاصطياد الكيميائي (Desouza, et al. 2022)، يمكن أن يوفر الوقت الفعلي، انخفاض تكاليف العمالة، وهو أمر مفيد للتطبيقات العملية. تكنولوجيا الاستشعار عن بعد (مثل الاستشعار عن بعد بالليزر) في مراقبة الحشرات تمكن الباحثين من فهم انماط سلوك الحشرات بشكل أكثر دقة (Brydegaard. et al. 2020). في المستقبل، سيكون لتكنولوجيا الاستشعار عن بعد بالليزر تطبيق واسع مجال في آفاق رصد الحشرات، ومع التطور المستمر للعلم، قد يتمكن المزيد من العلماء المساهمة في هذا المجال، وتطبيق أفضل أجهزة الاستشعار والمعالجة اللاحقة وسوف تساهم الخوارزميات في طرائق المراقبة بالليزر. أولا وقبل كل شيء، تحسين أداء الأجهزة مفيد للمراقبة على سبيل المثال، تحسين الكاشف يمكن أن يجعل تردد أخذ العينات من Scheimpflug Lidar أعلى، ووحدة العدسة يمكن لزاوية الاختلاف الأصغر (بما في ذلك الليزر والعدسة الموازية). تحسين قدرة رسم الخرائط لطريقة الرصد غير المباشرة. وأخيراً طريقة معالجة الإشارات الأكثر فعالية ستعمل على تحسين تحليل بيانات قدرة النظام. بشكل عام، تعتبر المراقبة المعتمدة على الاستشعار عن بعد بالليزر أمرًا ضروريًا وعمليًا. وتم استخدامه على نطاق واسع في علم الحشرات وله تطورات جيدة.

استخدام الليزر التحكم بنبضات قلب ذباب الفاكهة :

تمكن الباحثون من التحكم في نبضات قلب ذباب الفاكهة من خلال نبضات الليزر. ويعتمد هذا النهج على علم البصريات الوراثي، أو تعديل جينات الحيوانات لإنتاج مواد تستجيب للضوء. في هذا المجال قام فريق من الباحثين بتعديل خلايا قلب الذباب لإنتاج بروتينات حساسة للضوء. بعد ذلك، كان الأمر مجرد مسألة جعل القلوب تخفق (تنبض) عند الحاجة، سواء كان الذباب يرقات أو حشرات كاملة النمو (شكل 3- 6) (Fingas , 2015). في الوقت الحالي، لن يكون هذا المفهوم عمليًا جدًا بالنسبة للبشر. ولايمكننا رؤية أشخاص مصابين بهذا النوع من التعديلات الجينية، لان الأجسام البشرية ببساطة سميكة للغاية بحيث لا يتمكن الضوء من الوصول إلى مسافة بعيدة. ومع ذلك، فهو ليس مفهومًا مستحيلًا. سيعمل ضوء الأشعة تحت الحمراء القريبة على تعزيز الخلايا بالبروتينات المناسبة لتحقيق تأثيرات مماثلة. في نهاية المطاف، يمكنك رؤية أجهزة ضبط نبضات القلب الضوئية التي توضع خارج جسمك وتتكيف بسهولة مع احتياجاتك مع مرور الوقت.



شكل 3- 6. التحكم بنبضات قلب ذباب الفاكهة من خلال نبضات الليزر. عن Fingas, 2015

ذباب الفاكهة الموجه بالليزر: التحكم الحراري:

إن حركات وسلوك ذباب الفاكهة المعدل وراثيا لتحمل قناة أيونية حساسة للحرارة، يمكن التحكم فيها باستخدام ليزر الأشعة تحت الحمراء الموجه بدقة. استخدم لهذا الغرض ذبابة الفاكهة *Drosophila melanogaster*، على نطاق واسع ككائن حي نموذجي للأبحاث البيولوجية والطبية الحيوية، وبالتالي فإن مثل هذه التعديلات الوراثية التي يمكن التحكم بها بالليزر ستسمح بدراسة انواع اخرى اكثر بكل سهولة. تمثل *D. melanogaster*` نظامًا تجريبيًا مفيدًا لتحليل وظائف الدوائر العصبية التي يمكن أن تترجم نتائجها إلى وظيفة عصبية في الكائنات الحية الأخرى، وربما ذلك في البشر. حتى الآن، لم يكن من الممكن التحكم في نشاط الخلايا العصبية بشكل مباشر، ولكن ما يرقى إلى مستوى شعاع الليزر الموجه بالليزر للتحكم في عقل ذبابة فاكهة البحر المتوسط Med-fly الذي تم تطويره من قبل فريق في معهد أبحاث علم الأمراض الجزيئية (IMP) في عام 2013. أن Med-fly أو جهاز Fly Mind Altering، مع نظام تتبع الفيديو المدمج فيه سيسمح للباحثين باستهداف الضوء أو تسخين مناطق معينة من الجسم داخل جسم الذبابة حتى أثناء حركة الحشرة وتحليل نشاط خلايا الدماغ في نفس الوقت (شكل 3- 7). وباستخدام الجهاز، يستطيع الفريق أيضًا مراقبة واستهداف مناطق على عدة ذبابات في وقت واحد. بالمقارنة مع تقنيات التحقيق الأخرى، فإن هذا يمنحهم دقة زمنية محسنة عالية وقد أثبتوا بالدليل من خلال ملاحظة نوعين من الخلايا العصبية وكيف يتغير نشاطهم أثناء سلوك المغازلة.

يتضمن مجال علم الوراثة الحرارية الجديد نسبيًا استخدام الكائنات الحية التي تم تعديلها وراثيًا لدمج جينات البروتينات الحساسة للحرارة. في حالة ذبابة الفاكهة المعدلة عندما يصطدم ضوء الأشعة تحت الحمراء بمنطقة معينة سترتفع درجة الحرارة عند هذه النقطة إلى 30 درجة مئوية عن درجة الحرارة المحيطة مما يغير القنوات الأيونية الحساسة للحرارة، وبالتالي ضوء الأشعة تحت الحمراء. ويمكن بعد ذلك استخدام القفزة في درجة الحرارة لتحفيز أو قمع النشاط في دوائر عصبية معينة، وبالتالي تغيير جوانب معينة من سلوك الذباب في جزء من الثانية

شكل 3- 7. التحكم بعقل ذبابة الفاكهة باستخدام ليزر الاشعة تحت الحمراء الموجه

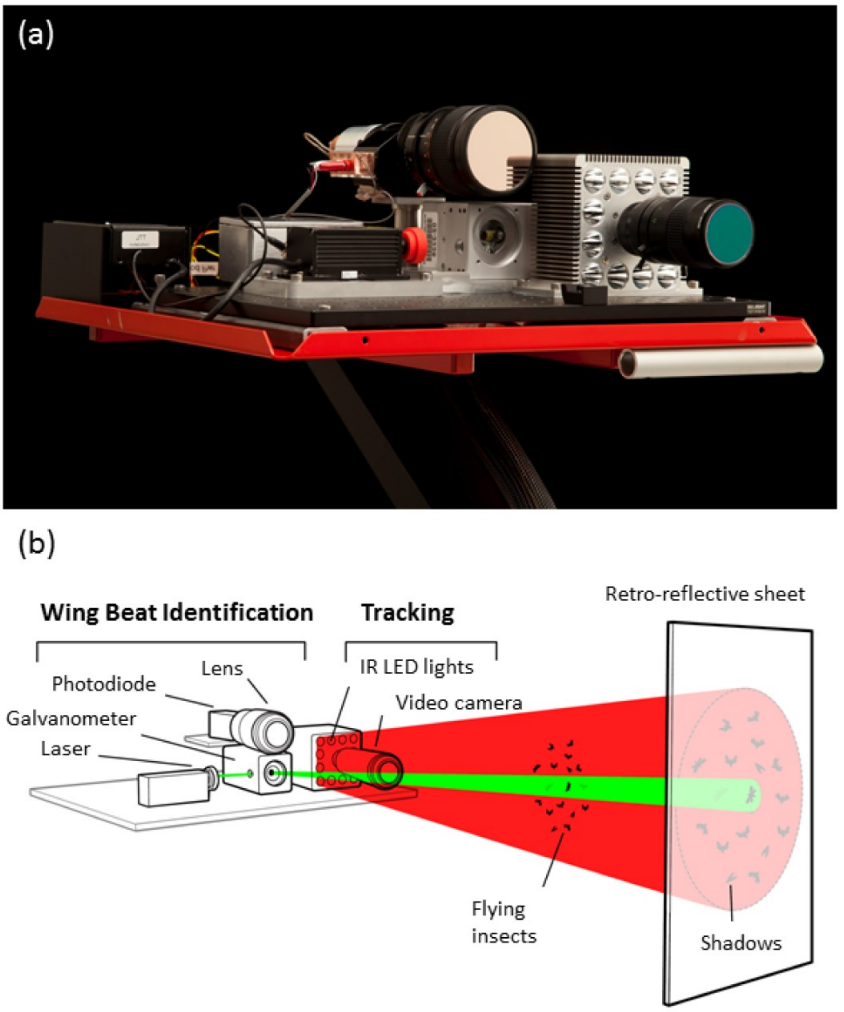
أستخدام نظام الليزر في التصنيف والتتبع والسيطرة على الحشرات الطائرة:

Laser system for identification, tracking, and control of flying insects

الحشرات الطائرة هي ناقلات شائعة لمسببات الأمراض وتلحق ضررا كبيرا بالإنسان والإنتاج الزراعي في كثير مناطق العالم. أن مبدأ النظام البصري قادر على مكافحة ناقلات الأمراض بشكل محدود للغاية. يستخدم هذا النظام مزيجًا من المصادر الضوئية وأجهزة الكشف والبرامج المتطورة للبحث والكشف وتحديد الحشرات الطائرة في الوقت الحقيقي لنشاطها، مع إمكانية القضاء عليها باستخدام نبضة ليزر قاتلة. وقد طبق هذا النظام على نوعين من الحشرات لإظهارها تمييز الأنواع *Diaphorina citri*، الناقل للعامل المسبب لمرض التخضير للحمضيات،و *Anopheles stephensi*، البعوض الناقل للملاريا (Mullen, et al. 2016).

تعد مكافحة ورصد الحشرات الناقلة للأمراض أمرًا بالغ الأهمية للصحة العالمية. الحشرات لها دور في نشر مسببات الأمراض بين البشر والحيوانات والمنتجات الزراعية. ان مسببات الأمراض تخلق ضغطًا عالميًا على الرعاية الصحية والموارد الغذائية. التقنيات الحالية في مكافحة الحشرات لها تأثيرات غير مرغوب فيها لأنها غالبًا ما تعتمد على مواد كيميائية أو بيولوجية. أن الآثار الاقتصادية والصحية العالمية للحشرات الحاملة للعوامل المسببة للأمراض بحاجة ملحة إلى المراقبة والتحكم. حاليا يستخدم في مراقبة الحشرات المصايد أو الرادارات

وان المصايد يكون فعلها محدودة في منطقة تغطيتها وتتطلب تدخلًا بشريًا لاستبدالها والذي قد يكون باهظ الثمن وغير موثوق به. الشكل الأكثر شيوعا لرصد الحشرات يستخدم الرادار LIDAR الضوء المنعكس لكشف الحشرات وهذا تنفيذه مكلف، ولكنه مفضل لاستخدامه من مسافة بعيدة. تعتبر بعض التطورات الحديثة في استخدامات LIDAR واعدة جدًا في تحديد هوية الحشرات،لكنها لاتعمل الا على الحشرات الكبيرة ويعتمد في بعض الأحيان على وضع العلامات باستخدام الضوء المنعكس. أن Photonic Fence (PF) يمكن ان يقدم طريقة جديدة محتملة لرصد الحشرات ومكافحتها. او انتقال عدد قليل من الحشرات الى مناطق حساسة التي لا تكون تقنيات المكافحة الحالية فعالة فيها. مثال على هذه الحالة هو مع المحاصيل الصغيرة المعرضة لمرض تخضير الحمضيات. توفر قدرة PF على تتبع الحشرات والتمييز بينها باستخدام تردد ضربات الجناح (شكل 3- 8) وهي طريقة جديدة للمزارعين والباحثين لرصد حركة وموقع الحشرات ويعد هذا تقدمًا كبيرًا مقارنة بالطرق الحالية التي تعتمد على المعالجة بالمصايد مع مواد الجذب لسكان الحشرة.



شكل 3- 8. (a) صورة لوحدة تتبع وتحديد هوية الحشرات. الوحدة المدمجة تتكون من مصدر إضاءة، وكاميرا، وليزر التتبع. (b) رسم تخطيطي يصور مستوى النظام تشغيل وحدة Photonic Fence (PF). يتم تعقب وتحديد هوية الحشرات الطائرة التي تعبر الحدود الافتراضية من خلال قياس تردد ضربات الجناح. عن Mullen, 2016

ثلاث عشرة حقيقة عن البعوض، ربما غير معروفة :

البعوض هو القاتل الأكثر فتكًا في الكرة الأرضيّة، وهو كيميائي ماهر ويمتلك مجسّات متطوّرة جدًّا وتفوق قدرته على تحديد مواقع الأوعية الدمويّة قدرات أكثر أطبّاء الجراحة مهارة وخبرة. البعوض الناقل للامراض فى العالم يعد بمثابة أزمة عالمية تحذر منها منظمة الصحة العالمية

"WHO" يوميا وتسعى خلفها المنظمات الصحية من خلال الأبحاث التجريبية التى تطور أسلحة جديدة للقضاء على مصدر الملاريا وفيروس زيكا وغيرها من الأمراض القاتلة للبشر، والتى تؤدى لمزيد من المتاعب على هذا الكوكب. وكثف العلماء جهودهم إلى أن توصلوا لأنواع مختلفة من الأسلحة، ومنها استخدامات تكنولوجية لليزر وأجهزة الاستشعار واستخدامات أخرى كالتعديل الجينى والحروب البيولوجية وكذلك تطوير العقاقير والمبيدات المضادة للبعوض.

❖ أنه البعوض

يتغذّى ذكر البعوض، كالفراش، على رحيق الأزهار وهو كائن مسالِم. وتتغذّى إناث البعوض على الدم إذ تمتصّه وتحصل منه على البروتينات التي تستخدمها في إنتاج المزيد من البيض.

❖ توجد للبعوض مجسّات غاز دقيقة

تتمتّع أنثى البعوض بحاسّة مميّزة تمكّنها من تحديد موقع الضحيّة: إنّها تستشعر تركيز غاز ثنائي أكسيد الكربون (CO_2) المنبعث من تنفّس الحيوانات. تبحث البعوضة، كما يشتمّ كلب التحقيق الروائح، عن المكان الأوفر بهذا الغاز حيث تتواجد ضحاياها. تُشَغّل البعوضة حواس أخرى عند اقترابها من الضحيّة: تستشعر الحرارة المنبعثة من الجسم (على شكل أشعة تحت الحمراء)، وتشتمّ رائحة المواد المنبعثة منه في التنفّس والتعرّق. تبيّن من خلال دراسة أجريت سنة 2004 أنّ البعوض ينجذب إلى النساء الحوامل قدر ضعفي انجذابه إلى الأشخاص الآخرين. يعود ذلك، على ما يبدو، إلى ازدياد كمّيّة ثنائي أكسيد الكربون المنبعثة من المرأة الحامل وارتفاع درجة حرارة جسمها مقارنةً بغيرها.

❖ يتمتّع البعوض بحاسة تذوّقٍ انتقائيّة

تُفَضّل البعوضة رائحة حمض اللاكتيك الموجود في عرق بعض الأشخاص على رائحة حمض البوتيريك. أُدخِلَ عشرات من المتطوّعين ذوي أنواع دم مختلفة، في دراسة أجريت في العام 2004، إلى غرفة تعجُّ بالبعوض. فضّلت البعوضات الأشخاص حاملي الدم من النوع O.

تستطيع البعوضات استشعار المواد الموجودة في اللعاب أو على الجلد والتي يتأثّر نوعها بنوع الدم. كشفت الدراسات عن عوامل أخرى تؤثّر على مدى انجذاب البعوضة إلى الأشخاص

المختلفين، منها تركيز المواد الناتجة من تحلّل الكوليسترول، وتعاطي (المشروبات الكحولية) والطرز الجينيّ (الوراثيّ) وأنواع البكتيريا الموجودة على الجلد.

❖ يَحقِنُ البعوض موادَّ إلى الجسم

تستخدم البعوضة الأنابيب الموجودة في خرطوم الامتصاص الذي لديها في حَقْن مواد داخل الجسم جنبًا إلى جنب مع امتصاص الدم منه. تُدخل البعوضة مواد تعيق تخثّر الدم كي تطول المدّة للامتصاص قبل أن يتخثّر. تُطلق خلايا الجسم، بتأثير هذه المواد، الهيستامين بالقرب من موضع اللسعة. يؤدّي الهيستامين إلى توسيع الأوعية الدمويّة وانبعاث السوائل منها فيحدث الانتفاخ في موضع لسعة البعوضة. ويؤثّر الهيستامين على الجهاز العصبيّ وينجم عن ذلك الإحساس بالحكة في موضع اللسعة.

❖ خرطوم البعوض خبير المِلاحة

قام علماء من معهد باستير الفرنسيّ بتصوير ما يحدث تحت جلد الفئران المُخدّرة عندما يخترقه خرطوم البعوضة. يتّضح من خلال التصوير أنّ خرطوم الامتصاص لدى البعوضة يتمتّع، مثل خرطوم الفيل، بقدرة عالية على الحركة، إذ بمقدوره الانطواء ب 90 درجة. يستدلّ خرطوم البعوضة على أقرب وعاء دمويّ إليه بالاستعانة بالمجسّات الموجودة على سطحه الخارجي وتبدأ وجبة الامتصاص والحقن لحظة تحديد موقع الوعاء الدمويّ واختراقه.

❖ تأكل البعوضة الدم ولا تشربه

تقوم البعوضة بتصفية الماء الموجود في الدم الذي تمتصّه وتخرجه، على شكل قطرات، من الجانب الخلفيّ من جسمها. تستهلك البعوضة، كما ذُكر آنفًا، البروتينات التي في الدم لتنتج البيض وتتكاثر. لا يغذّيها الماء الموجود في الدم بل يُشكّل عبئًا عليها وتقوم بتصفيته وإخراجه بسرعة.

❖ قدرة مُذهلة على حمل الأثقال

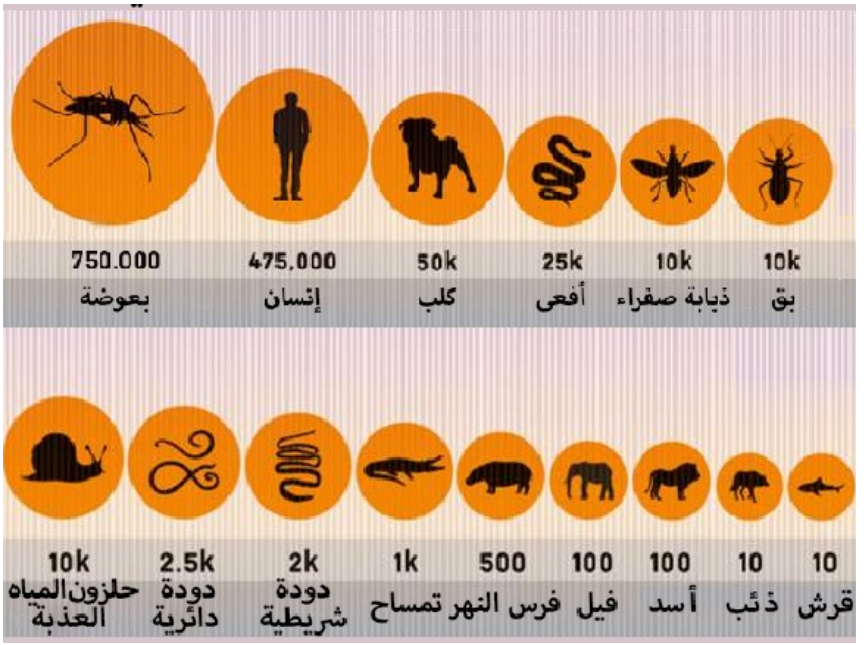
تستطيع البعوضة امتصاص حوالي 6 ميليغرام من الدم، التي قد تبدو لنا كمّيّة قليلة، ولكن وزنها يعادل وزن جسم البعوضة وقد يعلو عليه. تستطيع البعوضة الطيران عند انتهاء عمليّة الامتصاص على الرغم من وزن جسمها المضاعف وذلك بواسطة عضلات الطيران المهيّأة لهذه الحالة مسبقًا ـ مع العلم أنّها تطير بشكل أكثر بُطئًا، الأمر الذي يُسَهّل الإمساك بها وهي شبِعة.

❖ تبقى البعوضة على قيد الحياة بين لَسْعة ولَسعة

ترتاح البعوضة يومين إلى ثلاثة أيام بعد أن تلسع لسعتها وتهضم الدم الذي قامت بامتصاصه وتنتج بيوضًا متطوّرة، ثمّ تبحث عن مصدر مياه راكدة تضع فيه بيضها وتستدلّ عليه من خلال مجسّات أعدّت لهذا الغرض. تبحث البعوضة بعد ذلك، المرة تلو الأخرى، خلال فترة حياتها التي تقارب الشهر، عن ضحيّة جديدة لتلسعها ويمكنها فعل ذلك حوالي عشر مرات.

❖ إنّها قاتلةٌ فتّاكة

ينشر البعوض الأمراض بسهولة لأنّ الإناث منه تلسع عددًا من الأشخاص خلال فترة حياتها. إناث البعوض هي أكثر الكائنات الحية فتكًا وقتلًا في العالم - يلقى ما يقارب 750 ألف شخص حتفهم في كل سنة جراء الأمراض التي تنتقل من خلال لسعات البعوض - مثل الملاريا والحُمّى الصفراء وحُمّى دجاني و حُمّى النيل الغربي وفيروس زيكا (شكل 3- 9).



شكل 3- 9. عدد القتلى الذي تسببه الحيوانات المختلفة خلال سنة

❖ لا بعوض بدون الماء

تتغذّى اليرقات التي تنبثق عن البيض التي تضعها البعوضة في الماء على المواد العضويّة (مثل الأوراق المتعفّنة) الموجودة داخل المياه. تعيش خادرات البعوض هي الأخرى في الماء وينبثق

عنها البعوض البالغ الجديد. لا يستطيع البعوض التكاثر بدون وجود المياه الراكدة التي توضع فيها البيض.

❖ معالجة المشكلة عن طريق تجفيف المستنقع، وطرق أخرى

تضع البعوضات البيض وتتطوّر في المياه الراكدة فقط وهي لا تفعل ذلك في الوديان والأنهار حيث يكون تيار الماء الجارية شديدًا. الطريقة الأكثر فاعليّةً في محاربة البعوض هي تجفيف مصادر المياه الراكدة، لكنّها ليست الطريقة الوحيدة. تُرش المواد الزيتية التي تطفو على سطح الماء في الأماكن التي يتعذر فيها تجفيف المياه. تَستخدم يرقات البعوض ما يشبه "الاشنركل" الذي يُطلُّ خارج الماء في عمليّة التنفّس. تمنع الطبقة الزيتيّة الطافية على سطح الماء "الاشنركل" من الوصول إلى الهواء فتختنق اليرقات ولا تتطوّر ولا تصبح بعوضًا بالغًا.

❖ لا يطير البعوض بعيدًا

لا يطير البعوض بعيدًا - لا يبتعد البعوض عن الموقع الذي نشأ فيه إلّا بضع عشرات من الأمتار على الرغم من قدرته على الطيران لمسافة تصل إلى كيلومتر واحد. إذا رأيتم البعوض في مكان سكناكم فلا بدّ من وجود مصدر مياه قريب. يمكن أن يكتفي البعوض بصحن صغير فيه ماء موضوع تحت الأصيص وليس بالضرورة أن يكون مستنقعًا. لذا يستحسن إزالة مصادر المياه الراكدة لتجنب لسعات البعوض.

❖ مَوّلَ جيش الولايات المتّحدة الأمريكيّة الحملة ضدّ البعوض

المادّة إن - إن ثنائي الاثيل تولوا ميد أو "ديت" (DEET) هي مادّة فعّالة في طرد البعوض. بادر جيش الولايات المتّحدة الأمريكيّة إلى تطوير هذه المادّة سنة 1944 بعد أن أصاب البعوض الجنود خلال الحرب مع القوات اليابانيّة في الجزر الاستوائيّة في المحيط الهادئ في الحرب العالميّة الثانيّة. ما زالت "الديت" هي المادّة المصنّعة المستخدمة في طرد البعوض. تم تطوير مدفع الليزر كوسيلة لمكافحة البعوض. يستشعر المدفع وجود البعوضة ويحدّد مكانها ويرسل إليها شعاعًا شديدًا قاتلً. https://alrai.com/article/21698/.

نجحت احدى الشركات في التوصل إلى جهاز يستطيع اتباع مسار الناموس وتحديد مواقعه باستخدام أشعة الليزر. ويقوم الجهاز بالإشارة إلى موقع الناموس بضوء الليزر كما يرسل إشعاراً لتطبيق خاص على الهواتف الذكية للتنبيه بوجود ناموسة في موقع أو غرفة ما بالشقة

التي يوضع فيها الجهاز. ويتكون جهاز تحديد مواقع الناموس من عدسة وجهاز استشعار وتم التوصل إلى تقنيته بعد ثلاث سنوات من دراسة أنماط حركة الناموس.

اختراع بندقية ليزر لقتل البعوض:

طور علماء في الولايات المتحدة بندقية ليزر كفيلة بالقضاء على ملايين البعوض خلال دقائق، وعكف على تطوير الجهاز مجموعة من علماء الفيزياء الفلكية في سياق جهود علمية للحد من انتشار الملاريا. "سلاح التدمير الشامل للبعوض" يطلق الليزر بمجرد رصد الذبذبات الصوتية التي يصدرها البعوض بضرب جناحيه أثناء التحليق ويفتك به على الفور. إن الليرز قادر على مسح مساحة واسعة "وقتل الملايين من البعوض خلال دقائق معدودة."

روبوت بحجم لعب الاطفال للقضاء على البعوض:

الآن نشهد ابتكار روبوت جديد طورته شركة صينية تدعى «ليشين إنتيليجينت» وأطلقت عليه اسم الروبوت الليزري المتحرك قاتل البعوض، وهو بالفعل اسم على مسمى؛ فهو يفجر البعوض في الهواء باستخدام الليزر. ويتجول هذا الروبوت مستدلًا على طريقه كأي روبوت منزلي آخر، لكنه يأتي مجهزًا بليزر مخصص لقتل الحشرات، وتدعي الشركة أن بوسع هذا الروبوت قتل أكثر من 40 بعوضة في الثانية الواحدة (شكل 3- 10). وتؤكد شركة ليشين إنتيليجينت على أن هذا الروبوت المسلح بالليزر آمن تمامًا للاستخدام البشري. وورد في الوصف الذي نشرته الشركة أن هذا الروبوت يمكن أن يساعد في مكافحة انتشار الأمراض. لم يتمكن البشر على مر التاريخ الذي امتد لآلاف الأعوام من تحقيق انتصار يذكر في حربه على البعوض. لكن التاريخ على وشك أن يتغير مع ابتكار روبوتات القضاء على البعوض بالليزر والتطبيقات العديدة لها. وسيصبح بمقدورنا التحكم بشكل كبير بالأمراض التي يسببها البعوض: كالملاريا وحمى الضنك وفيروس زيكا.

شكل 3- 10. روبوت بحجم لعب الأطفال يطلق الليزر للقضاء على البعوض.

مصيدة لجذب وقتل البعوض والحشرات الأخرى:

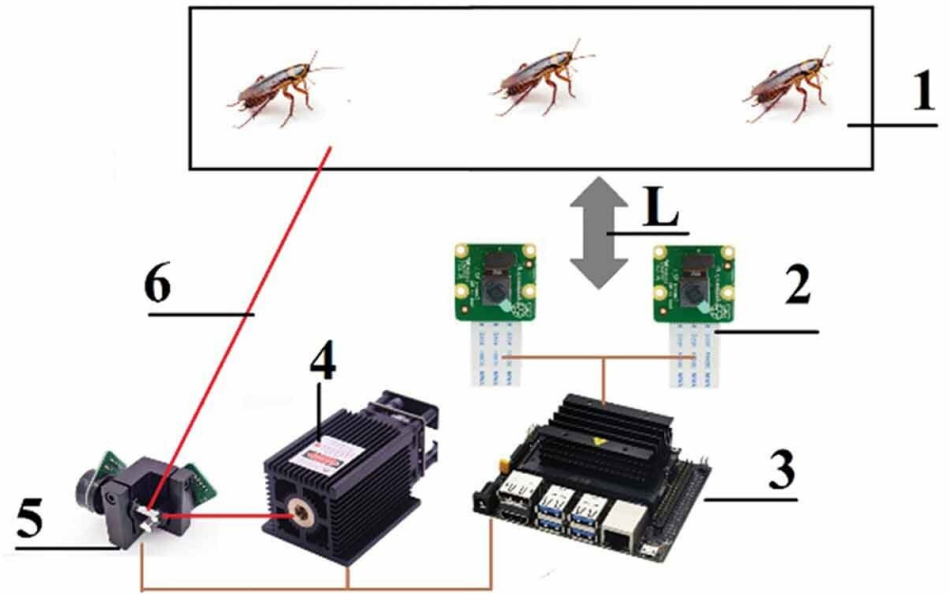
أن حجم البعوض والحشرات الزاحفة في المنازل، وخاصة في الصيف، يُعد المصدر المُزعج والمُزعج حقًا. فحتى لو كنت تتبع إجراءات النظافة الدقيقة، قد يكون من الصعب التخلص من هؤلاء الضيوف الغير المرغوب فيهم بالكامل. ومع ذلك، مع وجود مصباح السفاح الإلكتروني لجذب وقتل البعوض والحشرات الأخرى وهي مصيدة للبعوض والحشرات مع مصباح الكتروني لجذبها وسحبها وقتلها بالصعق، مجهز بمنفذ طاقة USB وهو جهاز صديق للبيئة ويتصف بالاتي :

- **مصيدة الحشرات الضوئية تنتج موجات ضوئية بأطوال موجة 365 نانومتر وهي مصممة خصيصًا لجذب البعوض.**
- **تعمل بطريقة الإبادة المباشرة للبعوض للقضاء عليه بشكل كامل.**
- **شفط قوي عندما تكون البعوضة قريبة من المصباح إلى القاع عبر دوامة هوائية قوية لتقتل البعوض بأسلوب الشفط.**
- **آمن للاستعمال وصديق للبيئة ولا يصدر رائحة أو أشعة ولا يلحق الضرر بجسم الإنسان.**
- **سهل التنظيف عبر إخراج الهيكل السفلي وإفراغ البعوض الميت.**

- **مصدر تغذية الطاقة عبر منفذ يو اس بي قابل للاتصال مع أي جهاز يحوي منفذ يو اس بي كجهاز الكمبيوتر والباور بانك واللاب توب ومحول يو اس بي وغيرها مما يجعل استعماله سهلًا ومريحًا.**
- **خفيف الوزن وقابل للنقل والحمل بشكل مريح ليصبح مناسبًا للاستعمال داخل المنزل أو أثناء التخييم.**
- **قاتل الحشرات الالكتروني يصدر صوتًا منخفضًا أثناء العمل .**

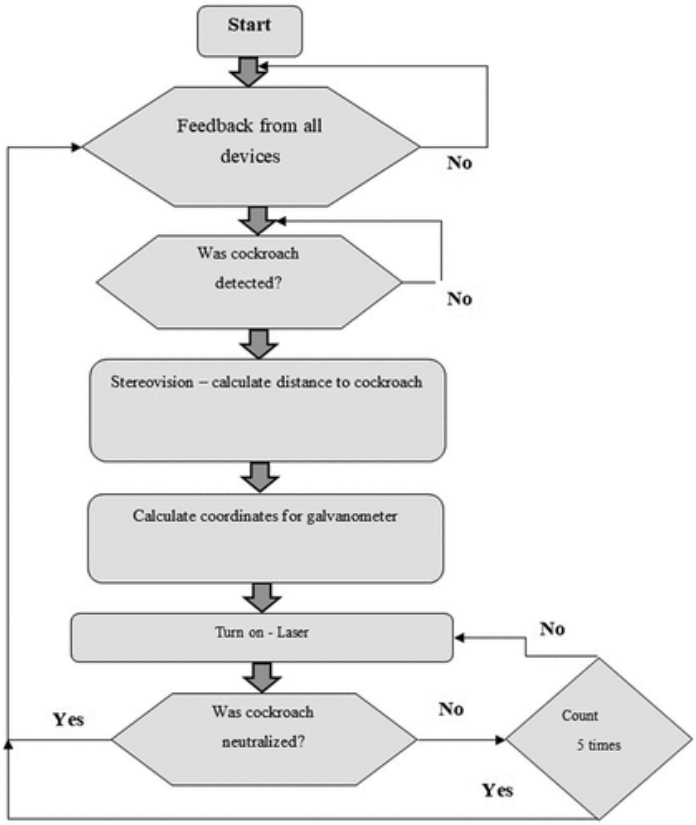
تطوير نظام الليزر الآلي بواسطة الرؤية الآلية
لتحييد وردع الآفات الحشرية المتحركة

يسمح توجيه الليزر عن طريق الرؤية الآلية باستخدام الليزر بشكل أسرع وأكثر انتقائية لتحديد موقع الأشياء بدقة أكبر، وبالتالي تقليل المخاطر المرتبطة بالتعرض لليزر خارج الهدف. صنع (Rakhmatulin, 2021) جهاز يتم التحكم في شعاع الليزر بواسطة مرايا جلفانومترية يقودها كمبيوتر Jetson Nano أحادي اللوحة الذي يستخدم خوارزميات التعلم العميق (الشبكات العصبية) للكشف عن الأجسام المتحركة (شكل 3- 11، شكل 3- 12).



شكل 3-11. رسم تخطيطي لإعدادات الليزر الخاص بصيد الصراصير: 1 – صندوق شفاف يحتوي على الصراصير، 2 – كاميرات Pi، 3 – جيتسون نانو، 4 – ليزر، 5 – الجلفانومتر، 6 – شعاع الليزر، L – المسافة بين جهاز الليزر والهدف.

خوارزمية عملية الليزر لتحييد الصراصير:



شكل 3- 12. نظام ليزر أشباه الموصلات في القضاء على الحشرات

التنبوء بمسار الافات باستخدام اشعة الليزر Laser Beam

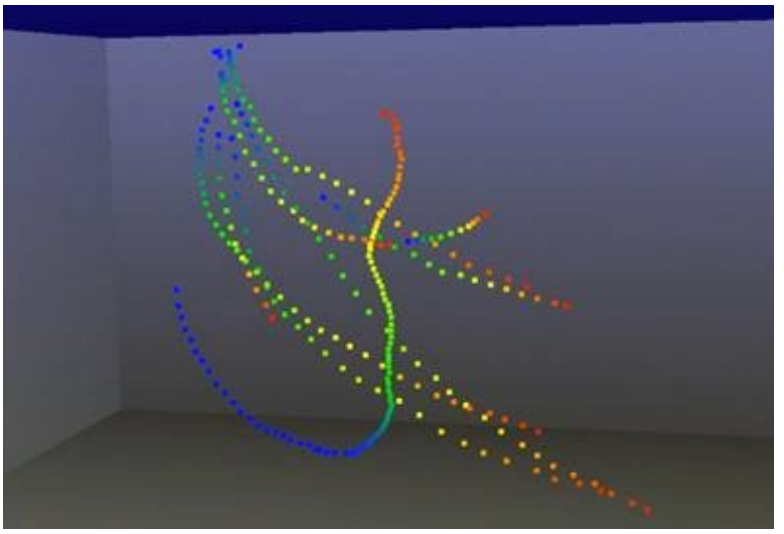
حشرة دودة ورق القطن *Spodoptera litura* طولها حوالي 2 سم، وهي تشبه العث، وتنتشرفي معظم مناطق آسيا. وهي آفة مزعجة لديها القدرة على تطوير مقاومة للمبيدات الحشرية بسرعة. تلتهم يرقات *Spodoptera litura* مجموعة واسعة من المحاصيل مثل فول الصويا والملفوف والطماطم والفراولة، و تسبب أضرارًا واسعة النطاق في جميع أنحاء العالم. ولمكافحة هذه الآفة، تمكن بعض المختصين إلى إطلاق حشرات *Spodoptera litura* البالغة في الهواء، وإبادتها دون مبيدات حشرية قبل أن تضع بيضها في المحاصيل. باستخدام شعاع الليزر بقصف الحشرة من مسافة 10 إلى 30 متر تقريباً، والحرارة الناتجة سوف تقضي على الحشرة.

يستخدم هذا النظام كاميرا استريو تلتقط أولاً المسافة بين الجهاز والآفة، ويكتشف الموقع ثلاثي الأبعاد لدودة ورق القطن *Spodoptera litura*، ثم يقصفه بسرعة بشعاع ليزر. تميل الآفات إلى أن تكون أكثر نشاطًا في الليل، لذلك أجري العمل على اكتشافها في الظلام. ومع ذلك، فقد واجهوا لاحقًا مشكلة عندما أدركوا أن هناك فارقًا زمنيًا من نقطة اكتشاف الآفات إلى نقطة انبعاث الليزر، هناك تأخير طفيف جدًا يبلغ حوالي 0.03 ثانية. ونتيجة لذلك، يكون شعاع الليزر بعيدًا عن الهدف قليلاً لأن حشرة دودة ورق القطن *S. litura* تطير بطريقة غير منتظمة بسرعة حوالي 2 متر في الثانية. ومع أخذ ذلك في الاعتبار، شرع المختصين في تطوير تقنية يمكنها التنبؤ بمسار طيران الحشرة. في البداية، أطلقوا ثمانية من الحشرة في مساحة مظلمة يبلغ عرضها 2.5 متر، وطولها 5 أمتار، وارتفاعها 2 متر. ثم قاموا بالتقاط صور لحركات الحشرات بالكاميرا الاستريو، باستخدام سرعة غالق محددة (الشكل 3-13). وكرر الفريق هذه العملية أكثر من 100 مرة. ثم استخدموا تحليل الذكاء الاصطناعي لـ 100.000 صورة لتحديد أنماط الطيران ثلاثية الأبعاد لدودة ورق القطن *S. litura* .

شعاع الليزر غير ضار إذا لامس جلد الإنسان. ومع ذلك، فإن النظر إلى الشعاع مباشرة يمكن أن يؤدي إلى آثار ضارة على الرؤية البشرية. ولهذا السبب، يقوم المختصين بتضمين تدابير السلامة، مثل إيقاف تشغيل الشعاع في حالة اكتشاف وجود إنسان. وبمجرد تطبيق التكنولوجيا للاستخدام الحقيقي، لن تكون هناك مخاوف بشأن تراجع فعاليتها، كما حدث مع المبيدات الحشرية. كما أنها ستؤدي إلى إبادة آمنة للآفات، مع أقل تأثير على البيئة المحيطة.

وتشمل التحديات المستقبلية كيفية تحسين دقة المواقع المتوقعة للآفات. ومع ذلك، فإن المختصين يعملون بهدف جعل هذه التكنولوجيا حقيقة واقعة في عام 2025. وهناك أيضًا خطط لإضافة طائرات بدون طيار وروبوتات إلى جانب هذه التقنية، للسماح بحرية الحركة عبر مساحات واسعة، بغض النظر عن الوقت من اليوم. وهذا من شأنه أيضًا أن يزيد من الكفاءة، حيث لن يحتاج النظام إلى مراقبة البشر. ويمكن أيضًا استخدام هذه التكنولوجيا لإبادة الذباب والبعوض والصراصير في المنازل، وخاصة في المنازل التي بها أطفال رضع أو حيوانات أليفة، حيث لا يمكن استخدام المبيدات الحشرية. "المختصين متحمسون للغاية لأن تكنولوجيا الإبادة الشبيهة بالخيال العلمي أصبحت حقيقة واقعة تقريبًا. وقالت آية سوجيورا، رئيسة أحد فرق

NARO: "نريد تقليل الأضرار التي تسببها الآفات بدون مبيدات حشرية، والمساهمة في مجتمع مستدام بالإضافة إلى زراعة صديقة للبيئة".



شكل. استخدام الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بمسار الآفات باستخدام الليزر، عن المنظمة الوطنية لبحوث الزراعة والأغذية (NARO).

جهاز ليزر لتحييد البعوض والدبابير الآسيوية والأعشاب الضارة والآفات

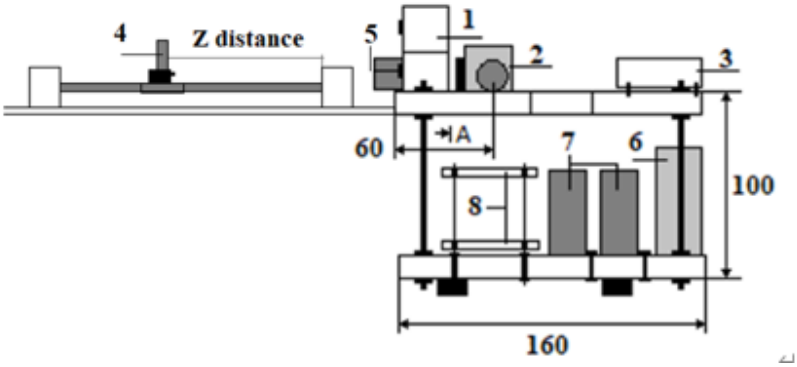
محاذير استخدام اجهزة الليزر

العامل الرئيسي الذي يحد من تطوير هذه التقنية هو خطر الليزر الذي قد يلحق الضرر بالعينين. يمكن أن يدخل الليزر إلى وعاء دموي ويسده، ويمكن أن يصل إلى نقطة عمياء حيث تنتقل الأعصاب من جميع أنحاء العين إلى الدماغ، ويمكن أن تحرق خطًا من "البكسلات" ومن ثم يمكن أن تبدأ شبكية العين التالفة في التقشر وهذا هو الطريق إلى فقدان الرؤية الكامل الذي لا رجعة فيه. وهذا أمر خطير لأن الشخص قد لا يلاحظ في بداية الضرر الناتج عن ضربة الليزر: لا توجد مستقبلات للألم هناك، ويكمل الدماغ الأشياء في المناطق المتضررة (إعادة رسم البكسلات الميتة)، وعندما تصبح المنطقة المتضررة كبيرة بما يكفي للشخص. يبدأ في ملاحظة أن بعض الأشياء غير مرئية. يمكننا تطوير أنظمة أمنية إضافية، مثل الكشف عن الإنسان، وأجهزة الاستشعار الصوتية، وما إلى ذلك. ولكن على أي حال، نحن غير قادرين على جعل

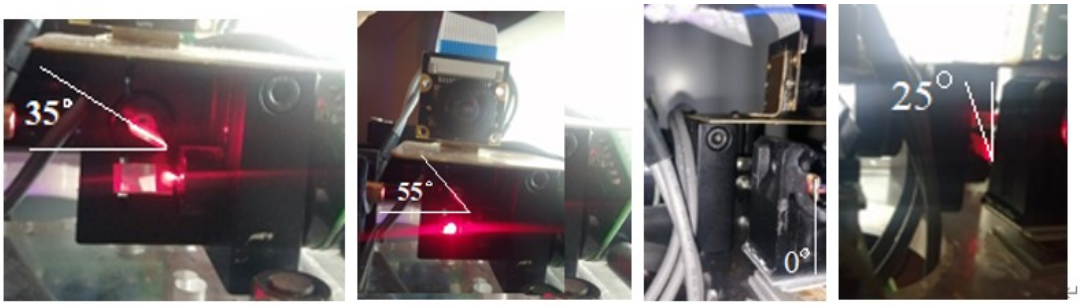
التثبيت آمنًا بنسبة 100٪، حيث أنه حتى الليزر يمكن أن ينعكس ويلحق الضرر بعين الشخص. ليس في مجال رؤية الجهاز وعلى مسافة بعيدة. ولذلك، لا ينبغي استخدام هذه التكنولوجيا في المنزل. لذلك نوصي: لا تستخدم ليزر الطاقة! نوصي بصنع جهاز يتتبع الجسم باستخدام مؤشر ليزر آمن (Idar,2021).

كيف يعمل الجهاز:

يقوم الكمبيوتر ذو اللوحة الواحدة بمعالجة الإشارة الرقمية الصادرة من الكاميرا وتحديد موضع الكائن، وينقل الإشارة الرقمية إلى شاشة العرض التناظرية، حيث يحول الرقمي إلى التناظري الإشارة إلى نطاق 0-5 فولت. باستخدام لوحة بها مضخم تشغيلي ، نحصل على جهد ثنائي القطب، يتم من خلاله تغذية اللوحات المزودة بمحرك الجلفانومتر و تذهب الإشارة إلى الجلفانومتر. يستخدم الجلفانومتر مرايا لتغيير اتجاه الليزر. يتم تشغيل النظام بمصدر الطاقة. تحدد الكاميرات المسافة إلى الجسم. تكتشف الكاميرا البعوض وتنقل البيانات إلى الجلفانومتر، الذي يضع المرايا في الموضع الصحيح، ثم يتم تشغيل الليزر (شكل 3- 14، شكل 3- 15) (Rakhmatulin and Andreasen, 2020)



شكل 3- 14. مخطط جهاز ليزر لتتبع الحشرات: 1 - كاميرات PI، 2 - الجلفانومتر، 3 - جيتسون نانو، 4 - ضبط الموضع على الكائن، 5 - جهاز ليزر، 6 - مصدر الطاقة، 7 - لوحات تشغيل الجلفانومتر، 8 - لوحات التحويل التناظرية.



شكل 3- 15. المواضع القصوى والدنيا لمرايا الجلفانومتر:

أ - الموضع السفلي - 350 للمرآة x.

ب - الموضع العلوي - 550 للمرآة x.

ج - الموضع السفلي - 00 للمرآة y.

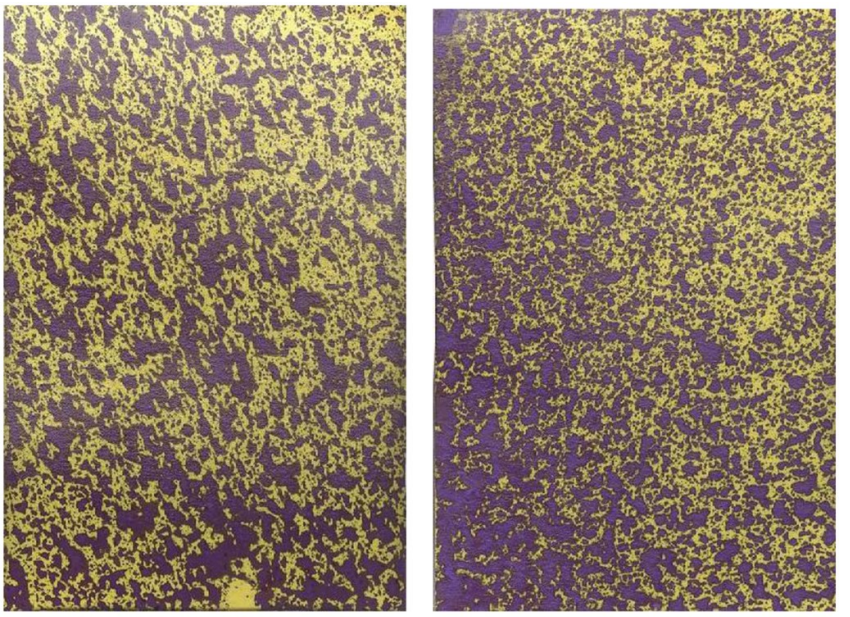
د - الموضع العلوي - 250 للمرآة y.

أستخدام الليزر في تطبيقات الرش الذكي للمبيدات:

صممت تقنية للرش الذكي ذات المعدل المتغير الموجهة بالليزر (شكل3- 16) لتقليل استخدام المبيدات الحشرية بشكل كبير مع التأثير الإيجابي على البيئة. لقد أجريت تجارب مقارنة لتطبيقات الرش الذكية ذات المعدل المتغير والتقليدي بمعدل ثابت لاستخدام المبيدات الحشرية ومكافحة الآفات في مزرعة فواكه في ولاية أوهايو خلال موسمين نمو متتاليين في مزارع التفاح (*Malus pumila*)، والخوخ (*Prunus persica*)، والتوت (*Vaccinium section Cyanococcus*)، والتوت الأسود (*Rubus occidentalis*) هذه الاشجار مصابة بالعديد من الآفات هي عثة التفاح (*Cydia pomonella*)، وعثة الفاكهة الشرقية (*Grapholitha molesta*)، والجرب (*Venturia inaequalis*)، والبياض الدقيقي (*Podosphaera leucotricha*) في التفاح؛ عثة الفاكهة الشرقية، والعفن البني (*Monilinia fructicola*)، والبياض الدقيقي (*Podosphaera pannosa*) في الخوخ؛ ذبابة الفاكهة المرقطة (*Drosophila suzukii*)، وتوت المومياء (*Monilinia vaccinii-*)

corymbosi)، و(*Phomopsis vaccinii*) في التوت الأزرق؛ ولانثراكنوز (*Elsinoe veneta*) في التوت الأسود. كانت هناك خطورة متساوية لهذه للآفات بين تطبيقات الرش الذكية والتقليدية، بينت التجارب أن الرش الذكي باستخدتم الليزر قلل من استخدام المبيدات الحشرية بنسبة 58.7%، و30.6%، و47.9%، و52.5% في المتوسط بالنسبة للتفاح والخوخ والتوت والتوت الأسود، على التوالي (شكل 3- 16 و شكل 3- 17). كما بينت نتائج استخدام هذه التقنية (تقنية الرش الذكي) أكثر صديقة للبيئة من تقنية الرش القياسية التقليدية وهي متساوية أو أكثر فعالية في مكافحة الآفات الحشرية والأمراض في اشجار الفاكهة (Chen, et al. 2020).

شكل 3- 16. جهاز رش ذكي يستخدم مزارع الفاكهه. كان جهاز للرش التقليدي مدعومًا بالهواء تم تجهيزه بنظام التحكم الذكي في الرش الموجه بالليزر والذي يتضمن مستشعر المسح بالليزر، ومستشعر السرعة، وجهاز التحكم التلقائي في معدل تدفق الفوهة، وجهاز كمبيوتر مدمج به خوارزميات، وشاشة تعمل باللمس، ومعدل متغير. فوهات مقترنة بصمام التحكم في التدفق المعدّل بعرض النبضة على نظام توصيل متعدد المنافذ بمساعدة الهواء. Chen, et al. 2020



A B

شكل 3- 17. أستخدام تقنية الليزر في الرش الذكي لمكافحة الحشرات بالمبيدات، البقع الزرقاء قطرات المبيد على الاوراق الحساسة للماء. A الرش التقليدي، B الذكي. Chen, et al. 2020

حشرات المخازن

يمكن العثور على حشرات المنتجات المخزنة في مبنى معين لثلاثة أسباب مختلفة:

1. جائت الحشرات مع مواد خام أو ألواح أو آلات موبوءة.

2. كانت الحشرات موجودة لبعض الوقت وتطورت في المنتجات المتبقية المتراكمة في المناطق غير المراقبة من المبنى أو داخل الآلات.

3. وجدت الحشرات طريقة للدخول من الخارج، حيث جذبها الضوء أو درجة الحرارة أو الرطوبة أو رائحة المواد المتطايرة. وعلى أية حال، فمن المفيد تحديد السبب وراء وجود الحشرات داخل منشأة التخزين أو تجهيز الأغذية من أجل تحسين الوضع والحد من تكرار الحشرات التي قد تكون ملوثة للغذاء. إذا غزت الحشرات المبنى في المواد الخام الموبوءة، أو مواد التعبئة والتغليف مثل صناديق الورق المقوى، أو القماش المشمع، أو الألواح، أو في الآلات الموبوءة، فمن المستحسن إجراء فحص محسّن لجميع البضائع قبل ادخالها الى اماكن

التخزين (Adler, 2015). يمكن اكتشاف وجود الحشرات عن طريق الفحص المنتظم أو عن طريق المعالجة الحرارية عندما تبدأ الحشرات في مغادرة أماكن اختبائها المفضلة. لمنع دخول الحشرات من الخارج، يجب التحقق من إحكام إغلاق النوافذ والأبواب لاماكن التخزين، ونوعية الحشيات بين الإطارات والأجزاء المتحركة. يمكن أن تكون حركة الهواء مهمة أيضًا، حيث أن الضغط المنخفض في المبنى حول الفتحات الخارجية يمكن أن يمنع تطور تسرب الروائح الجاذبة للحشرات ولهذا الغرض طورت العديد من انظمة الليزر للكشف والسيطرة على الحشرات التي تصيب الحبوب والمواد الغذائية سواءا في اماكن الخزن او اماكن تصنيع الاغذية.

نظام السياج الضوئي Photonic Fence

قام Keller (2016) بتطوير نظام ليزر يسمى "السياج الضوئي" لتحديد وتتبع وإسقاط الحشرات الطائرة الصغيرة في البرية، يهدف النظام إلى اختبار المراقبة باستعمال الكاميرا الآلية للأسطح، بالإضافة إلى تحديد أجناس الحشرات وطريقة مكافحة الآفات باستخدام أشعة الليزر كجهاز مكافحة فيزيائي. يمكن استخدام مثل هذه المراقبة الآلية في استقبال المنتجات الخام وتخزين المنتجات النهائية، في المناطق التي لا يوجد بها عمال أو في الساعات التي لا يوجد فيها إنتاج. ومن الناحية المثالية، يمكن اكتشاف الحشرة والسيطرة عليها قبل وضع البيض أو أي ضرر آخر. وهنا ترد بعض التساؤلات:

1. عند أي طول موجي وكثافة ضوئية لا يتم إزعاج حشرات المنتجات المخزنة في نشاطها الطبيعي ولكن يمكن اكتشافها بسهولة عن طريق المراقبة بالكاميرات؟

2. هل يستطيع النظام البصري المستخدم اكتشاف وتحديد أجناس حشرات المنتجات المخزنة بدقة كافية؟

3. هل التنسيق بين الكشف البصري والتحكم بالليزر سريع ودقيق بدرجة كافية للتحكم في مكافحة الافات والسيطرة عليها؟

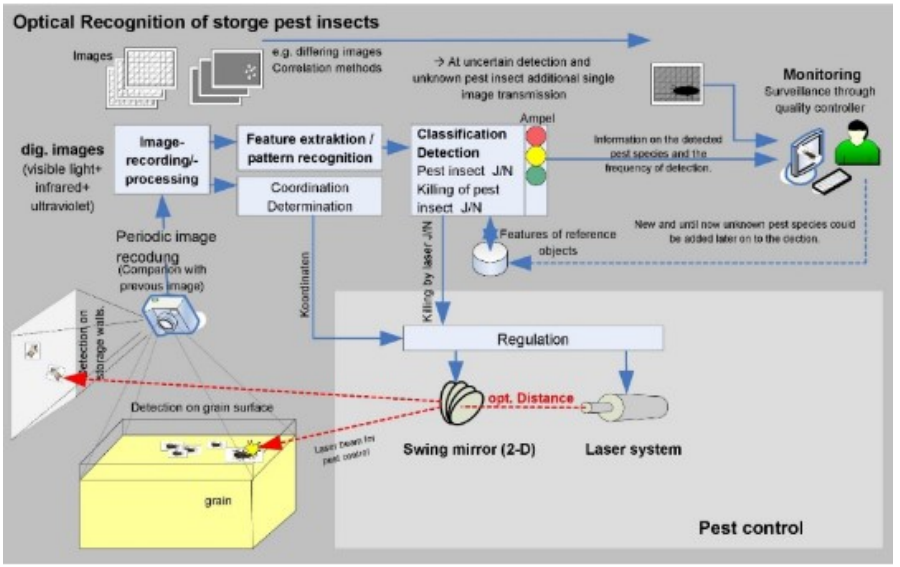
4. هل يمكن استخدام أشعة الليزر لمكافحة الآفات الحشرية دون الإضرار بالبضائع أو الأسطح المجاورة للهدف؟

ستقوم هذه الاجهزة بتقييم احتمالية الاكتشاف المبكر ومكافحة الآفات وستكون بمثابة الأساس لتطوير نموذج أولي للنظام. يسهل اكتشاف حشرات الآفات وتركيب قاعدة بيانات نموذجية في

ظل ظروف بيئية متنوعة وزوايا الكاميرا. و تحسين قاعدة البيانات إذا كانت المعلومات الخاصة بأنظمة الالتقاط (التخزين) المختلفة ذات الظروف المتنوعة وتحفظ في النظام بشكل كامل. باستخدام وحدة الكشف هذه، يمكن إنشاء نظام مراقبة مركزية لخفض تكاليف الموظفين لعمليات التفتيش وتسهيل اتخاذ إجراء سريع . يتم دمج شركاء الصناعة في وقت مبكر، بدءًا من مرحلة التطوير، لضمان دمج المتطلبات التجارية. من خلال هذا النظام، يمكن لشركاء الصناعة تطوير ماسح ضوئي مناسب (مصدر الضوء والكاميرا) في المنطقة الطيفية التي تم تقييمها. يمكن تنفيذ المعالجة المسبقة لبيانات الفيديو في أجهزة الكاميرا، وبالتالي يمكن تقليل نقل كميات البيانات الكبيرة (بيانات الفيديو) بشكل كبير.

الليزر السلاح الجديد ضد آفات المنتجات المخزنة:

قامت مجموعة من الباحثين في المانيا بالتوصل الى طريقة جديدة لاكتشاف افات المنتجات المخزنة والقضاء عليها، وفي المعركة ضد افات المنتجات المخزنة تم اختبار نوع جديد من التكنولوجيا الرقمية التي لاتكتشف الافات فحسب بل تسيطر عليها ايضا وذلك باستخدام الليزر. في مشروع تدعمه الحكومة الألمانية، قام الباحثون باختبار نظام كاميرا محمول تم تطويره حديثًا يقوم بمسح الأسطح في مستودعات التخزين ومصانع تجهيز الأغذية. إذا تم اكتشاف حشرة، تتم مقارنتها بالبيانات المورفولوجية المخزنة لتحديد ما إذا كانت الحشرة المكتشفة هي آفة مستهدفة. إذا تم تحديدها على أنها آفة – مع احتمالية عالية (أكثر من 80%) – يتم توجيه شعاع الليزر إلى الهدف للقضاء على الحشرة عن طريق الحرارة. ثم يتم تسجيل الإجراء في نظام المراقبة المركزي (شكل 3- 18).



شكل 3- 18. مخطط النظام الكامل للكشف ومكافحة الآفات باستخدام الليزر. عن Adler, 2018

يعتمد برنامج التعرف على تحليل الأنماط، المعروف باسم التعلم العميق " Deep learning"، وتزداد دقة هذا البرنامج مع جمع المزيد من البيانات. فإذا كانت الحشرة الآفة لا تتطابق مع أحد تلك المخزنة في قاعدة البيانات، تتم إضافة الأنواع الجديدة، مع بيانات الصور والفيديو المقابلة، بالإضافة إلى العينة المادية المخزنة في البرنامج. الهدف على المدى البعيد هو تطوير نظام قادر على تعلم وتحديد عدد متزايد من أنواع الحشرات المختلفة مع مرور الوقت. كما هو الحال مع أي نوع من التكنولوجيا الجديدة، لا تزال هناك بعض المشكلات الناشئة. وهي دقة الكشف عن الآفات وتحديد هويتها – خاصة على النقيض من الحبوب – تحت إعدادات الإضاءة المختلفة. الاختبارات الأولية التي يجريها فريق البحث الألماني إلى سوسة الحبوب *Sitophilus granaries* (Coleoptera: Curculionidae) وعثة الطحين الهندية (*Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae تحت ظروف الإضاءة المختلفة. سيقوم الفريق أيضًا بفحص أطوال موجات الليزر وكثافتها المختلفة - والحاجة هي القضاء على الحشرة دون الإضرار بالأسطح والأشياء الموجودة أسفل الآفة المستهدفة أو بجوارها (شكل 3- 18).

وفي حالة نجاح هذا البرنامج، فإن نظام الكشف سيمكن مسؤولي المنتجات المخزنة من إنشاء نظام مراقبة مركزي، مما سيؤدي بدوره إلى خفض تكاليف الموظفين لعمليات التفتيش والسماح باتخاذ إجراءات فورية ضد الآفات. ستكون مثل هذه المراقبة الآلية جزءًا لا يتجزأ من نظام المكافحة المتكاملة للآفات (Integrated Pest Management (IPM ويمكن استخدامها في استقبال المنتجات الخام وتخزين المنتجات النهائية، خاصة في المناطق التي لا يوجد بها عمال أو في الساعات التي لا يوجد فيها إنتاج (Kern, 2019).

تاثيراشعاع الليزر النبضي Nd:YAG في خنفساء اللوبيا *Callosobruchus maculates*

درس Rashid and Mahdi (2018) تأثير إشعاع الليزر النبضي Nd:YAG في خنفساء اللوبيا *Callosobruchus maculates* من حيث التغيرات في المظهر الخارجي (الشكل واللون)، وحساب نسبة الوفيات الناجمة عن استخدام ليزر Nd:YAG بطول الموجي (1064 نانومتر) وطاقات: (300، 360، 420، 480) ملي جول وأوقات التعرض (10، 20، 30) ثانية لكل طاقة بـ (5 نبضة/ ثانية)، عندما كانت المسافة (10 سم) بين مصدر الليزر والعينة. وأظهرت النتائج ارتفاع نسبة الوفيات بين خنفساء اللوبيا بالإضافة إلى زيادة التشوهات عند زيادة طاقة الليزر و زيادة زمن التعرض، وكانت النتائج بعد مراحل زمنية: 12 ساعة، 24 ساعة و 48 ساعة فبينت التأثيرات الحرارية لليزر على الأنسجة حيث أدى الانتشار الحراري إلى تلف جسم الحشرة وبالتالي زيادة معدلات الوفيات.

كما درس تاثيرإشعاع الليزر النبضي Nd:YAG على خنفساء االطحين (*Tribalium castaneum*) بدلالة التغيرات في المظهر الخارجي لهذه الحشرة (الشكل واللون) وحساب نسبة الوفيات الناجمة عن إشعاع ليزر Nd:YAG ذو الطول الموجي (1064 نانومتر) بالطاقات: (260، 300، 340، 380، 420) ملي جول وزمن التعريض (10، 15، 20) ثانية لكل طاقة بـ (5 نبضة/ ثانية)، عندما كانت المسافة (20 سم) بين مصدر الليزر والعينة. واظهرت طاقة الليزر زيادة في نسبة موت خنفساء الطحين بالإضافة إلى زيادة التشوهات كلما زادت طاقة الليزر وزاد زمن التعرض.

تاثير الليزر في خنافس الجلود *Trogoderma versicolor*

درس تاثير الليزر في نوعين من الحشرات : يرقات خنفساء الجلود *Trogoderma versicolor* وبالغات الصرصور *Periplaneta Americana* بنبضات ليزر ياقوتية ذات شدتين، 0.06 ± 0.04 لكل 7 - 10 ثانية و0.57 ± 0.06 جول لكل 0.2 مللي ثانية. وكانت مناطق تأثير الليزر 1.5 ملم. تسببت الشدة الأولى، الموجهة إلى المناطق الرأسية ليرقات خنافس الجلد، في الوفاة خلال 3-48 ساعة وتسببت نفس الشدة الموجهة إلى مناطق منتصف بطن اليرقة الى ظهور غلاف خارجي مرئي وحرق شعر الجسم وتوقف التغذية ومعدل النمو والحركة وفقدان الاستجابات الضوئية السلبية. اما توجيه الليزر إلى مناطق البطن الخلفية لليرقات تسبب في تلف طبقة البشرة بشكل ملحوظ في أربعة انسلاخات متتالية كما تسبب في عدم الحركة المؤقتة (10-15 دقيقة) وفقدان الانجذاب الضوئي السلبي عند توجيهه إلى مناطق الصدر لدى بالغات الصراصير. تأثرت بالغات الصرصور *P. americana* بشدة بالتعرض الثاني بالليزر، حيث أظهرت عدم القدرة على الحركة، وفقدان الانجذاب الضوئي السلبي، والتوقف عن الأكل وإجمالي في الوفيات للبالغات المعرضة لاشعة الليزر خلال 8-14 يومًا مقارنة بـ 45-68 يومًا في عينات المقارنة بدون استخدام الليزر (Wilde, 2012).

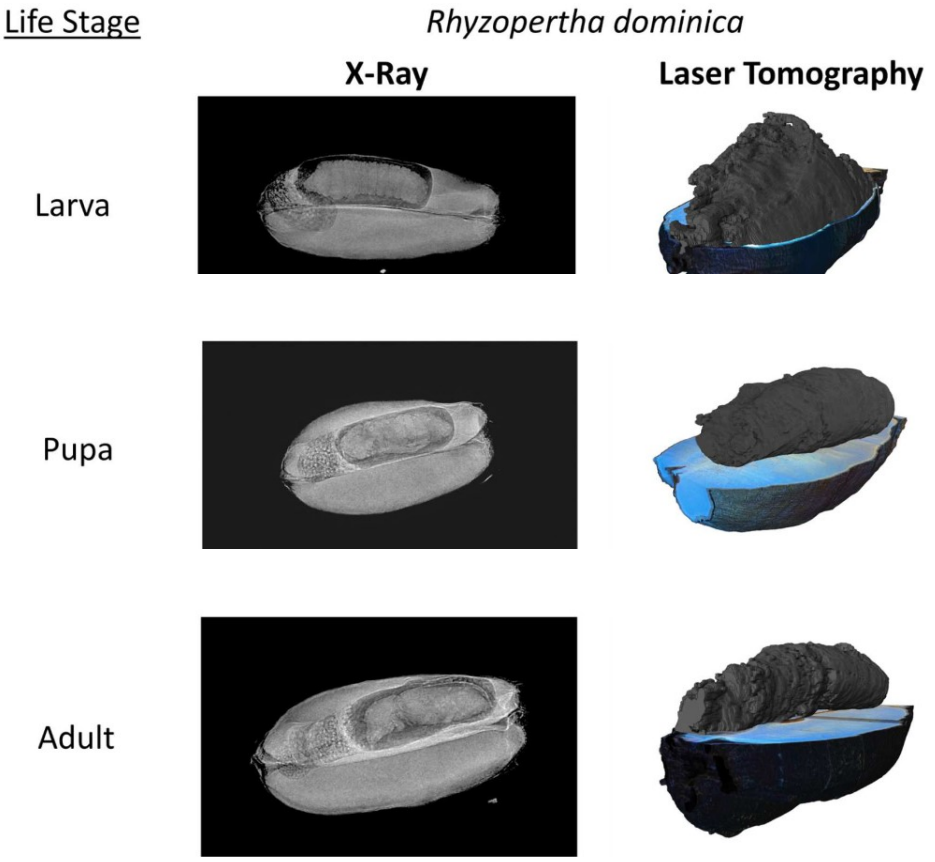
حشرة خنفساء الطحين الصدئية *Tribolium castaneum*

درس حمودي واخرون(2018) تأثير اشعة الليزر على حشرة خنفساء الطحين الصدئية *Tribolium castaneum* من حيث التغيرات التي طرأت على المظهر الخارجي لهذه الحشرة من ناحية الشكل واللون وكذلك حساب نسب القتل المئوية لها نتيجة التشعيع بليزر دايود بطول موجي (532 نانومتر) وبقدرة (1 واط) والذي اجري على ثلاث مسافات :10، 15، 20 سم وبفترات تعرض زمنية لاشعاع الليزر: 10، 15 و20 ثانية لكل مسافة، بينت النتائج زيادة نسب القتل المئوية لخنفساء الطحين اضافة الى زيادة التشوهات فيها كلما قلت المسافة بين الحشرات ومصدر الليزر وكلما زاد زمن التعرض لاشعاع الليزر، وقد تم ملاحظة نتائج تأثير المعاملة الليزرية هذه على مراحل زمنية وهي بعد مرور (12 ساعة) ثم ملاحظتها بعد مرور 24 ساعة ثم بعد (48 ساعة) ثم (72 ساعة) ، وكانت نسبة القتل (100%)عند المسافتين 15 ، 20سم بعد مرور (72 ساعة) بعد التعرض لليزر.

التصوير المقطعي بالليزر كتقنية واعدة لتقييم جودة الحبوب وتطور الحشرات الداخلية في المنتجات المخزنة

في الآونة الأخيرة، كانت هناك بعض الابتكارات في تكنولوجيا التصوير يتم من خلالها إجراء 80 تصويرًا مقطعيًا محوسبًا حيث تمتلك الكاشفات الأكثر شيوعًا غرف تأين مملوءة بالزينون عن طريق تقنية جديدة للاستئصال بالليزر ثلاثي الأبعاد. ان التصوير المقطعي بالليزر Laser Ablation Tomography (LATscan) هو أحد الأساليب المستخدمة في هذا المجال (Morrison, et al. 2019). لقد استخدم الباحثون هذه التكنولوجيا لدراسة تشريح النباتات والحشرات في النظم الزراعية وعلى سبيل المثال استخدمت تقنية LATscan لدراسة تطور الشيخوخة في الجذور، وموت الخلايا المبرمج في جذور كما استخدمت هذه التكنولوجيا لقياس ومقارنة الأوعية الناقلة في فروع البلوط والزان والتنوب، كما درست بواسطتها التعايش التكافلي بين الفطريات Symbiotic fungi وخنفساء Ambrosia beetle واستخدمت كذلك في الكشف عن تاثر جودة الحبوب المخزونة عن طريق التغايرات الداخلية وتشريح النواة في الحشرات التي تصيب هذه الحبوب. أن أحد المقاييس المهمة التي يجب تقديرها في اصابة الحبوب المخزونة بالحشرات هو فقدان حجم محتوى الحبوب بسبب الإصابة الداخلية، سابقا كان يقدر ذلك من خلال التصوير بالاشعة السينية الناعمة وتحليل الصور الشعاعية. أما التصوير المقطعي بالليزر Laser Ablation Tomography (LATscan) فقد استخدام ليزر فوق بنفسجي بطول موجة 355 نانومتر ومدة النبض الليزر المستخدم للتصوير كان أقل من 30 نانو ثانية وكان يوفر طاقة نبضية تقريبًا 169260 ميكروجول. ويتراوح معدل تكرار النبض بين 15 و30 كيلو هرتز وبذلك يتم الحصول على صورة مقطعية تم التقاطها لكل نواة حبة ومن ذلك يتم إجراء قياسات حجم التجاويف في الحبوب في برنامج FEI Avizo (شكل 3- 19). لذلك يعد استخدام تقنية التصوير المقطعي بالليزر LATscan لتقدير مقاييس تطور الحشرات داخل الحبوب المخزونة كونه يصمم نموذجًا لحجم النواة بمقياس ميكرون بالاضافة الى التالق الذي يحدثه الليزر الذي لايمكن الحصول عليه عند التصوير المقطعي بالأشعة السينية لأنه يسمح ببيانات قابلة للتجزئة تركيبيًا فضلا عن كونه اسرع من التصوير المقطعي بالاشعة السينية. كما تم الحصول على صور مقطعية لحبات القمح بواسطة التصوير المقطعي بالليزر المكافئ

LATscan خلال مراحل مختلفة من حياة الخنافس *Sitophilus zeamais* و*Rhyzopertha dominica* وكذلك الصفات المورفولوجية مثل: أ) النواة السليمة، ب) مرحلة حياة الحشرة، ج) جزء من النواة تستهلكه الحشرات، ود) تراكم الفضلات.



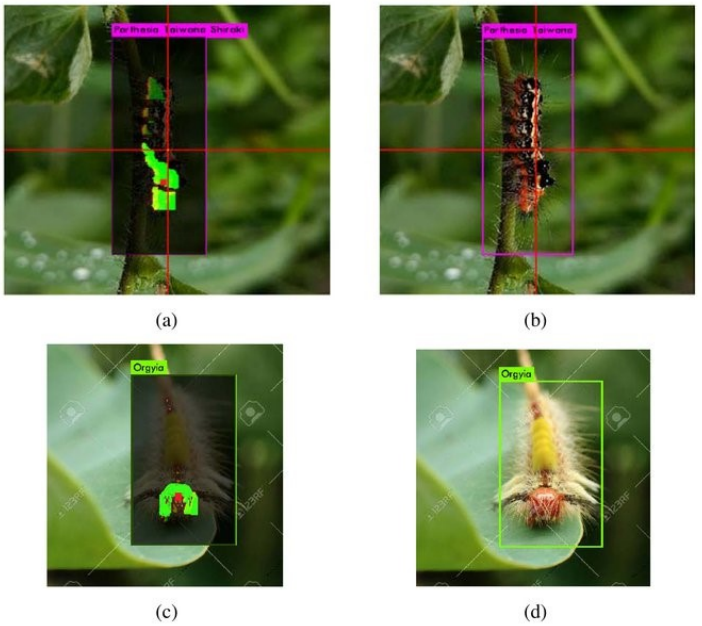
شكل 3- 19. صور Habitus للمخرجات من التصوير بالأشعة السينية (يسار) والتصوير المقطعي بالليزر المكافئ LATscan (يمين) لنفس النواة لمراحل حياة مختلفة من الاصابة بحشرة *Rhzyopertha dominica* داخل نواة القمح . على اليمين مساحة فارغة نتيجة تغذية الخنافس بالاضافة الى الحجم الذي تشغله الحشرة في حبة قمح يتراوح حجمها بين 3.4-3.7 ملم. عن Morrison, et al. 2019

التعرف الذكي على الافات Intelligent pest recognition

التعرف على يرقات الآفات من خلال التقاط صور اليرقات باستخدام كاميرا Basler بدقة 1280 × 960 وببعد بؤري 12 ملم وتعمل مجموعات صور منفصلة لهذه اليرقات. تستخدم هذه الصور للتدريب دون الاتصال بالإنترنت وإنشاء نتائج التدريب لشبكة التعلم العميق على NVIDIA Jetson TX2. يمكن تصنيف اكتشاف الكائنات باستخدام التعلم العميق المعتمد على الشبكات العصبية التلافيفية deep learning based on Convolutional Neural Networks (CNN) (CNN) إلى نوعين: الكشف على مرحلة واحدة والكشف على مرحلتين. تعد تقنيات المرحلة الواحدة بشكل عام أخف في المتطلبات الحسابية مقارنةً بالكشف على مرحلتين. يتم تصغير حجم الصور الأصلية الملتقطة بمقدار 3 إلى 4.5 مرة، ويتم تدويرها في جميع الزوايا مع زيادة بمقدار 10 درجات في كل تكرار ويتم تطبيعها من أجل السطوع. تحرر الصورة إلى 448 × 448 بكسل. ويتم تدريب الشبكة باستخدام العديد من الصور تتجاوز710 صورة لتدريب الشبكة و501 صورة للمعايرة. وبعد التدريب والاختبار، يتم استخدام النظام للكشف في الوقت الحقيقي عن اليرقات المذكورة. من أجل استخدام الليزر بكفاءة، يجب تعريض شعاع الليزر على الجزء الأكثر أهمية في اليرقة، وهو الرأس. واشارت الدراسات أن اليرقات المستخدمة لها ألوان مختلفة على الرأس والجسم. في حالة يرقات *Orgyia Postica*، يكون لون الجسم أصفر ساطعًا بينما يكون لون الرأس أحمر اللون (شكل 3- 20). لذلك، يتم تحويل مساحة ألوان RGB إلى مساحة ألوان HSV ويتم استخدام مرشح بشكل فعال للتعرف على الرأس. يتم تصنيف وحدات البكسل التي كانت داكنة جدًا على أنها بيضاء. في حالة حشرة *Porthesia Taiwana* تم الحفاظ على مساحة ألوان RGB وتم استخدام خوارزمية مختلفة لتصنيف الأجزاء الصفراء والحمراء من جسمها بكفاءة على أنها حمراء وكل الألوان الأخرى على أنها سوداء (شكل 3- 20). بعد هذا التحويل، تم استخدام k-means clusting لتحديد مركز الرأس ويتم توفير هذه الإحداثيات المحددة لليزر.

ولتقدير كثافة الطاقة اللازمة لشل أو قتل اليرقة، اجريت بعض التجارب، وقبل البدء بالتجارب تم تجويع اليرقات لمدة 2 إلى 3 ساعات. بعد ذلك، تم تخدير اليرقات عن طريق وضعها على الجليد لمدة 5 إلى 6 دقائق. كان لشعاع الليزر الموازي حجم بقعة شعاع يبلغ 2.5 مم وقوة

1.735 واط في العينة وعرضت اليرقات لنوعين مختلفين من التعرض. وفي تجارب اخرى، تم تعريض اليرقات لأشعة طويلة مدتها 1.2 و2 ثانية مباشرة على الرأس وتم ملاحظتها تحت المجهر مباشرة وبعد 9 ساعات لتحليل الضرر. وفي وقت لاحق، تم وضعها في حاويات مع أوراق النبات المضيف لتقييم الضرر الذي لحق بقدرتها على البحث عن الطعام. وفي مجموعة أخرى من التجارب، تم تعريض اليرقات لنبضات متتالية بطول 700 مللي ثانية و500 مللي ثانية و400 مللي ثانية لدراسة تأثير التعرض لنبضات متتابعة صغيرة منفصلة والأضرار المتراكمة الناتجة. تم تنفيذ ذلك مع الأخذ في الاعتبار احتمال تحرك اليرقة في البيئات الطبيعية، مما يجعل نبضة الليزر الطويلة الثانية غير فعالة. كما تمت ملاحظة هذه اليرقات تحت المجهر مباشرة وبعد 20 ساعة وتم اختبار قدرتها على التغذية بأوراق النبات المضيف.

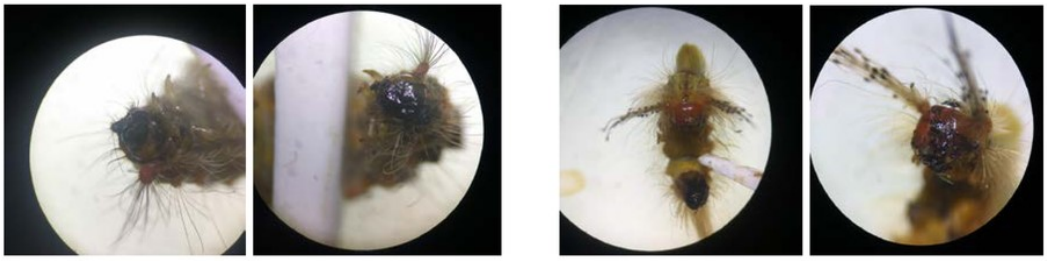


شكل 3- 20. نظام مكافحة الآفات بالليزر السريع مع كشف الأجسام الصغيرة ثلاثي الأبعاد 3D.

(a)رأس حشرة *Porthesia Taiwana* ، (b) حشرة *Porthesia Taiwana* ، (c) رأس حشرة *Orgyia Postica* و (d) حشرة *Orgyia Postica*. عن Nair, et al. 2020

تعرض اليرقات المباشر لاشعة اليزر:

عند فحص رأس اليرقة تحت المجهر، يمكن اكتشاف إصابات الحروق السوداء. تم حفظ اليرقة في حاوية مفتوحة معقمة مع طعامها وفحصها بعد 9 و 20 ساعة لوحظ أن اليرقة التي تتعرض لمدة 1.2 ثانية تقلصت نبضة الليزر الطويلة إلى ما يقرب من 90٪ من حجم جسمها الأولي (الشكل 3- 21) والتي تعرضت لمدة ثانيتين. تقلصت نبضة الليزر الطويلة إلى ما يقرب من 78% من حجم جسمها الأولي، مما يدل على تدهور الحالة الصحية لليرقة. أما بعد 20 ساعة، لوحظ أن اليرقات التي تعرضت لنبضات متتالية طويلة ومتحكم فيها بالمللي ثانية قد تقلصت إلى ما يقرب من 50% من حجمها الأصلي (الشكل 7 - ب) ، مما يشير إلى نجاح هذا النهج أيضًا. كما أنه في كلتا الحالتين لم يكن هناك أي تغيير ملحوظ في طعامها (الأوراق)، مما يؤكد عدم قدرة اليرقات على تناول أي طعام.



ب **أ**

شكل 3- 21. يرقة *Porthesia Taiwana* بعد التعرض الى الليزر ، (أ) بعد 9 ساعات، (ب) بعد 20 ساعة.

أن النجاح في تطوير نظام لمكافحة الآفات مع نظام رؤية أحادي متكامل وقدرات المسح السريع بالليزر إلى جانب الكشف الذكي عن الآفات باستخدام شبكة YOLO العميقة. اثبت امكانية التعرف 100% لاثنين من يرقات الخنافس التي تم اختبارها بمسافة العمل 120 سم وكان الحد الأقصى لخطأ تحديد الموقع حوالي 1 ~ 2 مم. تم استخدام وسائل التجميع للعثور على المركز التقريبي للرأس لنبضات ليزر تبلغ 1.2 ثانية. و 2 ثانية. وقد وجد أن اليرقات فقدت قدرتها على البحث عن الطعام وأن صحتها تتدهور بسرعة نتيجة لانخفاض حجم جسمها وعدم حدوث أي تغييرات في الأوراق. وبالتالي، تم تطوير واختبار نظام متكامل قادر على اكتشاف الأجسام

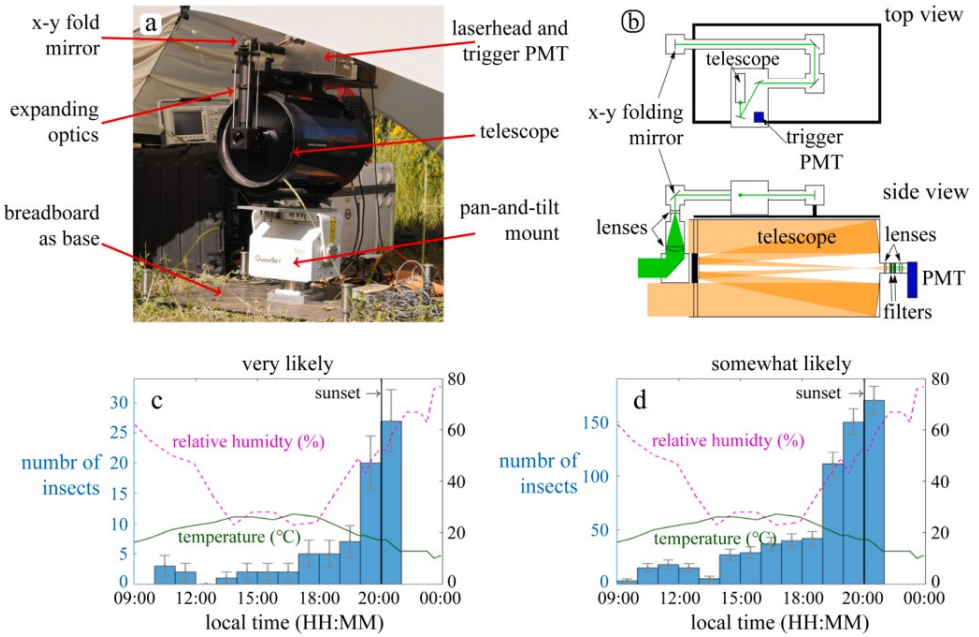
الصغيرة في الوقت الحقيقي باستخدام التعلم العميق والمسح بالليزر المتحكم فيه لإحداثيات دقيقة كبديل للطرائق التقليدية لمكافحة يرقات الآفات ، مما يشير إلى التنفيذ المستقبلي الناجح لهذه الطريقة. للسيطرة على سكان الخنافس (Nial, et al. 2020).

رصد ومراقبة الحشرات على أساس الاستشعار عن بعد بالليزر:

تساعد مراقبة الأنشطة الحيوانية في تقييم تأثيرات الظروف البيئية والعوامل البشرية المختلفة المنشأ، في السنوات الاخيرة تطورت طرائق الرصد المتعلقة بعلم الحشرات المعتمدة على الرادار والرؤية الآلية وغيرها من التقنيات التي تمكن من مراقبة نشاط الحشرات عبر الإنترنت ودراسة استجابة مجموعات الحشرات لتغيرات الضروف البيئية مثل الطقس وهناك أربعة تطبيقات محددة لرصد الحشرات على أساس تقنيات الاستشعار عن بعد بالليزر، بما في ذلك وضع المصيدة الإلكترونية، أو جمع الضوء المتناثر من الحشرات المستهدفة في الفضاء المفتوح، ومراقبة نشاط سكان الحشرات بشكل غير مباشر عن طريق الرسم (Wang, et al. 2013).

يمكن للرصد المستمر المعتمد على الليزر التمييز بين مجموعات الحشرات بالإضافة إلى المسح ويمكن تطبيق تقنية الليدار Lidar ورسم الخرائط لرصد الحشرات ونشاطها السكاني بشكل غير مباشر لان هذه التقنية لها القدرة على رسم خريطة لتقييم تجمع وهجرة الكائنات الحية ومنها مجموعات الحشرات العاشبة وتساعد في التنبؤ بالانفجار السكاني لاعداد الحشرات (شكل 3- 21) بالمقارنة مع طرائق المراقبة التقليدية في اخذ العينات والصيد الكيميائي

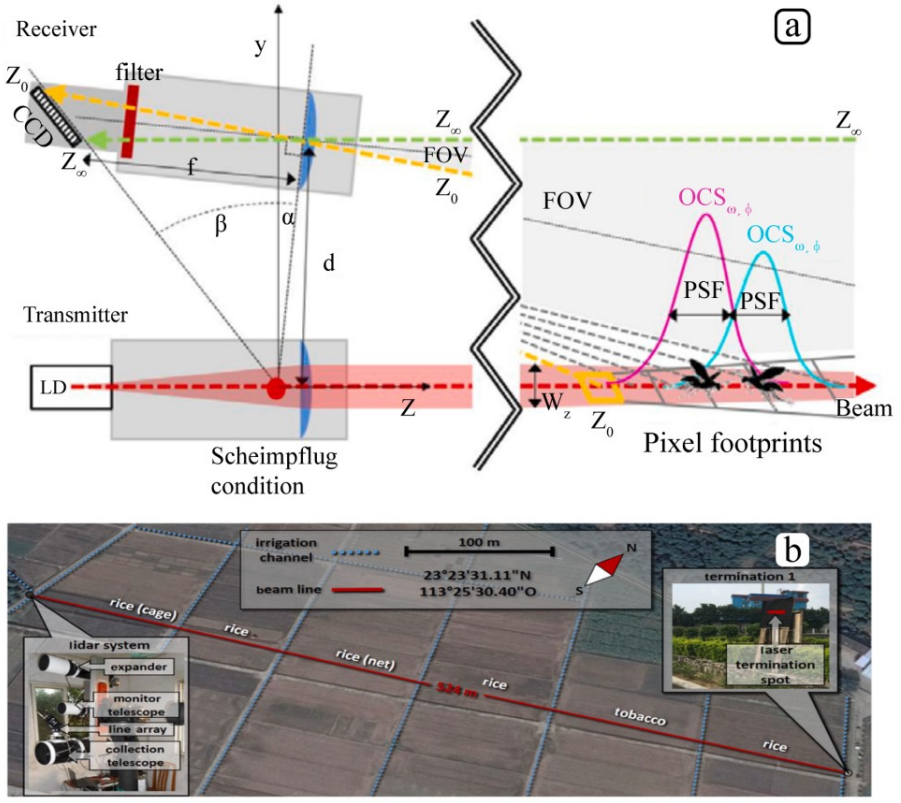
وهذا بدوره يقلل من تكاليف العمالة في هذا المجال، أن تكنولوجيا الاستشعار عن بعد بالليزر هي طريقة مبتكرة في علم تطبيقات الرصد لفهم انماط سلوك الحشرات بشكل اكثر دقة، في المستقبل، سيكون لتكنولوجيا الاستشعار عن بعد بالليزر تطبيق واسع النطاق في آفاق رصد الحشرات.



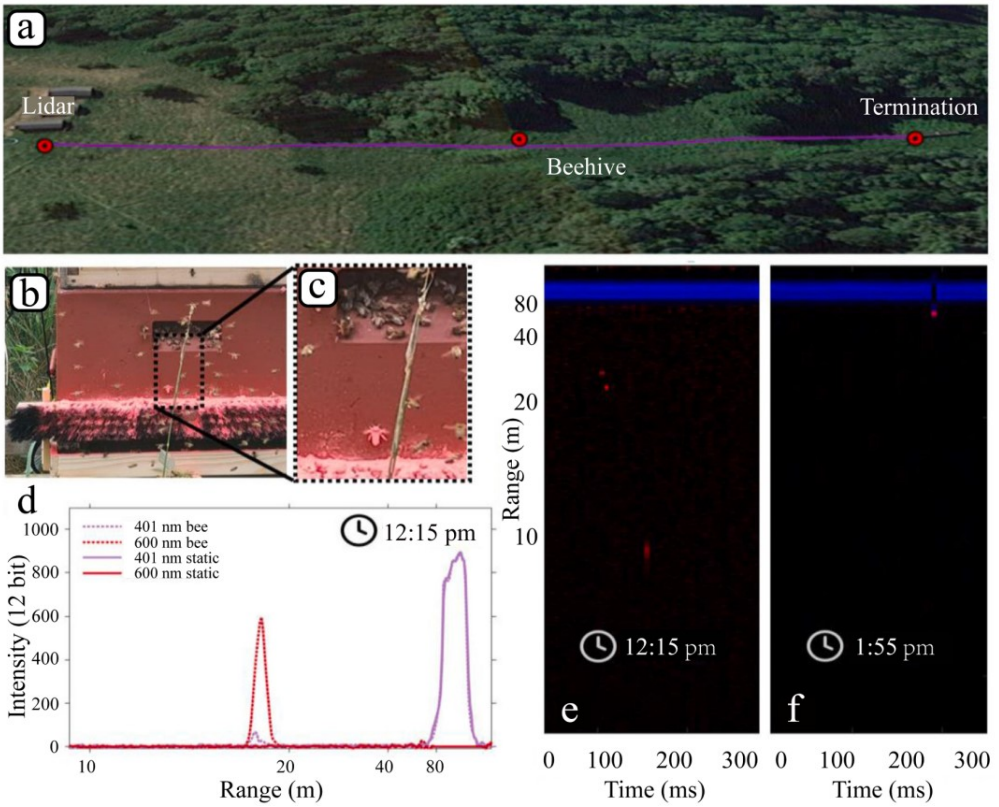
شكل 3- 21. نظام مراقبة يعتمد على الليزر النبضي في الفضاء المفتوح. (a) نظام ليدار Lidar system في الفضاء المفتوح. (b) رسم تخطيطي للإعداد البصري Optical setup. (c)، (d) عرض الرسوم البيانية لعدد الحشرات ومدى نشاط الحشرات مع مرور الوقت. عن (Tauc et al., 2019).

أن جمع وتحليل الضوء المرتد من الحشرة الى الليزر يتيح لمراقبة الحشرات في الوقت الحقيقي في العديد من التطبيقات، يتم استخدام أنواع مختلفة من الليزر في طريقة الرصد المعتمدة على الضوء المتناثر (شكل 3- 22). يستخدم النظام المعتمد على الليزر النبضي Pulsed laser-based monitoring system بشكل أساسي لمراقبة نشاط الحشرات في الفضاء الحر. اما استخدم النظام المعتمد على الليزر النبضي continuous-wave laser-based monitoring system بشكل أساسي لمراقبة نشاط الحشرات في الفضاء الحر مخصص للحشرات ذات النشاط العالي وفي هذا المجال نجح الباحثون في مراقبة نشاط نحل العسل على منصة تغذية على بعد 1300 متر باستخدام ليزر 355 نانومتر مع 30 نبضة في الثانية (1-40 مللي جول، وتم بنجاح تحديد نشاط نحل العسل ضمن مساحة 1000 م2 في مسافة 83 م باستخدام 100 مللي جول من الليزر 532 نانومتر. اما طريقة الرصد عن طريق قاعدة التالق Fluorescence-based monitoring method وفيها يتم التالق عن طريق التألق

المستحث بالليزر، فيتم تحفيز التالق عن طريق التحول الاشعاعي وهذه الطريقة لها انتقائية جيدة وتستخدم أيضًا في مراقبة الحشرات (شكل 3- 23) وهي طريقة متشابهة مع طريقة الرصد المستندة إلى الضوء المتناثر، ويتم فيها استخدام الأطوال الموجية 355 نانومتر و266 نانومتر بشكل شائع بسبب ذلك ترتبط خصائص تالق الحشرات مع تركيب اجسامها وقد وجد الباحثون اختلاف طفيف بين درجة تالف اجسام الحشرات الذكور والاناث على مسافة 60 مترًا ضمن نطاق الطول الموجي 400-600 نانومتر علاوة على ذلك، تم استخدام نفس الطريقة تقريبًا للكشف عن عينات النباتات ولوحظت أيضا اختلافات طيفية بين عينات النباتات في نطاق طول موجي 400-750 نانومتر



شكل 3- 22. منظرً جويً لمزرعة تتميز بالمقطع المكاني وإعدادات نظام الليدار وواجهة الليزر. عن Malmqvist, et al. 2018



شكل 3- 23. مراقبة التالق لنحل العسل. (a) رسم تخطيطي Schematic diagram of the on-site layout of the fluorescence lidar. (b)، (c) خلية نحل مع وضع علامات صبغية تلقائية الجهاز والنحل يطير حوله. (d) Fluorescent lidar يلتقط الإشارات من النحل ذو العلامات الصبغية. (e)، (f) حدثان مسجلان للنحل ز الذي يدخله شعاع الليزر. عن Månefjord et al., 2022

اما طريقة المراقبة غير المباشرة Indirect monitoring method تستند على امكانية استخدام رسم الخرائط لتحليل تأثير الحشرات على هيكل مظلة الشجرة وبالتالي توفير تأثير غير مباشر في فهم المعلومات الخاصة بمجموعات الحشرات. مقارنة إلى طريقة المراقبة المباشرة المستندة إلى الضوء المتناثر، تتمتع هذه الطريقة بفترة مراقبة أطول ويتم تطبيقها في البيئات المعقدة مثل الغابات

الفصل الرابع

رادار الحشرات Insect Radar

من بين جميع طرئق الاستشعار عن بعد، يعتبر الرادار هو الأكبر والأكثر واعدة من بين الطرائق الفيزيائية للكشف عن الحشرات. يتمتع رادار الحشرات بتاريخ طويل وإمكانات كبيرة لسد الثغرات المذكورة في أحدث حلول لبرامج المراقبة والسيطرة على الحشرات. فهو يتيح حلولاً منهجية وعالمية تعالج التحديات الرئيسية لرصد الحشرات وعلى الرغم من التاريخ الطويل، لا يزال رادار الحشرات موضوعًا متناميًا مع تحديات متعددة ومشاكل لم يتم حلها.

يبلغ تاريخ رادار الحشرات حوالي 70 عامًا وتم استكمالها بأعمال بارزة أخرى تركز على الكشف عن الحشرات الفردية عن طريق: الحجم ، ضربات الجناح والكثافة السكانية واتجاه السرعة الجوية، ومدة الطيران ومداها. تم تلخيص الإنجازات البحثية المبكرة الخاصة برادار الحشرات بواسطة (Riley, 1980). ثم قامٌ(2012) Drake وجماعته، في كتابهما الشهير عن علم الحشرات الرادارية، نظرة عامة منهجية على تطبيقات وحلول رادار الحشرات قبل عام 2012. تستمر الأعمال الحديثة في سد الفجوات البحثية الانظمة والمعدات الهندسية الخاصة برادار الحشرات (شكل 4- 1 أ، ب) والذي سيكون له دور كبير في حفظ التنوع البيولوجي وادارة الافات والزراعة بشكل عام.

شكل 4-1 أ. رادار الحشرات

شكل 4- 1 ب. رادار الحشرات

تركز العديد من الأعمال الحديثة على طرق معالجة معلومات المقطع العرضي للرادار (RCS) Radar Cross-Section، أنجزت العديد من الابحاث حول المقاطع العرضية للحشرات في ظروف المختبر واعمالا باستخدام ترددات متعددة وأنواع حشرات متعددة، وتوصلت الابحاث إلى أن نتائج القياس أكدت فعالية النظام القائم ودقته، كما استخدمت طريقة لتقدير كتلة الحشرات وكانت أفضل دقة تقدير تم التوصل إليها لكتلة الحشرات في ظروف المختبر 78٪. وتم اختبار العديد من عمليات المحاكاة والتجارب الميدانية الجيدة. وتم التوصل الى أدوات كهرومغناطيسية حسابية للتنبؤ بخصائص الحشرات الجوية (نحل العسل) التي تنتشر حول الرادار كما درست تبعيات المقطع العرضي على ترددات واستقطابات وزوايا رؤية متعددة.

اشارت دراسات رادارات الحشرات بان نطاق الترددات تكون وفق الاتي:

- **L-band (1–2 GHz, not utilized by insect radar**
- **S-band (2–4 GHz**
- **C-band (4–8 GHz**

- **X-band (8–12 GHz**
- **Ku-band (12–18 GHz), and**
- **Ka-band (26–40 GHz**

اقترح بعض الباحثين طريقة جديدة لاستخراج تردد نبضات جناح الحشرات تلقائيًا لنظام رادار الحشرات وتتيح هذه الطريقة الكشف عالي الدقة والاستقطاب الكامل للحشرات واخرون اقترحوا نهجًا لتقدير الكثافة السكانية للحشرات باستخدام آثار الحشرات وتصنيفها وتم النظر في حلول رياضية مختلفة لتحسين قدرة الكشف الراداري للحشرات. على سبيل المثال تقدير السرعة الأفقية للحشرات للحصول على دقة عالية ومجموعة رادار الاستقطاب الكامل. كما انجزت دراسات لحساب كتلة الجسم وطوله للحشرات وقدمت خوارزمية تتبع مدعومة بميزة RCS لتحسين دقة تتبع هدف الحشرات. ويظل التمييز بين الطيور والحشرات يشكل تحديًا أساسيًا في مجال رادار الحشرات، وجرب بعض الباحثين خوارزمية لاستخدام رادار النطاق S ثنائي الاستقطاب الذي يستغل بشكل أساسي لأغراض الأرصاد الجوية لهذا الغرض (Drake, 2012). جانب آخر مهم من الأبحاث الحديثة هو الوصول المتزايد إلى أجهزة الرادار المدمجة خصوصا الطلب العاجل على الرادارات الموجهة نحو الأهداف النانوية (أقل من 5 سم) (على سبيل المثال، للكشف عن الطائرات بدون طيار النانوية وإدارة الآفات. لقد اعتبروا رادار الموجة المستمرة المعدل التردد (FMCW) كحل لأنه "يمكن أن يوفر كشفًا قصير المدى، بدون نطاق أعمى وبدقة عالية جدًا، وبتكلفة منخفضة نسبيًا". قام بعض الباحثين بتصميم وتطوير رادار FMCW بتردد 24 كيكا هرتز باستخدام مكونات جاهزة وأظهروا جدواه.

كل الاتجاهات للأبحاث الحديثة حول رادار الحشرات له أهمية خاصة في ضوء المخاوف المتعلقة بانخفاض ووفرة الحشرات وذلك للتحقيق في هجرة الحشرات وحمايتها فيما يتعلق بانخفاض أعداد الحشرات المتنقلة والتحول السلوكي. دراسات اخرى انجزت حول انخفاض وفرة الحشرات المائية في أمريكا الشمالية باستخدام الرادار "على نطاقات كانت مستحيلة في السابق". علاوة على ذلك، أكد الرادار أن هجرة الآفات تقع تحت التأثير الشديد لتغير المناخ.

تميزت الأعمال السابقة على رادار الحشرات بوضوح المجموعات الرئيسية التالية: المسح النبضي، والرادار الرأسي، والرادار التوافقي. علاوة على ذلك، تتميز من بينها مجموعات

النبض وFMCW. تعتمد غالبية أنظمة رادار الحشرات على الرادار النبضي، لكن رادار FMCW أصبح يتمتع بشرهه علمية كبيرة (Agency, et al. 2021).

رادار المسح النبضي Pulsed Scanning Radar

تهدف العديد من الدراساتت الحديثة إلى إيجاد حلول للسيطرة على تأثير الحشرات على بيانات رادار الطقس وعلى سبيل المثال، أحد المخاوف هو تأثير الحشرات على عمليات رصد الرياح بواسطة رادار دوبلر Doppler radar. يظل الترشيح الكلاسيكي المعتمد على العتبة أسلوبًا شائعًا لهذا الغرض. ومن بين الحلول الجديدة، أصبحت أساليب التعلم الآلي أكثر شعبية. يتيح تطبيق خوارزميات التعلم العميق الحديثة Modern Deep-Learning كمية هائلة من معلومات الحشرات في بيانات رادار الطقس. يظل رادار الطقس المسح النبضي تقنية سائدة لرصد الحشرات وأصبح هذا النوع من الرادار حلاً متطورًا (Rosenberg, et al. 2019).

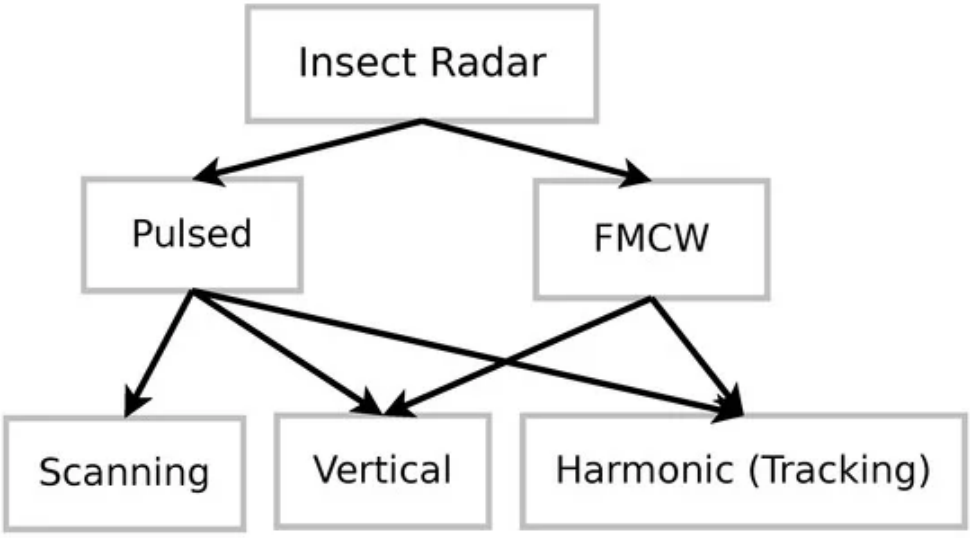
الرادار ذو المظهر العمودي Vertical-Looking Flight Observations Radar

يعد الرادار ذو المظهر العمودي (VLR) حلاً آخر مكملاً لأنظمة المسح ويسهل التمييز بين أنواع الحشرات لأنه يمكن أن يوفر معلومات أكثر تفصيلاً (وبالتالي يغطي مساحة أصغر بكثير). تم إدخال مجموعات الرادار ذات المظهر العمودي المبكر في التسعينيات لأغراض علم الحشرات (Hobbs, 1991)، بما في ذلك تقدير ديناميكيات أعداد أنواع الحشرات المهاجرة وتأثير مجموعات الحشرات، وتفشي أنواع الآفات منذ عام 1996، بدأ الباحثون في تطبيق مبدأ تمايل الشعاع الذي يسمح بمراقبة ديناميكيات الحشرات الارتفاعية والزمنية بدقة أعلى. علاوة على ذلك، اقترح الباحثون الأستراليون اختصارًا لرادار مراقبة الحشرات Insect Monitoring Radar (IMR) واستخدموه بنشاط في المنشورات العلمية. وعلى النقيض من "VLR"، فإن الاختصارات "ZLC" Zenith-pointing Linear-polarized Conical-scan و"IMR" Insect Monitoring Radar لم تصبح شائعة، لعب مصطلح "VLR" دورًا مركزيًا في اعمال البحوث في هذا المجال، في حين لم يتم ذكر "ZLC" و"IMR" على نطاق واسع ولكن استخدم الباحثون الاختصارات الثلاثة بنشاط.

رادار الموجه المستمرة المعدل التردد

Frequency Modulated Continuous Wave Radar (FMCWR)

معظم الرادارات المذكورة سابقا تعتبر أنظمة رادارية نبضية. وكبديل، يمكن استخدم الرادار الموجة المستمرة المعدل التردد (FMCW) للكشف عن الحشرات. يعد رادار FMCW تقنية شائعة لفحص طبقات الغلاف الجوي (Eatoned, et al. 1995). نُشر رادار FMCW للكشف عن الحشرات في عام 1973. تجدر الإشارة إلى أن مجموعات FMCW لم تحظى باهتمام واسع قبل عام 2000. أن تصنيف مستويين لأنظمة رادار الحشرات بالاستخدام يمكن ان يستند على (الشكل 4- 2)



شكل 4- 2. مجموعات رادار الحشرات

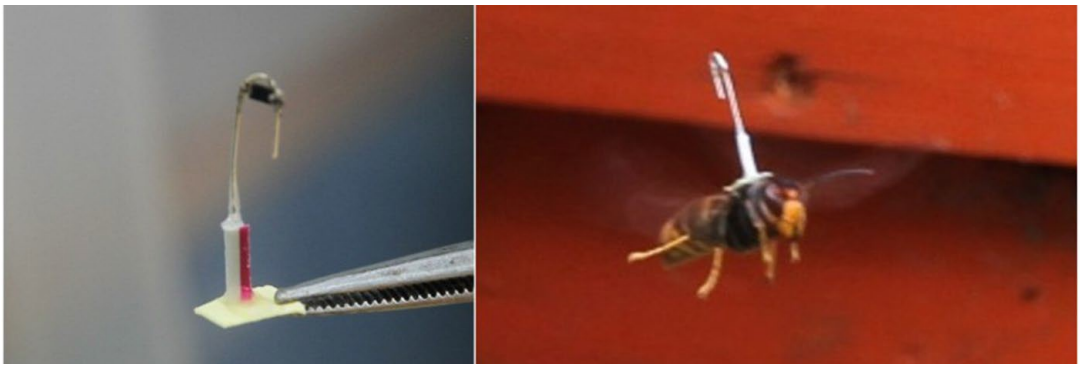
الرادار التوافقي Innovative Harmonic Radar لتتبع الزنبور الاسيوي ذو الارجل الصفراء *Vespa velutina* (yellow-legged Asian hornet)

على مدار الثلاثين عامًا الماضية، كانت الرادارات التوافقية فعالة فقط في تتبع الحشرات التي تحلق على ارتفاعات منخفضة وارض مستوية فتم تطوير رادار توافقي مبتكر ليغطي مجال واسع ويمكنه تتبع الحشرات لمسافة تصل إلى 500 متر. استخدم هذا الرادار في تتبع الزنبور الاسيوي ذو الارجل الصفراء *Vespa velutina* الذي ينتشر في جنوب شرق اسيا الا انه انتشر بسرعة في دول العالم الاخرى ويعتبر من الافات الغازية وبسبب انتشاره السريع والتهديد

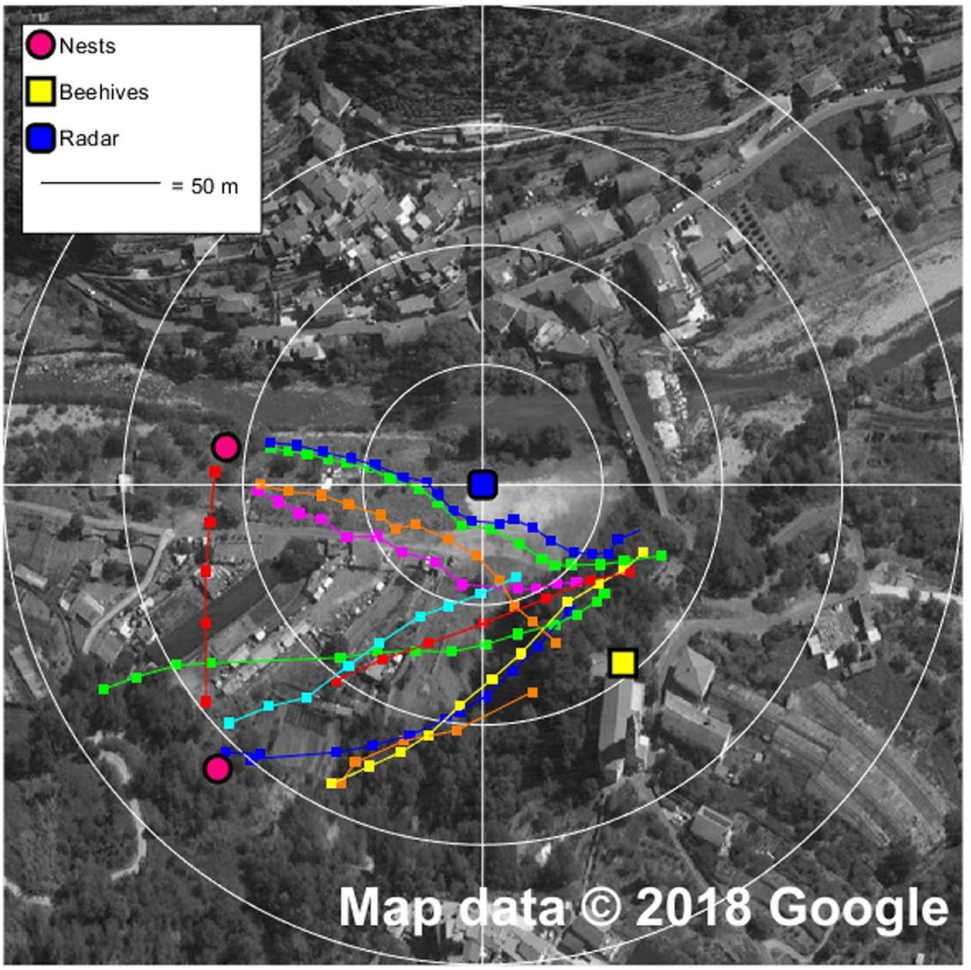
الخطير الذي يشكله على مستعمرات نحل العسل وعلى البشر، هذا الدبور من الحيوانات المفترسة الأولى بين المفصليات، وهو ضار بشكل خاص لأنه يتغذى على نحل العسل وغيره من الحشرات الملقحة المحلية ويمكن أن يؤدي إلى تسمم النحل الى تدمير مستعمرات نحل العسل لذلك يتطلب مراقبة زمانية لتتبع مسار رحلاته وتحديد اعشاشه المراد تدميرها وقد استخدم لهذا الغرض هذا النوع من الرادارات فضلا عن استخدامه في تتبع الحشرات الاخرى الاكبر حجما والفقاريات الصغيرة الحجم (Magyioral, et al. 2019).

تعتبر الرادارات التوافقية (شكل 4- 3) فعالة في تتبع الحشرات التي تحلق على ارتفاعات منخفضة وفوق التضاريس المسطحة واستخدمت في العديد من التطبيقات الاخرى، في الاونة الاخيرة تم تجهيز الزنابير بجهاز إرسال واستقبال (شكل 4- 4)، وأطلاق سراحها و الهدف من هذا النشاط هو تعقب الزنبور *V. velutina* عند عودته الى أعشاشه في تضاريس معقدة وذلك للاستدلال على اعشاشها وتدميرها. تم تطوير أول نموذج أولي للرادار الحشري واختباره في الفترة من 2014 إلى 2016. هذا النظام الأولي كان يعتمد على رادار بحري تجاري جاهز للإرسال Transmitting (TX) وعلى وحدة للاستقبال Receiving (RX). نظرًا لأن وحدة TX لم يتم تصميمها خصيصًا لتتبع الحشرات ظل التعامل مع التهديد الذي يشكله الزنبور *V. velutina* أمرًا صعبًا لأنه يبني أعشاشه عادةً حتى 20 مترا من الأرض، مخبأة في الأشجار العالية المورقة. ولكن الرادار التوافقي المبتكر يقدم طريقة جديدة لاكتشاف هذه الأعشاش المخفية جيدًا والحصول على كشف موثوق به على مسافة طويلة (حوالي 400 متر) (شكل 4- 5) بوجود هوائيات تغطي مجال رؤية واسع (أي ذات اتجاهية منخفضة) في المستوى الرأسي ومجال الرؤية الكبير في المستوى العمودي أمر بالغ الأهمية لتكون قادرًا على اكتشاف أجهزة الإرسال والاستقبال على ارتفاعات الطيران المنخفضة والعالية نسبيًا. علاوة على ذلك، تعتبر هذه الخاصية حيوية لتشغيل الرادار في المناطق الجبلية والغابات (Magyioral, et al. 2019).

شكل 4- 3. الرادار القياسي الذي يعمل في بيئة جبلية وخشبية. والمزود بهوائيات TX و RX والذي يمكن رفعه لارتفاع 6 م. عن (Magyioral, et al. 2019).



شكل 4- 4. جهاز الارسال والاستقبال المثبت على صدر الزنبور الاسيوي ذو الارجل الصفراء *Vespa velutina*. عن (Magyioral, et al. 2019).



شكل 4- 5. المسارات الجغرافية للزنبور الاسيوي الاصفر *Vespa velutina*. عن (Magyioral, et al. 2019).

الاعمال المستقبلية:

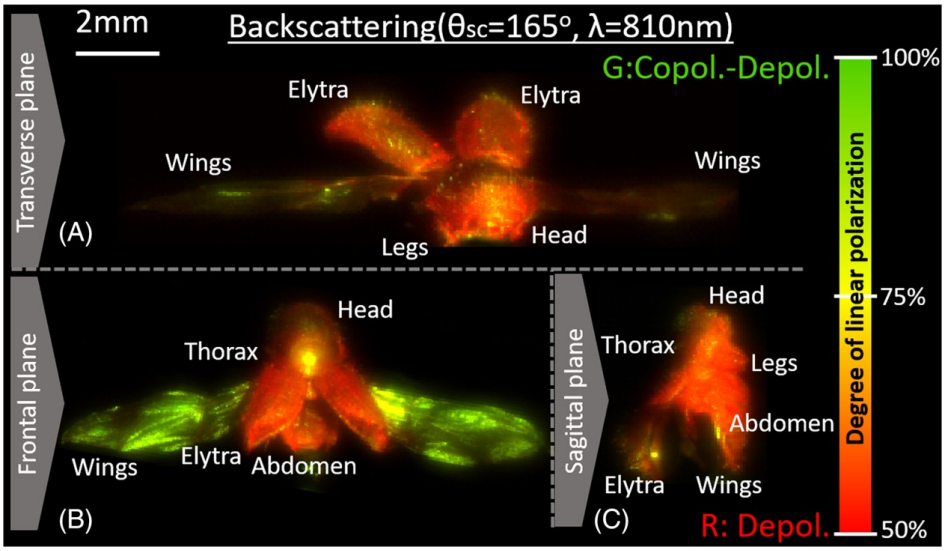
أصبحت أنظمة رادار الحشرات المدمجة ذات اهتمام كبير حتى أن بعض الباحثينن ذكروا عزمهم على تركيب أجهزة رادار مدمجة جديدة على الطائرات بدون طيار. وتبين وجود فجوة واضحة في الاعمال المنجزة في مجال علم الحشرات الرادارية وخصوصا المدى من 0 – 10 امتار لم يتم تغطيتها لذلك يجب ان تهتم الدراسات المستقبلية بهذه الفجوة.

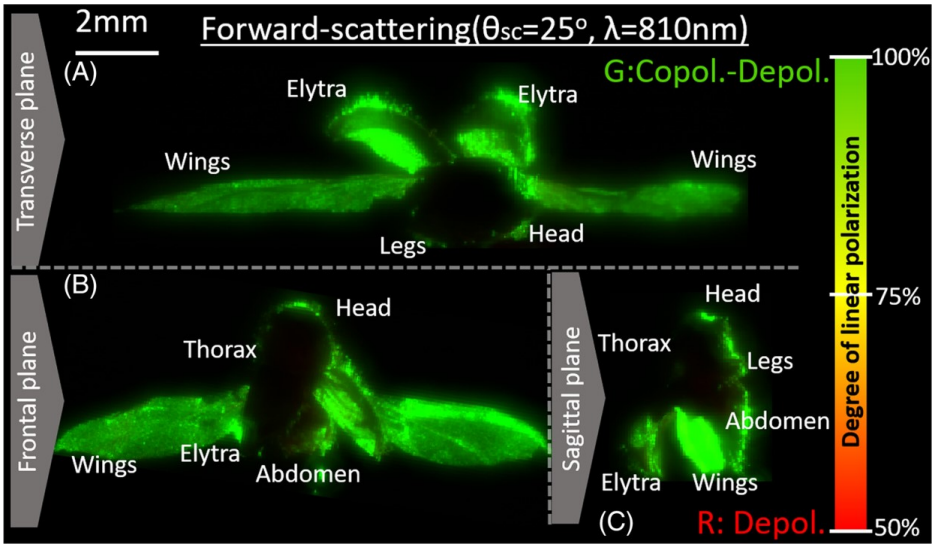
ليزر ليدار الحشرات أداة واعدة لرصد خنافس اللحاء Entomological Laser Lidar

تعد خنفساء لحاء شجرة التنوب (*Ips typographus*) واحدة من أخطر الآفات الحشرية في الغابات الأوروبية، فهي قادرة على قتل الملايين من أشجار التنوب في حالات التفشي الكبيرة. خلال الظروف العادية، تهاجم الحشرات البالغة بشكل رئيسي الأشجار الميتة. ومع ذلك، فإن الأضرار الناجمة عن العواصف أو الإجهاد الشديد بسبب الجفاف، تؤدي إلى توفر كمية كافية من المادة الغذائية لحضنة خنافس هذه الحشرة مما يؤدي الى زيادات سريعة في عدد سكان هذه الافة، مما يؤدي إلى تفشي هذه الافة حيث يتم مهاجمة الأشجار السليمة وقتلها. تتواصل خنافس لحاء شجرة التنوب بينها عبر الفيرومونات لتشكل هجمات مجمعة تتغلب على القدرة الدفاعية للأشجار الحية في حين أن معظم الهجمات تحدث على مسافة 500 متر من الهجوم السابق فضلا عن كونها يمكن أن تنتشر عدة كيلومترات، يعتمد كل من نشاط الطيران والتطور من خنفساء اللحاء الناضجة إلى البيضة على درجة الحرارة. تتم الرحلة بشكل رئيسي خلال الأيام التي تزيد فيها درجة الحرارة عن 16-20 درجة مئوية ويبدأ جيل جديد من خنافس اللحاء عن طريق البالغات التي تقضي الشتاء في مايو ويونيو، وتصل إلى مرحلة النضج في يوليو إلى أغسطس. في دول اوروبا جيل او جيلين في السنة وتبلغ ذروتها أواخر الصيف وهناك احتمالية إنجاب جيلين سنويًا تزداد بسبب تغير المناخ وقد لوحظ أن هناك جيلًا ثانيًا من الخنافس الناشئة في مناطق اخرى (Li, et al. 2020)

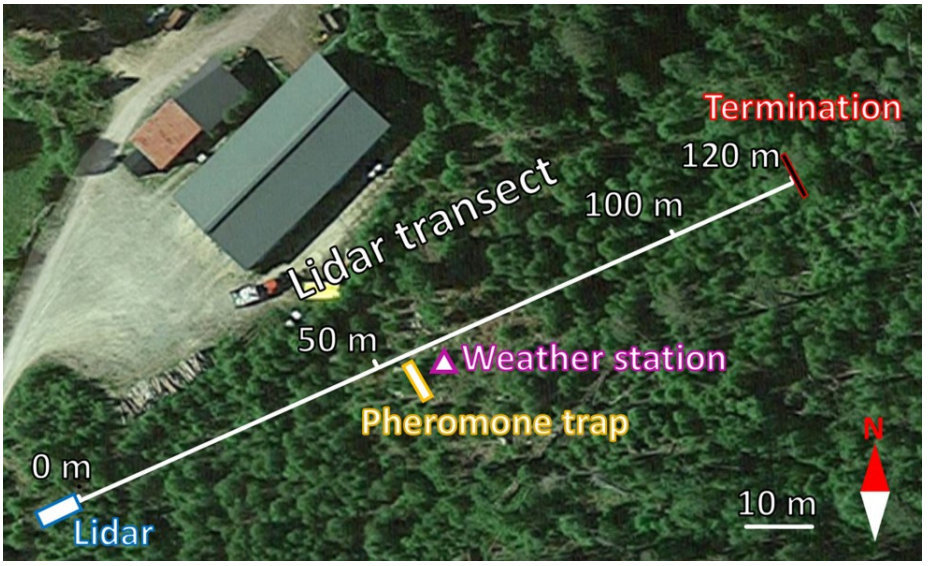
تثير الغابات القلق بشأن تفشي خنفساء لحاء شجرة التنوب الأوروبية *Ips typographus* مما يتسبب في أضرار جسيمة لغابات شجرة التنوب وقيمة الأخشاب. يعد الرصد الدقيق لهذه الخنافس خطوة ضرورية نحو منع تفشي هذه الافة. تعتمد طرائق المراقبة التجارية الحالية على المصايد الحشرية وتفتقر إلى الدقة الزمانية والمكانية. لذلك تم وصف تشتت الضوء من هذه الخنافس (شكل 4- 6)، فتم استكشاف جدوى الليدار الحشري (شكل 4- 7) كأداة لرصد خنافس اللحاء على المدى الطويل والخصائص البصرية المختبرية، وسمك الجناح، وتردد ضربات الجناح لخنافس اللحاء هذه، ويمكن لهذه المعلمات استنتاج هوية الهدف (خنافس اللحاء) في بيانات الليدار فيتم عرض نتائج الليدار في الغابة مع إطلاق خنفساء اللحاء الخاضع للرقابة. تم إثبات قدرة الليدار على مراقبة كل من الحشرات وعمود الفيرومون الممزوج بالدخان الكيميائي

الذي يحكم انتشار العديد من الحشرات في وقت واحد. لذلك يعتبر ليدار الحشرات أداة واعدة لرصد خنافس اللحاء (Li, et al. 2020).





شكل 4- 6. التشتت الخلفي والامامي لاشعاع ليزر ليدر الحشرات لرصد حنفساء لحاء شجرة التنوب الأوروبية *Ips typographus* ، عن Li, et al. 2020



شكل 4- 7. ليزر ليدر الحشرات في الغابة، عن Li, et al. 2020

الفصل الخامس

الليزر وسيلة فعالة لمكافحة الادغال

ضرر الادغال ومكافحتها:

تعتبر الحشائش أحد أهم عوامل تقليل إنتاجية المحاصيل في جميع أنحاء العالم، واستخدمت مبيدات الأعشاب على نطاق واسع وحققت نجاحًا كبيرًا منذ الخمسينيات من القرن العشرين، ولكن اليوم، أصبحت الأعشاب المقاومة لمبيدات الأعشاب مشكلة متزايدة في الزراعة وقد أدى الاستخدام الواسع النطاق لمبيدات الأعشاب إلى زيادة المخاوف العامة، كما أدى إلى فرض المزيد من القيود على استخدام مبيدات الأعشاب في أوروبا ودول العالم الاخرى مما أدى إلى ربط العديد من مبيدات الأعشاب بسبب خطر الآثار الجانبية غير المرغوب فيها. أن إمكانيات تطوير مبيدات أعشاب فعالة جديدة، والتي يمكن أن تلبي البيئة والسلامة، يبدو أن متطلبات اليوم قد استنفدت، ومنذ ثمانينات القرن الماضي لم يكن هناك أي طريقة جديدة للسيطرة على فعل مبيدات الأعشاب. هذا الوضع، جنبا إلى جنب مع الاهتمام العام المتزايد بالزراعة العضوية كغذاء أستدعى إلى اتباع نهج متكامل لإدارة الحشائش للحد من مشاكل الحشائش في المستقبل. اليوم، يبدو أن حرث التربة وتناوب المحاصيل هو البديل الرئيسي لمبيدات الأعشاب، لكن حرث التربة له تأثير سلبي لأنه يزيد من خطر تآكل التربة وتسرب المغذيات النباتية، ويجفف التربة ذات المحتوى المائي المحدود، ويضر بالكائنات الحية المفيدة في التربة مثل ديدان الأرض. استخدم اللهب لإزالة الأعشاب في الإنتاج الزراعي العضوي ولكنها تتطلب كمية كبيرة من الغازوقد لا تعتبرطريقة مستدامة بيئيًا على المدى الطويل بسبب ثاني أكسيد الكربون الذي ينتج عنها وهنا بدأت الحاجة لتطوير تقنيات جديدة مكملة أو بديلة (Andreasen, et al. 2018).

خلال السنوات الاخيرة أزداد القلق العام بشأن مبيدات الأعشاب فيما يتعلق لسلامة الأغذية، وصحة عمال المزارع، والتنوع البيولوجي، و بشكل عام تجدد الاهتمام بها للحصول على تدابير بديلة لمكافحة الحشائش بالطرائق التقليدية (العزق الميكانيكي، والمروع، والتنظيف بالفرشاة والتي تقتلع الحشائش الضارة أو تغطيها بالتربة والتي تؤدي الى وقف أو تأخير النمو وبالتالي زيادة الميزة التنافسية للمحصول. هذه الأساليب هي تقتصر عادة على مكافحة الحشائش بين

الصفوف وبسبب ذلك قد يحدث اضطراب في طبقة التربة العليا. أن بدء إنبات بذور الحشائش الجديدة هذا غير مرغوب فيه يمكن القضاء على تأثير إجراءات مكافحة الحشائش باستخدام طرق معالجة التربة الحرارية (Shaw & Mitchell, 1977؛ Melander & Jørgensen, 2005) التي يتم من خلالها قتل الحشائش في سطح التربة من خلال سطح كثيف للطاقة يسبب عملية التبخير من الحشائش. يعتبر الليزر بمثابة جهاز مكافحة للأعشاب الضارة (Bayramian et al., 1993).

أن التطور السريع في تكنولوجيا الليزر فتح فرصًا جديدة لمكافحة الحشائش كهربائيا فيمكن لأشعة الليزر إيصال طاقة عالية الكثافة إلى مناطق مختارة من المزرعة، مما يؤدي إلى تسخين الأنسجة النباتية وقد يؤدي إلى موتها لذلك استخدم شعاع الليزر لقطع سيقان الحشائش بهدف مكافحتها. وانجزت تجارب على مستوى الاصص المزروعة في الدفيئة في ثلاث مراحل نمو مختلفة وبارتفاعين مختلفين ثم يجفف النبات ويتم قياس المادة الجافة بعد أسبوعين إلى خمسة أسابيع من العلاج لايجاد العلاقة بين الوزن الجاف وطاقة الليزر وتم تحليل هذه العلاقة باستخدام نموذج انحدار الاستجابة لمستوى الجرعة المستخدمة فوجدوا أن إعادة نمو الحشائش ظهرت عندما تم قطع سيقان النباتات ثنائية الفلقة فوق النسيج المرستيمي، مما يشير إلى أنه من الضروري القطع بالقرب من سطح التربة للحصول على تأثير كبير. كما اقترح نموذجًا للحد من أضرار الحشائش للتشعيع بالليزر عن طريق التعرف بنوع النبات، لكن نظام التعرف لم يتعرف إلا على نوع واحد من الحشائش تحت ظروف مختبرية مثالية (Heisel et al, 2002). ولدراسة تأثير العلاج بالليزر الموجه نحو المرستيم القمي لمراحل مختلفة لعدة اعشاب تم اختيارها لهذا أجريت عدة تجارب تحت ظروف خاضعة للرقابة باستخدام الحشائش المزروعة في الأصص. تم اختبار ليزرين مختلفين وحجمين للبقعة، وكانا مختلفين وتم تطبيق جرعات الطاقة عن طريق تغيير وقت التعرض. وتم فحص الكفاءة البيولوجية لثلاثة انواع مختلفة من الحشائش (L.) Vill. *Stellaria media*، Sch. *Tripleurospermum inodorum* و*Brassica* (Bitarafan and Reasen, 2020)، أظهرت التجارب أن العلاج بالليزر للنسيج المرستيمي القمي يسبب ضرراً كبيراً في انخفاض النمو، وفي بعض الحالات قتل أنواع هذه الحشائش وكانت الفعالية البيولوجية للتحكم بالليزر طريقة مرتبطة بالطول الموجي وزمن

التعرض وحجم بقعة الليزر وقوة الليزر كما انها تختلف وتتنوع بين انواع الحشائش نفسها (Mathiassen et al, 2006).

طور Xiong et al (2017) نموذجًا أوليًا لروبوت لليزر مزودًا برؤية آلية ومثبت على محورين ويتكون الروبوت من منصة متنقلة معدلة من دراجة رباعية تجارية صغيرة، وكاميرا لكشف المحصول والأعشاب في مرحلة الفلقات، ومحورين للتحكم في مؤشرات الليزر وقد تمكن الروبوت من التعرف على الأعشاب الضارة في البيئات الداخلية وحمل أشعة الليزر لتشعيع الأعشاب الضارة وبهذا تمكن من إزالة الأعشاب الضارة بشكل مستمر. نظرًا لأنه يجب الجمع بين العديد من التقنيات لتطوير نظام ناجح لإزالة الأعشاب الضارة باستخدام الليزر، فقد يكون الأمر كذلك ولكنها ستكون مكلفة في نهاية الامر لذلك تهدف الدراسات والتجارب الحالية إلى تقديم مفهوم لجهاز صغير الحجم وغير مكلف لمكافحة الحشائش بأشعة الليزر. على عكس الأبحاث السابقة المتعلقة بإزالة الأعشاب بالليزر. ولهذا الغرض تم تطوير جهاز ليزر يتالف من:

- كمبيوتر Raspberry Pi 3 Model B
- معالج Broadcom BCM2837B0 رباعي النواة
- Cortex-A53 64 بت SoC 1.4 جيجا هرتز و1 جيجا بايت LPDDR2
- ذاكرة SDRAM للكشف عن الأعشاب الضارة، وهو جهاز صغير الحجم ورخيص الثمن نسبيًا.
- Python 3.6، Vision OpenCV 3.4.1 كلغة البرمجة. ومع ذلك، فإن استخدام الشبكات العصبية العميقة يكاد يكون من المستحيل التعرف السريع على النباتات بسبب محدودية ذاكرة الوصول العشوائي (14 جيجابايت) وسرعة المعالج المنخفضة (1.5 جيجا هرتز) من كومبيوتر Raspberry Pi 3 Model B+. ولذلك فإن خوارزمية فيولا جونز Viola-Jones هي طريقة للتعرف على الكائنات في إطار عمل يسمح باكتشاف ميزات الصورة في الوقت الفعلي وتم استخدامه في الأصل للسرعة العالية في اكتشاف الوجه متعدد العرض باستخدام Haar feature-based cascade (Viola and Jones, 2004). واستخدم SqueezeNet كبرنامج صغير وهو عبارة عن شبكة عصبية تحتوي على عدد قليل

من المعلمات التي يمكن وضعها بسهولة في ذاكرة الكمبيوتر لتنقل الصور عبر شبكة الكومبيوتر و بسعة تخزين بيانات تصل إلى 5 ميجابايت. وعندها تكون معالجة الصور لوجود العشب المطلوب حوالي ثانية واحدة، وهي بطيئة جدًا بالنسبة لـجهاز للكشف عن الحشائش في ظل ظروف الإدارة الحقلية العادية.

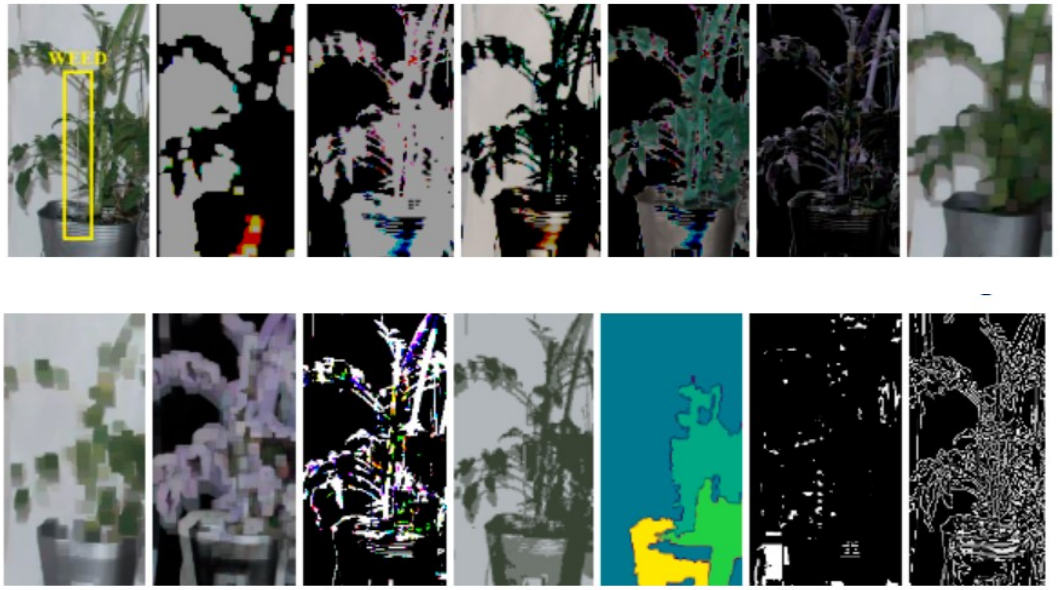
أن خوارزمية فيولا-جونز Viola–Jones algorithmهي منهج قائم على التعلم الآلي حيث تعمل بوظيفة متتالية على العديد من الصور الإيجابية والسلبية ويتم اختيار الدافع وراء الصور بشكل مرئي مثل ساق الحشائش في المنتصف واجزاء الحشائش الأخرى في الصورة. ومن ثم يتم استخدامه للكشف عن النباتات الاخرى في صور أخرى في الوقت الحقيقي وتم الحصول على 800 مثال إيجابي للحشائش و 1200 مثال سلبي وذلك باستخدام Haar Cascade وSqueezeNet. كان حجم الصورة 250800 بكسل (العرض الارتفاع). 800 من الأمثلة السلبية كانت عبارة عن صور لنباتات الطماطة، و400 صورة كانت كذلك صور للنباتات الأخرى. وتظهر بعض الأمثلة الإيجابية والسلبية في (الشكل 5- 1)

أ

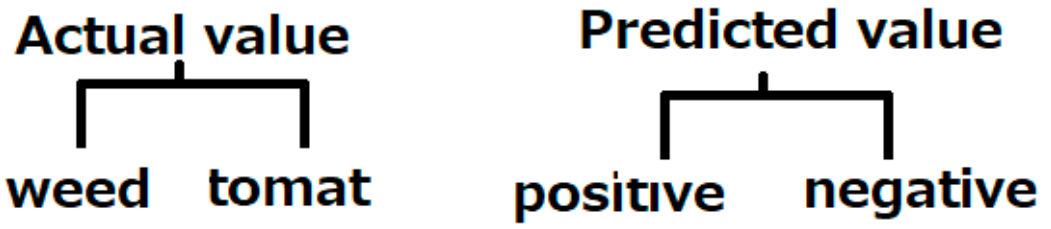
ب

شكل 5- 1. صور باستخدام Train Haar cascades. (أ) صور ايجابية لنبات (الدغل) *Elytrigia repens* (L.) Desv، (ب) صور سلبية للنباتات الاخرى (الطماطة). عن Rakhmatulin and Andreasen, 2020

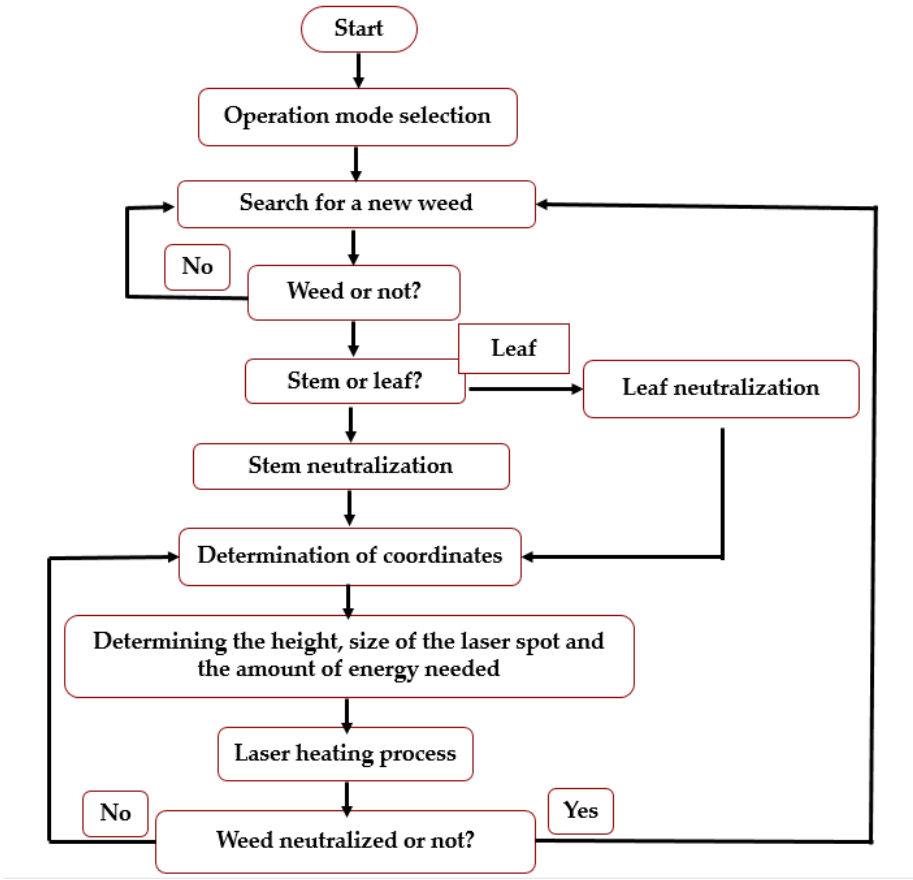
كانت المعالجة المسبقة للصور معقدة بسبب حقيقة أن الحشائش والمحاصيل المزروعة معها ذات لون متماثل المدى، وفي نفس الوقت، قريبة من بعضها البعض. لذلك يجب أستخدام 2000 صورة لتدريب Train Haar cascades لذلك استخدمت وظائف OpenCV library functions لاستخراج صفات كل نبات (شكل 5- 2). ومع ذلك لا تؤدي إلى فصل واضح بين المحاصيل والأعشاب الضارة، وبالتالي استخدمت الصور التي تم الحصول عليها من الكاميرا دون أي تحويلات. وتم تدريب Train Haar cascades على النباتات الموجودة عموديا بزاوية 90 درجة من السطح لتقييم دقة التعرف على الحشائش، استخدمت مصفوفة الارتباك Confusion matrix (شكل 5-3)وهو جدول أو مخطط يوضح دقة التنبؤ للمصنف لفئتين أو أكثر (الشكل 5- 4). تنبؤات المصنف موجودة على المحور السيني، ونتيجة (الدقة) موجودة على المحور ص . ويوضح الشكل 5 – 5 أ ، ب جهاز مكافحة الادغال بالليزر.



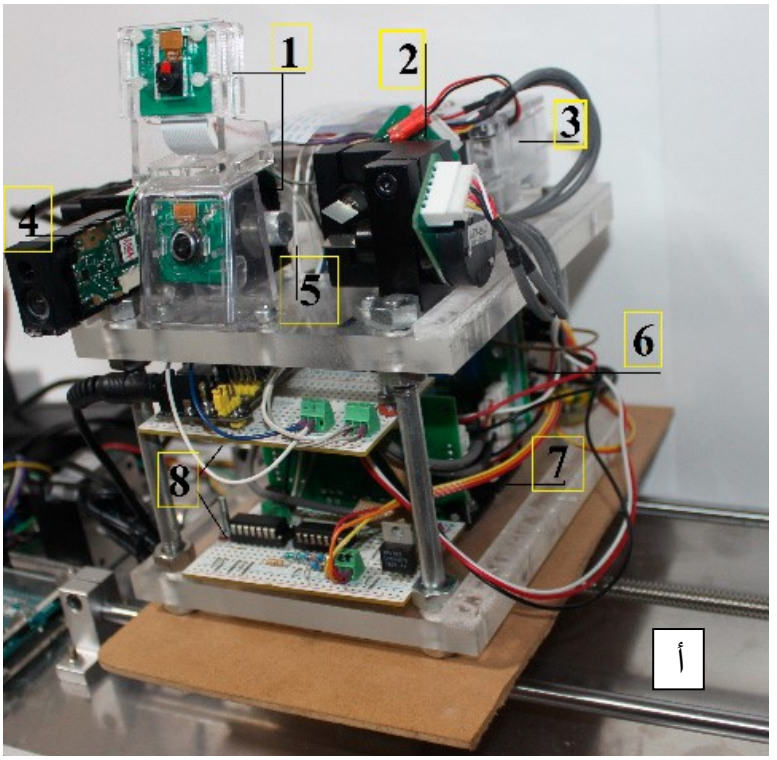
شكل 5- 2. الصور المستلمة بجهاز الليزر للتمييز بين الاعشاب ونبات الطماطة باستخدام Train Haar cascades. عن Rakhmatulin and Andreasen, 2020

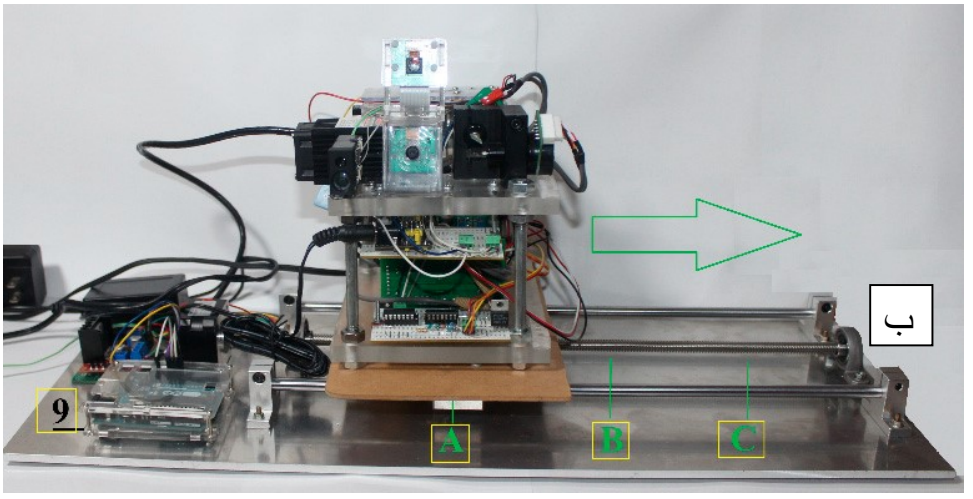


شكل 5- 3. شكل توضيحي للمعلومات اللازمة لبناء مصفوفة الارتباك Confusion matrix للتمييز بين الاعشاب الضارة ونبات الطماطة في جهاز اليزر. عن Rakhmatulin and Andreasen, 2020



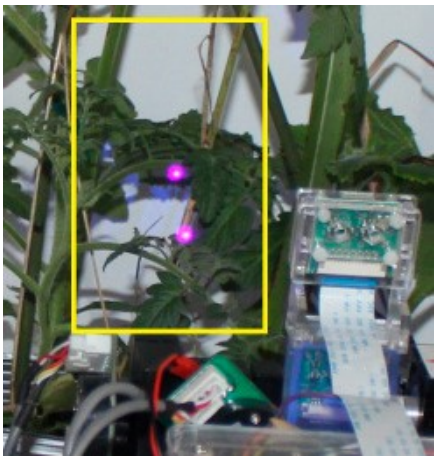
شكل 5- 4. نموذج لوصف جهاز مكافحة الحشائش بالليزر. عن Rakhmatulin and Andreasen, 2020



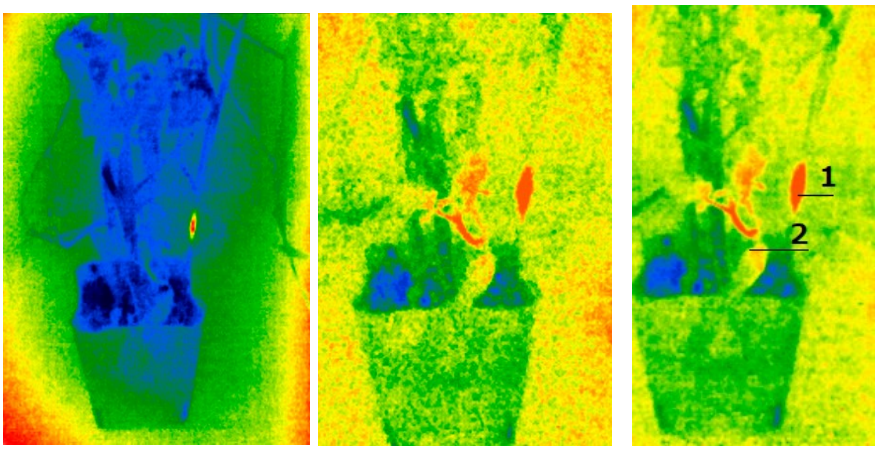


شكل 5 - 5. نموذج لجهاز مكافحة الادغال: النموذج الأولي لجهاز مكافحة الحشائش. (أ) 1- الإشارة إلى الكاميرات، 2. الجلفانومتر، 3. كمبيوتر، 4. جهاز تحديد المدى بالليزر، 5. الليزر، 6. إمدادات الطاقة، 7. مشغلات السيارات، 8. لوحة معالجة الإشارات الإلكترونية ، 9. لوحة أردوينو للتحكم في موضع إعداد الليزر. (ب) A، B، C إظهار موقع المحاصيل. عن Rakhmatulin and Andreasen, 2020

وبينت نتائج التعرف على الصور الملتقطة بواسطة كاميرا للأشعة تحت الحمراء (شكل 5- 6، 5 - 7). عند معالجة الادغال في محصول الطماطة باشعة الليزر من الضروري إجراء بحث إضافي لفهم مقدار التشعيع قصير المدى على نبات الطماطة نفسه او النباتات الاخرى غير المستهدفة ومع ذلك، لم تلاحظ البحوث التي انجزت بهذا المجال أي تأثير ضار للتعرض لليزر على المدى القصير على نباتات الطماطة



شكل 5- 6. أحيانا، ينقسم شعاع الليزر إلى شعاعين مثل البقع البنفسجية يؤدي إلى إتلاف نباتات المحاصيل غير المستهدفة



ج ب أ

شكل 5 - 7. صور الأشعة تحت الحمراء لنتيجة شعاع الليزر المنقسم. التقطت الصور الثلاث بـ 10- فواصل زمنية. (أ) التقطت الصورة مباشرة بعد العلاج: 1. المكان الذي يوجد فيه الدغل

E. Repens، 2. نبات الطماطم المتضرر: (ب) التقطت الصورة بعد 10 ثوانٍ من الصورة الأولى؛ (ج) الصورة تم التقاطها بعد 20 ثانية من الصورة الأولى.

درس كل من Rakhmatulin and Andreasen, 2020 تاثير قطع الاوراق اليابسة للدغل *E. repens* باستخدام جهاز الليزر بقوة 1 واط وبوقت قطع اقل من ثانية واتضح بان قطع الاوراق اليابسة لن يؤثر في نمو النبات كثيرًا بسبب إعادة النمو (شكل 5 - 8).

أ **ب**

ج **د**

شكل 5 -8. الدغل *Elytrigia repens* قبل وبعد التشعيع باستخدام ليزر بقوة 1 واط لمدة 0.5 ثانية. (أ) القش قبل التشعيع (ب) القش بعد التشعيع؛ (ج) ورقة الدغل قبل التشعيع و (د) بعد التشعيع

على الرغم من أن عدة مجموعات قامت بدراسة تأثير أشعة الليزر على الادغال، لكن قليلون هم الذين طوروا جهازًا آليًا للتحكم في الأعشاب الضارة باستخدام أشعة الليزر. وطوربعض الباحثين روبوتًا مزودًا برؤية آلية ومؤشرات ليزر. حدد الروبوت الادغال في البيئات الداخلية، وقام الليزر بتشعيع الأعشاب الضارة في مرحلة النبتة. ولكن تكمن المشكلة في الانظمة ألاكثر تعقيدًا عندما تغطي الحشائش العشبية الكبيرة ونباتات المحاصيل بعضها البعض جزئيًا ولذلك، أصبح تحديد الحشائش والمحاصيل أكثر تعقيدا، والنظام يتطلب كمية هائلة من الصور لتطوير رؤية الآلة بدقة عالية. فى المستقبل، سوف تركز الدراسات على مكافحة نباتات الحشائش الصغيرة لتقليل استهلاك الطاقة وبدء إزالة الأعشاب الضارة والسيطرة عليها في وقت مبكر من موسم النمو قبل بدء المنافسة بين المحصول والأعشاب الضارة.

والحالة تكون معقدة بسبب أن الحشائش والمحاصيل كانت في نطاق ألوان مماثلة، وقريبة من بعضها البعض الاخر. وقد وجدت علاقة خطية بين أطوال النبات وأقطارها، والذي تم استخدامه لتقدير قطر بقعة الليزر اللازمة لقطع النبات. العلاقة بين استهلاك الطاقة (الجول) تتبع اطوال البراعم وأقطاها. أن تطوير نموذج أولي لروبوت لمكافحة الحشائش الناشئة باستخدام أشعة الليزر سيكون فعالا وناجحا في المحاصيل التي تزرع في صفوف مثل الذرة وبنجر السكر والمحاصيل البستانية هدفًا يمكن تحقيقه في المستقبل خلال سنوات قليلة.

قطع الأعشاب بشكل فعال يكون من متوسط القطر 11 ملم عن طريق توجيه ضيق وبدقة لشعاع ليزر ثاني أكسيد الكربون نحو السيقان من خلال الكومبيوتر وتحديد كمية الطاقة اللازمة لقطع الساق. ان تحديد موقع السيقان قد يكون صعبا بالنسبة لبعض الاعشاب الضارة التي تتعلق برؤية الكومبيوتر ونوع المحصول وبذلك يفضل ان تكون الرؤيا من الاعلى للاسفل كما يوفر ذلك رؤية المرستيم القمي لمعظم انواع الحشائش وهذا يتطلب المواصلة لتعزيز الاستخدام الحقلي لليزر لمعالجة الاعشاب الضارة عن طريق مزيج من تحسينات الكومبيوتر لتسهيل الرؤيا والعلاج بالليزر واحداث ضرر في الاعشاب بدلا من قطعها الذي يعني وقف او تاخير نمو هذه الاعشاب الضارة. يمكن أن يكون شعاع الليزر الموجه نحو الادغال وسيلة فعالة لمكافحة الادغال كبديل لمبيدات الأعشاب. قد يقوم الليزر بتوصيل طاقة عالية الكثافة إلى مواد نباتية مختارة،

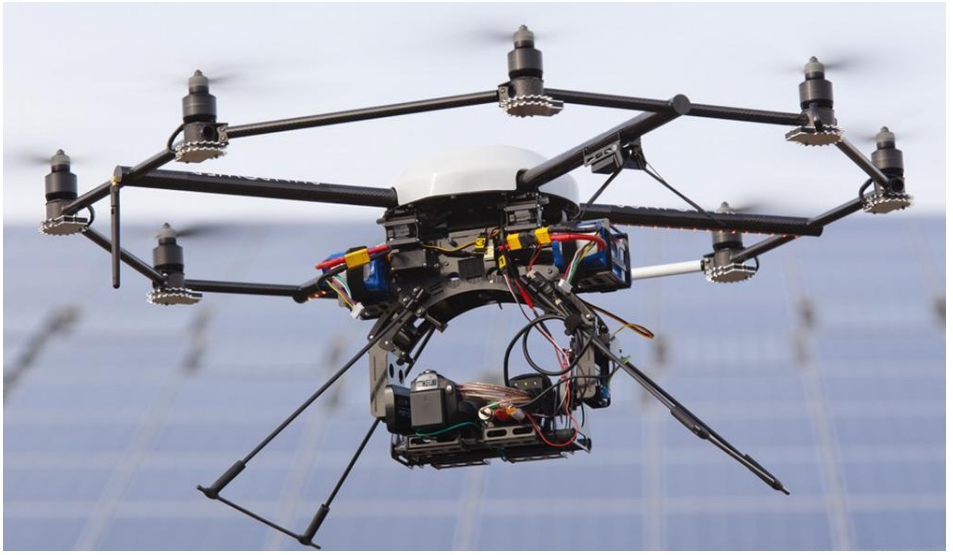
مما يؤدي إلى رفع درجة حرارة الماء في الخلايا النباتية وبالتالي إيقاف النمو أو تأخيره. ومع ذلك، فإن الاستخدام التجاري لليزر لمكافحة الحشائش يتطلب تحقيقًا منهجيًا للعلاقة بين كثافة الطاقة والتأثير البيولوجي على أنواع الحشائش المختلفة، ومراحل النمو، وما إلى ذلك. لتأثير العلاج بالليزر الموجه نحو النسيج المرستيم القمي لنباتات مختارة اجريت العديد من التجارب تحت ظروف خاضعة للرقابة، وذلك باستخدام الأعشاب المزروعة في الأصيص. تم اختبار ليزرين وحجمين موضعيين وتم تطبيق جرعات طاقة مختلفة عن طريق تغيير وقت التعرض. تم فحص الفعالية البيولوجية على ثلاثة أنواع مختلفة من الحشائش: *Stellaria media* (عشبة الطير الشائعة)، و*Tripleurospermum inodorum* (أعشاب المايونيز عديمة الرائحة)، و*Brassica napus* (لفت البذور الزيتية). بينت التجارب أن العلاج بالليزر للنسيج المرستيمي القمي تسبب في انخفاض كبير في النمو وفي بعض الحالات كان له آثار مميتة على أنواع الحشائش (شكل 5 - 9). كانت الفعالية البيولوجية لطريقة التحكم بالليزر مرتبطة بالطول الموجي وزمن التعرض وحجم البقعة وقوة الليزر وتختلف الفعالية أيضًا بين أنواع الحشائش. كما بينت التجارب إلى أنه يمكن تحسين فعالية علاجات الليزر من خلال توجيه شعاع الليزر بشكل أكثر دقة نحو النسيج المرستيمي القمي وتحسين كثافة الطاقة Mathiassen, et al. (2006).

شكل 5 - 9. توجيه اشعة الليزر نحو المرستيم القمي للادغال بالتوجيه من الاعلى. عن (Mathiassen, et al. 2006).

أشعة الليزر وطائرات بدون طيار لمكافحة الأعشاب الطفيلية

للحد من استخدام المبيدات الزراعية في المستقبل، يعمل الباحثون على بديل صديق للبيئة، فهم يسعون إلى القضاء على الأعشاب الطفيلية عبر استخدام أشعة الليزر، فهل يمكن تحقيق ذلك؟ وما مدى الاستفادة منها اقتصاديا وبيئيا؟ الأعشاب الطفيلية، مثل الهندباء وكيس الراعي، تؤثر سلبيا على نوعية المحاصيل الزراعية وعلى نباتات الزينة في الحدائق. الذرة الرفيعة، وبذور اللفت والشوندر تكون في منافسة دائمة مع الحشائش الطفيلية من أجل الوصول إلى الضوء والمياه والغذاء. وغالبا تتم مكافحة الأعشاب الطفيلية عبر مبيدات الأعشاب والسموم النباتية. ولكن هناك جدل كبير حول استخدامها، كما إنها مكلفة فجرعة زائدة من المبيدات أو انتشار سمومها بشكل غير مضبوط عبر الرياح والأمطار يمكن أن يؤدي إلى أضرار كبيرة بالتربة و بالمياه الجوفية. في الزراعة العضوية، التي تستغني كليا عن مبيدات الأعشاب، يتم

التخلص من الأعشاب الطفيلية بشكل يدوي. ورغم أن هذه الطريقة أكثر ملائمة للبيئة، إلا أنها ليست فعالة في مكافحة الحشائش العنيدة، كما أن نتائجها بطيئة ومكلفة بالنسبة للزراعة التقليدية. فريق من العلماء من جامعة لايبنتز ومركز الليزر (LCH) في هانوفر، أجرى أبحاثا للوصول إلى بديل: لمكافحة الحشائش عبر أشعة الليزر. وتم تمويل المشروع من قبل الجمعية الألمانية للأبحاث. ويتطلع الباحثون إلى إمكانية قيام روبوتات وطائرات صغيرة بدون طيار بمكافحة الأعشاب الطفيلية وإبعادها عبر أشعة الليزر، بحيث يتم توجيه شعاع الليزر مباشرة إلى مركز نمو الأعشاب والنباتات غير المرغوب فيها وتدميرها. ولتحقيق ذلك يجب توظيف أشعة الليزر بدقة بالغة كما تلعب نوعية الأشعة والكمية المستخدمة منها دورا أساسيا في ذلك. وقد أظهرت التجارب بأن توجيه الليزر بكمية قليلة يساعد على زيادة نمو الأعشاب الطفيلية، وبالتالي إلى عكس ما يود الباحثون الوصول إليه. خصوصية هذا البديل في مكافحة الأعشاب غير المرغوب فيها تتجلى في أن يتعرف الروبوت على الأعشاب الطفيلية وتوجيه أشعة الليزر إليها بشكل غير عشوائي دون إصابة المحاصيل الزراعية. وفي سبيل تحقيق ذلك تم تثبيت كاميرات لتصوير النباتات. وهناك برمجيات إلكترونية خاصة تقيس ملامح وخصوصيات كل نبات على حدة، لتساعد على التمييز بين الأعشاب غير المرغوب فيها والمحاصيل الزراعية. وهكذا يتم الاستهداف بأشعة الليزر على النحو الأمثل. في الحقول المغطاة بالزجاج يتم تخصيص مساحة صغيرة (قرابة متر مربع) لجهاز الليزر. ويبدو أن القطاع الصناعي يولي اهتماما كبيرا لهذا التطور التقني. كما يتوقع الباحثون أن يبدأ قريبا استخدام الليزر في البيوت الزجاجية وفي المشاتل. غير أن الصعوبة تكمن في استخدامه في مجالات أوسع، مثلا في المزارع والحقول، حيث إن تركيب الليزر على الجرارات الزراعية أمر صعب، لأن دقة التسديد تحتاج إلى أرضية ثابتة لا يضمنها الجرار بسبب الاهتزازات التي يخلفها. ولذلك فمن الأفضل أن يتم هناك استخدام طائرات بدون طيار (شكل 5 – 1 ، 5 – 11، 5 - 12)، أو روبوتات صغيرة تحلق بأسراب فوق الحقل.



شكل 5- 10. لروبوت الطائرة كحامل لأشعة الليزر لمكافحة الأعشاب الطفيلية. (BerndRoselieb/photon-pictures.com.

شكل 5- 11. جهاز ليزر الاعشاب LaserWeeder، يستخدم نظام Carbon Robotics الليزر والتحديد الدقيق لقتل الأعشاب الضارة. وكذلك لتخفيف المحاصيل الخالية من المواد الكيميائية.

شكل 5 - 12. تكنولوجيا الليزر لمعالجة تجمعات الاعشاب في الحقول

أجهزة الليزر لاخافة وابعاد الطيور Laser bird deterrent system

يعد ردع الطيور بالليزر أحد أكثر الطرائق فعالية لصد الطيور الحشرية. هذه الاجهزة مخصصة لإبعاد الطيور عن مناطق كبيرة من اماكن التربية وأشجار الفاكهة. تستطيع أشعة الليزر الطاردة للطيور إبعاد طيور الآفات (مثل الحمام والشحرور والبط والعصافير والغربان وغيرها) دون التسبب في أي ضرر للطيور أو البيئة. بالإضافة إلى ذلك، لا تنتج الاجهزة الطاردة للطيور بالليزر أي صوت، لذلك يمكنك الاستمتاع بمساحة خالية من الطيور دون الضوضاء غير المرغوب فيها. تستخدم بعض الاجهزة ضوء شعاع الدهون بالليزر الأزرق ونظام مسح شعاعي مبرمج مسبقًا. وهي اجهزة اقتصادية للغاية وخفيفة الوزن ومناسبة للاستخدام الخارجي وسهلة الاستخدام. يمكن برمجة أجهزة الليزر للعمل خلال ساعات عالية الخطورة وتكون فعالة بشكل خاص كرادع للطيور التي تجثم عند الغسق. تتكون بعض الاجهزة من موجة مستمرة من الليزر الأزرق بطول 450 نانومتر وماسح ضوئي ميكانيكي مثبت في الجسم المعدني المحمي من التأثيرات البيئية. تتم برمجة الماسح الضوئي مسبقًا بواسطة خوارزمية خاصة للحصول على أفضل نتيجة.

USILAND Eagle-II هي تقنية جديدة لمكافحة الطيور، والتي تعد جزءًا مهمًا من مكافحة الآفات. يستخدم شعاع الليزر لإخافة الطيور، وهو فعال لمعظم الطيور، مثل الحمام والعصافير

وطيور النورس ... ولكنه غير ضار للطيور (شكل 5 -13). استخدم طارد طيور الليزر الذكي ضوء الليزر الأخضر لإخافة الطيور بعيدًا، وعيون الطيور حساسة للغاية، عندما يرون الضوء الأخضر ، ستشعر بالخطر وتطير بعيدًا. وهذا النوع من الليزر بدون حرارة، ولن يؤذي الطيور ويتصف هذا الجهاز بالاتي:

- تغطية واسعة
- يحمي ما يصل إلى 12.5 كيلومتر مربع
- عملية بسيطة
- خيارات طاقة متعددة
- التيار الكهربائي أو البطارية أو الطاقة الشمسية (اختياري)
- 16 منطقة زمنية و 82 نقطة متوافرة
- حماية 24 ساعة لمناطق متعددة
- تبديل وضع امدادات الطاقة
- التيار الكهربائي المتردد الرئيسي بين 100 فولت و 240 فولت
- وظيفة ذاكرة البيانات
- تذكر المجموعات المبرمجة مسبقًا بعد الانقطاع المفاجئ
- 10000 ساعة مدى الحياة
- مناسب لصد معظم أنواع الطيور
- صديقة للبيئة وغير ضارة للطيور

شكل 5 -13. طارد طيور الليزر الذكي ضوء الليزر الأخضر

كيف يعمل جهاز الليزر في ابعاد الطيور How do laser bird deterrents work؟

مبدأ مكافحة الطيور بالليزر مستوحى من الطبيعة. الحاسة الأكثر تطورًا لدى الطيور هي البصر، حيث ترى أضواء الليزر على الطيف الأخضر مثل الأشياء المادية. لذلك عندما يتحرك الليزر نحو الطيور، فإنه يحفز غريزة القتال أو الطيران الطبيعية لديها، مما يجعلها تهرب (الاشكال 5-14، 5 – 15، 5 -16، 5- 17، 5 -18 ، 5- 19).

كرست سنوات من البحث لتطوير رادع الليزر النهائي للطيور وانجز من خلال تطبيق مجموعة من البصريات والترشيح وترددات الضوء عالية الدقة. والنتيجة هي أداء استثنائية في طرد الطيور مع الحفاظ على السلامة لكل من البشر والطيور.

شكل 5- 14. جهاز ليزر لابعاد الطيور

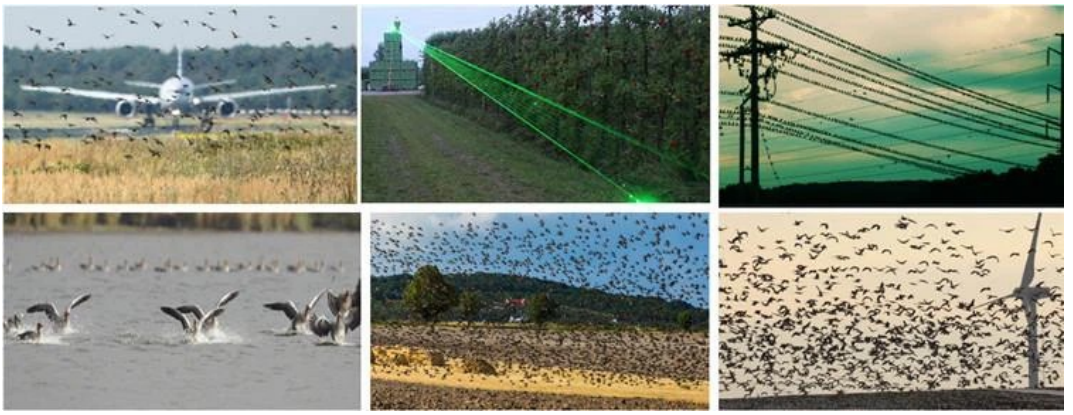
شكل 5 -15. جهاز ليزر ابعاد الطيور

المقاييس التقنية Technical parameters

الصفة التقنية Technical	القياس Parameter
الطول الموجي بالليزر	532
الحد الأقصى لطاقة الإخراج	500 ميكاواط
القطر عند الفتحة	40 ملم
أوقات الاستدامة	10000 ساعة
مسافة العمل	النهار: 500 م / الليل: 2000 م
نطاق الإسقاط الأفقي	360°
نطاق الإسقاط العمودي	+60°/ - 85°
قدرة التحمل	IP65
درجة حرارة التشغيل	- 25درجة مئوية إلى 50 درجة مئوية
مصدر الطاقة	محول الطاقة (100-240 فولت تيار متردد) أو الطاقة الشمسية (12 فولت تيار مستمر)
جهد التشغيل	12V

مجالات الاستخدام:

مطار ، زراعة ، حديقة فواكه ، خط نقل ، بركة أسماك ، بناء ... إلخ (شكل..)



شكل 5 -16. مجالات استخدام جهاز الليزر USILAND Eagle-II في ابعاد الطيور

شكل 5 -17. جهاز ليزر لابعاد الطيور من محطة الكهرباء

شكل 5 -18. ليزر AVIX Autonomic Mark II لابعاد الطيور عن الحقول

شكل 5 -19. ليزر لمكافحة الطيور في الاماكن المفتوحة

محاسن استخدام الليزر :

1. **عدم وجود تماس مباشر بين العينة ومنظومة الليزر ولذلك لايوجد تلوث او اجهادات ميكانيكية**
2. **استخدام الليزر لايؤثر على الخواص الفيزياوية للمادة لان المنطقة التي تتاثر صغيرة جدا**
3. **يمكن استخدام الليزر مع مواد مختلفة مثل المعادن والسيراميك والزجاج والخشب دون حدوث تلف للمادة**
4. **امكانية العمل في مواضع صعبة مثل الزوايا زالانحناءات وغيرها**
5. **العمل يتم بسرعة عالية ودقيقة فمثلا يمكن اجراء عملية قطع المعادن بسرعة وهي اسرع عشر مرات من الطرائق التقليدية**
6. **يمكن ان تكون عملية استخدام الليزر مبرمجة اوتوماتيكيا لغرض الدقة**
7. **يمكن الحصول على قدرات عالية جدا**
8. **شعاع الليزر لايتلف نتيجة الاستخدام كما في حالة الالات المستخدمة في الطرائق التقليدية كالقواطع وقوس اللحام والمثقبات وغيرها**
9. **العمل بالليزر يتم بهدوء وبدون تلوث كما في الطرائق التقليدية**

مساوىء استخدام الليزر:

1. **الكلفة التصنيعية والتشغيلية لمنظومة الليزر تكون عالية**
2. **منظومة الليزر تحتاج الى خبرة جيدة لتشغيلها وديمومة عملها**
3. **مخاطر القدرة العالية**
4. **تحتاج منظومة الليزر الى سيطرة وتحكم دقيقين**

المصادر:

ال خليفة، عقيل و المير اسامة. 2015. تعريض النموات الخضرية لاشعة الليزر واثره في بعض الصفات الخضرية والبيوكيميائية لنخيل التمر *Phoenix dactylifera*. المكثر نسيجيا. مجلة جامعة ذي قار للبحوث الزراعية ، المجلد 4 (2) : 1- 19.

ألهمشري، كريم جمال. 2020. تطبيقات الليزر في الهندسة الزراعية. 76 ص.

حمودي، وليد خلف ، ابراهيم، عبدالمجيد عيادة وخلف، اكرم عبدالله . 2017. تأثير الغازات المساعدة على عملية قطع مادة الفورميكا ومادة ورق التنعيم باستخدام ليزر ثنائي الوصلة ذا قدرة منخفضة W.16 ، (مجلة تكريت للعلوم الصرفة ، العدد 7 ، ص)137 .

الربيعي، حسين فاضل.2013 . الأضرار الاقتصادية والبيئية والتغذوية للآفات الزراعية. وزارة العلوم والتكنولوجيا. الشبكة العراقية لنخلة التمر، 6 ص.

مهدي، استبرق محمود ، سحر ناجي رشيد، ياسين حميد محمود و عواطف صابر جاسم 2018. دراسة تأثير تغيير المعلمات التشغيلية لليزر الدايود على خنفساء الطحين Tribolium castaneum (Coleoptera: Tenebrionidae) الحمراء. مجلة جامعة الانبار للعلوم الصرفة 12 (2): 13-22.

". www.aps.org "Archived from the original on . 1958. Invention of the Laser" .2021-12-10. Retrieved 2022-01-27

Adler, C., Gunnar, A., Christian, B., Show, H., and Zorn, J. 2018.Star Wars in food stores -automated detection, determination and laser elimination of insect pests. Conference: 12th International Working Conference on Stored Product Protection (IWCSPP)At: Berlin, Germany. DOI: 10.5073/jka.2018.463.212

Agency, T.E.S. 2021. Satellite Frequency Bands. Available online: https://www.esa.int/Applications/Telecommunications_Integrated_Applications/Satellite_frequency_bands (accessed on 15 March 2024).

and Pinheiro, P. 2023. New Biocompatible Technique Based on the Use of a Laser to Control the Whitefly Bemisia tabaci. Photonics 2023, 10, 636: 4- 12.

Andreasen, C.; Bitarafan, Z.; Fenselau, J.; Glasner, C. 2018. Exploiting waste heat from combine harvesters to damage harvested weed seeds and reduce weed infestation. Agriculture, 8, 42.

Bayramian A; Fay P E; Dyer W E .1993. Weed control using carbon dioxide lasers. Proceedings Western Society of Weed Science, Logan, Utah, USA, pp 55–56.

Bitarafan, Z.; Andreasen, C. 2020. HarvestWeed Seed Control: Seed production and retention of *Fallopia convolvulus*, *Sinapis arvensis*, *Spergula arvensis* and *Stellaria media* at spring oat maturity. Agronomy 2020, 10, 42.

Bradley, D. 2014. Laser-guided fruit flies: Thermal control. Nature Methods, 2014, online.

Brydegaard, M., Jansson, S., Malmqvist, E., Mlacha, Y.P., Gebru, A., Okumu, F., Killeen, G.F., Kirkeby, C., 2020. Lidar reveals activity anomaly of malaria vectors during pan-African eclipse. Sci. Adv. 6, eaay5487. https://doi.org/10.1126/sciadv.aay5487.

Brydegaard, M., Svanberg, S., 2018. Photonic monitoring of atmospheric and aquatic fauna. Appl. Phys. B. 12, 1800135. ttps://doi.org/10.1002/lpor.201800135.

Lincoln, Garwinand, L. في . 2003. "Charles H. Townes (2003). "The first laser A Century of Nature: Twenty-One Discoveries that Changed Science. T. University of Chicago Press

Chen, L., Wallhead, M., Reding, M., Horst, L. and Zhu, H. 2020. Control of Insect Pests and Diseases in an Ohio Fruit Farm with a Laser-guided Intelligent Sprayer. American Society for Horticultural Science,V 30 (2): 168–175.

Clayborn, J., Clayborn, T., 2019. What happens in forests when nobody's present? A sustainable method to document insect behaviors and interactions using video surveillance. Int. J. Trop. Insect Sci. 39, 341–345. https://doi.org/10.1007/s42690-019-00034-5.

De Souza Amorim, D., Brown, B.V., Boscolo, D., Ale-Rocha, R., Alvarez-Garcia, D.M., Balbi, M.I.P.A., de Marco Barbosa, A., Capellari, R.S., de Carvalho, C.J.B., Couri, M. S., de Vilhena Perez Dios, R., Fachin, D.A., Ferro, G.B., Flores, H.F., Frare, L.M., Gudin, F.M., Hauser, M., Lamas, C.J.E., Lindsay, K.G., Marinho, M.A.T., Marques, D. W.A., Marshall, S.A., Mello-Patiu, C., Menezes, M.A., Morales, M.N., Nihei, S.S., Oliveira, S.S., Pirani, G., Ribeiro, G.C., Riccardi, P.R., de Santis, M.D., Santos, D., dos Santos, J.R., Silva, V.C., Wood, E.M., Rafael, J.A., 2022. Vertical stratification of insect abundance and species richness in an Amazonian tropical forest. Sci. Rep. 12.

Drake, V.; Reynolds, D. 2012. Radar Entomology: Observing Insect Flight and Migration; CAB International: Wallingford, UK,. [Google Scholar]

Eaton, F.D.; McLaughlin, S.A.; Hines, J.R. 1995. A new frequency-modulated continuous wave radar for studying planetary boundary layer morphology. Radio Sci. 30, 75–88. [Google Scholar] [CrossRef].

Feugier, F. G. 2013. Pest control system, pest control method and pest control program. WO 2013/069059 A1.

Fingas, J. 2015. Researchers control fruit flies' hearts with a laser. Report, 3 P.

Gaetani, R., V. Lacotte, V. Dufour, A. Clavel, G. Duport, K. Gaget, F. Calevro, P. Da Silva, A. Heddi, D. Vincent & B. Masenelli. 2021. Sustainable laser-based technology for insect pest control. European Journal of Human Genetics, (Scientific Reports volume 11, Article number: 11068

Genoud, A.P., Saha, T., Williams, G.M., Thomas, B.P., 2023. Insect biomass density: measurement of seasonal and daily variations using an entomological optical sensor. Appl. Phys. B. 129, 26. https://doi.org/10.1007/s00340-023-07973-5.

Halloy J, Sempo G, Caprari G, Rivault C, Asadpour M, Tache F, Said I, Durier V, Canonge S, Ame JM. 2007. Cockroaches to control self-organized choices. Science. 318(5853):1155. doi:10.1126/science.1144259.

Heisel, T.; Schou, J.; Andreasen, C.; Christensen, S. Using laser to cut and measure thickness of *Beta vulgaris* L. and *Solanum nigrum* L. stems. Weed Res. 2002, 42, 242–248.

Hobbs, S. 1991. A radar signal processor for biological applications. Meas. Sci. Technol., 2, 415. [Google Scholar] [CrossRef]

https://www.agro-lib.site/2021/11/blog-post_646.html

Ildar, R. 2021. Machine vision for low-cost remote control of mosquitoes by power laser. Journal of Real-Time Image Processing availabe here https://doi.org/10.1007/s11554-021-01079-x

Keller, M. D. et al. 2016. Laser induced mortality of Anopheles stephensi mosquitoes. Sci. Rep. 6, 1–11 .

Kern, P. et al. 2019. Star Wars in the warehouse – A new approach using a camera and laser to spot and eliminate insect pests. Conference paper presented at Entomology Congress 2019, Halle (Saale), Germany. March 14, 2019.

Li, M., Jansson, S., Runemark, A., Peterson, J., Kirkeby, C., Jönsson, A. and Brydegaard, M. 2020. Bark beetles as lidar targets and prospects of photonic surveillance. Journal of BIO Photonics,V 14 (4). https://doi.org/10.1002/jbio.202000420

Li, R., Xiang, Y., Yang, Z., Han, X Lin, J. and Hu, Z. 2021. A Laser Irradiation Method for Controlling Pieris rapae Larvae. Appl. Sci. 2021, 11(20), 9533; https://doi.org/10.3390/app11209533

Lihoreau M, Costa J, Rivault C. 2012. The social biology of domiciliary cockroaches: colony structure, kin recognition and collective decisions. Insect Soc. 59:445–452. doi:10.1007/s00040-012-0234-x.

Luo, C. et al. 2020. Hosting certain facultative symbionts modulate the phenoloxidase activity and immune response of the pea aphid Acyrthosiphon pisum. Insect Sci. https://doi.org/10.1111/1744-7917.12888.

Maggiora1, R., Saccani1, M., Milanesio, D. and Porporato, M. 2019. An Innovative Harmonic Radar to Track Flying Insects: The Case of *Vespa velutina.* Scientific Reports | (2019) 9:11964 | https://doi.org/10.1038/s41598-019-48511-8

Malmqvist, E., Jansson, S., Zhu, S., Li, W., Svanberg, K., Svanberg, S., Rydell, J., Song, Z., Bood, J., Brydegaard, M., Åkesson, S., 2018. The bat–bird–bug battle: daily flight activity of insects and their predators over a rice field revealed by high-resolution Scheimpflug Lidar. Royal Soc. Open Sci. 5 (4), 172303.

Månefjord, H., Müller, L., Li, M., Salvador, J., Blomqvist, S., Runemark, A., Kirkeby, C., Ignell, R., Bood, J., Brydegaard, M., 2022. 3D-printed fluorescence hyperspectral lidar for monitoring tagged insects. IEEE J. Sel. Top. Quantum Electronic. 28, 1–9. https://doi.org/10.1109/JSTQE.2022.3162417

Marxa, C., Kiesowb, T., Hustedtb, M., Kaierleb, F., Poehlingc, H. Ratha, T. 2013. Application of NIR-lasers for the control of aphids and whiteflies. DGG-Proceedings, Vol. 3, Dec 2013, No. 12, p. 1-5. DOI: 10.5288/dgg-pr-03-12-cm-2013.

Mathiassen, K.; Bak, T.; Christensen, S.; Kudsk, P. 2006. The eect of laser treatment as a weed control method. Biosyst. Eng. 95, 497–505.

Mathiassen, S. K., Bak, T., Christensen, C. and Kudsk, P. 2006. The Effect of Laser Treatment as a Weed Control Method. Biosystems Engineering (2006) 95 (4), 497–505.

Mayer, B., et al. 2017. "Long-term mutual phase locking of picosecond pulse pairs generated by a semiconductor nanowire laser." Nature Communications 8 .(2): 15521

Melander B; Jørgensen M H .2005. Soil steaming to reduce intrarow weed seedling emergence. Weed Research, 45(3), 202–211.

Misra, A. 2012. Biophysics", Janeza Trdine Rijeka, P.. Croatia, p (ix Misra, A.NMa

Corbalán, J. (2000). "Lasing without inversion". J. Opt. B: . J ،Mompart R7–R24. Bibcode:2000JOptB...2R...7M. :3 .ع 2 .ج .Quantum Semiclass. Opt .DOI:10.1088/1464-4266/2/3/201

Morrison, W., Lanba, A., Hall, B., and Bruce1, A. 2019. Novel implementation of laser ablation tomography as an alternative technique to assess grain quality and internal insect development in stored products. Journal of Stored Product Research. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022474X19303418

Mullen, E., Rutschman, P., Pegram, N., Patt, J., Adamczyk, J., and Johanson, C. 2016. Laser system for identification, tracking, and control of flying insects. Optical Society of America, Vol. 24, No. 11. DOI:10.1364/OE.24.011828 | OPTICS EXPRESS 11831.

Nail, S., Chang, C., Hsu, F., Su, C. and Chen, S. 2020. Rapid laser pest control system with 3D small object detection. Proceedings Volume 11299, AI and

Optical Data Sciences; 112990T (2020) https://doi.org/10.1117/12.2546946. Event: SPIE OPTO, 2020, San Francisco, California, United States

Rakhmatulin I, Andreasen C. 2020. A Concept of a Compact and Inexpensive Device for Controlling Weeds with Laser Beams. Agronomy availabe here https://doi.org/10.3390/agronomy10101616.

Rakhmatulin I. 2021. Detect caterpillar, grasshopper, aphid and simulation program for neutralizing them by laser. doi:10.21203/rs.3.rs-242641/v1

Rakhmatulin, I. & Andreasen, C. A. 2020. concept of a compact and inexpensive device for controlling weeds with laser beams. Agronomy 10, 1616

Rashid, S. and Mahdi, E. 2018. Study the Effect of Nd:YAG Laser on Cowpea Beetle (*Callosobruchus maculates*(Fab). International Conference on Materials Engineering and Science, 454: 2-9. doi:10.1088/1757-899X/454/1/012108

Riley, J.1980. Radar as an Aid to the Study of Insect Flight. In A Handbook on Biotelemetry and Radio Tracking; Pergamon: Oxford, UK, pp. 131–140. [Google Scholar] [CrossRef.

Rosenberg, K.V.; Dokter, A.M.; Blancher, P.J.; Sauer, J.R.; Smith, A.C.; Smith, P.A.; Stanton, J.C.; Panjabi, A.; Helft, L.; Parr, M.; et al. 2019. Decline of the North American avifauna. Science, 366, 120–124. [Google Scholar] [CrossRef]

Schirmacher A. 2010. Eye protection for short and ultra-short pulsed laser systems Augenschutz für Kurz- und Ultrakurzpulslasereinrichtungen. Medical Laser Application. 25(2):93–98. doi:10.1016/j.mla.2010.01.004.

Shaw L N; Mitchell D J .1977. A continuous soil pasteurizer for organic nursery potting mixtures. ASAE Paper No. 74–1502.

Shimbun, Y. 2023. Use Laser Beam to Exterminate Harmful Moths. A research team from Osaka University is using a laser beam to target moths that damage agricultural crops.

Sliney D. 2009. Chapter 24 - eye safety of laser and light-based devices. In: Cosmetics applications of laser & light-based systems. Personal care & cosmetic technology. p. 499–516

Sustainable Weed Management in Agriculture With Laser-Based Autonomous Tools | WeLASER Project | H2020 | CORDIS | European Commission. https://cordis.europa.eu/project/id/101000256.

Tauc, M.J., Fristrup, K.M., Repasky, K.S., Shaw, J.A., 2019. Field demonstration of a wing-beat modulation lidar for the 3D mapping of flying insects. OSA Continuum. 2, 332–348. https://doi.org/10.1364/OSAC.2.000332.

Viola, P.; Jones, M. 2004. Robust real-time face detection. Int. J. Comput. Vis. 57, 137–154.

Wang, Y., Zhao, C., Dong, D., Wang, K. 2013. Real-time monitoring of insects based on laser remote sensing. Ecological Indicators 151 (2023) 110302

Wilde, E. 2012. Laser Effects on Two Insects The Canadian Entomologist, V 97 (1) : 88 – 92. DOI: https://doi.org/10.4039/Ent9788-1

Xiong, Y.; Ge, Y.; Liang, Y.; Blackmore, S. 2017. Development of a prototype robot and fast path-planning algorithm for static laser weeding. Comput. Electron. Agric. 142, 494–503.

Zaidem, A., Silva, L., Ferreira, A., Carvalho, M., Ragni, M., Abegão,L. and Zhang C, Wu J, Chen Z, Liu W, Li M. 2021. Dense-CNN: dense convolutional neural network for stereo matching using multiscale feature connection. Signal Processing: Image Communication. 95:116285.

IRAQI LASER SOCIETY

SUSTAINABLE LASER-BASED TECHNOLOGY FOR AGRICULTURAL PESTS CONTROL

BY

DR. MOHAMMED ZAIDAN KHALF AL-JUBOORI
&
DR. TALIB ZAIDAN TAABAN ALMOSAWI