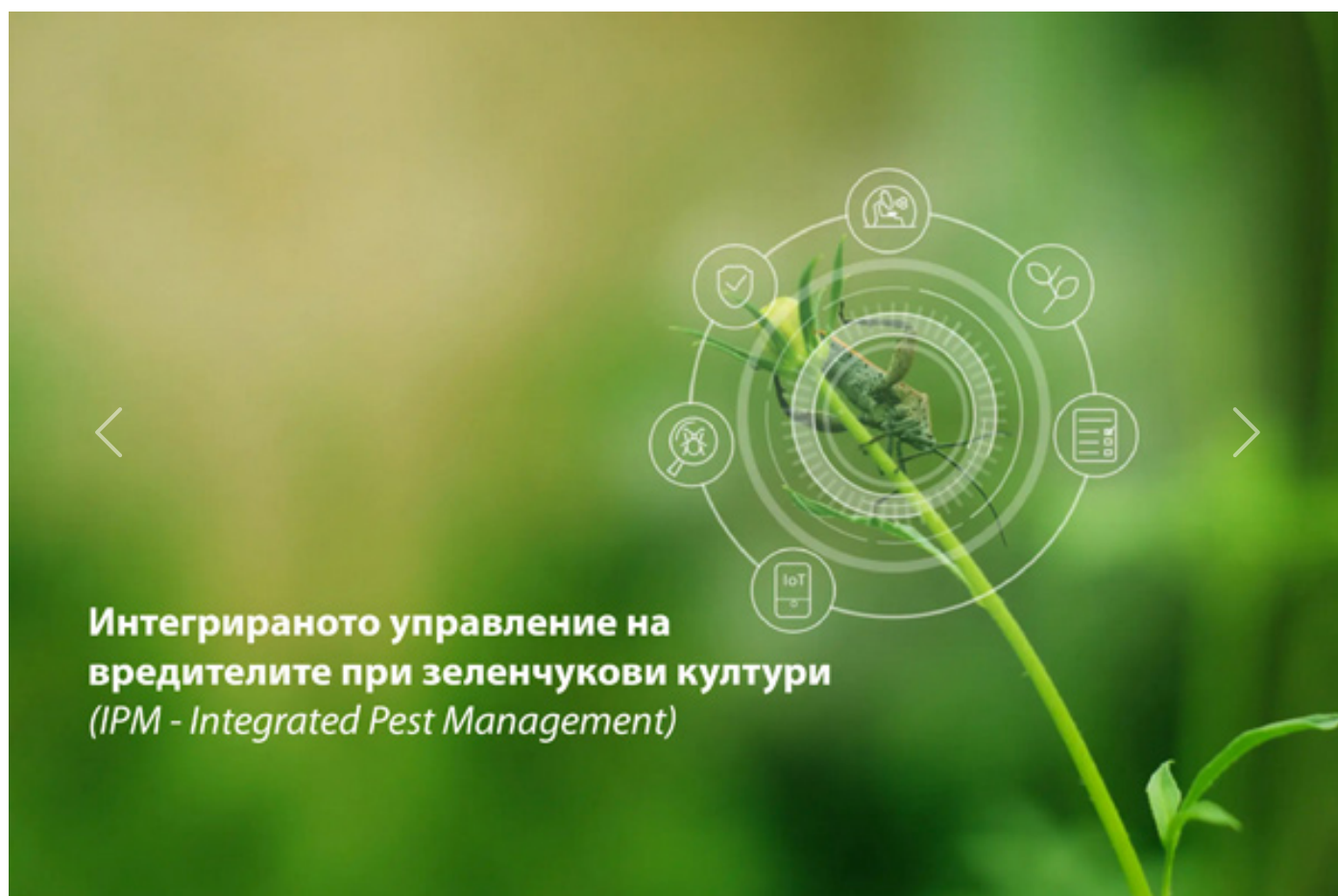


Integriertes Schädlingsmanagement im Gemüseanbau – Ein neuer Ansatz mit Traditionen

Автор(и): проф. д-р Винелина Янкова, Институт за зеленчукови култури "Марица" – Пловдив, ССА; проф. д-р Стойка Машева, ИЗК "Марица", ССА
Дата: 14.07.2025 *Брой:* 7/2025



Integriertes Schädlingsmanagement (IPM – *Integrated Pest Management*) ist ein umfassender, ökologischer Ansatz zur Schädlingsbekämpfung in landwirtschaftlichen Systemen. Es beinhaltet die strategische Integration mehrerer Bekämpfungsmethoden – kulturelle, biologische und chemische Praktiken –, um Schädlingspopulationen unter der wirtschaftlichen Schadensschwelle zu halten. Dadurch werden Umwelt- und Gesundheitsrisiken für den Menschen minimiert. IPM legt besonderen Wert auf vorbeugende Maßnahmen, Überwachung und Entscheidungen, die auf etablierten Schadensschwellen basieren. Die Hauptprinzipien des

IPM umfassen die Vorbeugung von Schädlingsproblemen durch kulturelle Praktiken wie Fruchtwechsel; die kontinuierliche Überwachung von Schädlingpopulationen und deren natürlichen Feinden; die Verwendung wirtschaftlicher Schadensschwellen bei Managemententscheidungen; die Anwendung einer Kombination aus biologischen, physikalischen und chemischen Bekämpfungsmethoden; die Bewertung der Wirksamkeit der durchgeführten Behandlungen. Durch die Einbeziehung multidisziplinären Wissens und eines systembasierten Ansatzes zielt IPM darauf ab, die landwirtschaftliche Produktion zu optimieren, Ökosystemdienstleistungen zu erhalten und die schädlichen Folgen konventioneller Pestizidanwendungen zu mindern.

Nachhaltige Schädlingsbekämpfungspraktiken im Rahmen von IPM sind entscheidend, um den Herausforderungen des wachsenden Nahrungsmittelbedarfs, der Erhaltung nationaler Bioressourcen und der Minderung negativer Auswirkungen des Klimawandels zu begegnen. Konventionelle Schädlingsbekämpfungspraktiken, die den intensiven Einsatz von Pestiziden beinhalten, führen zu zahlreichen ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Herausforderungen. Dazu gehören die Entwicklung von Pestizidresistenzen, die Störung nützlicher Makrobioagentengemeinschaften, Boden- und Wasserverunreinigungen sowie die potenzielle Exposition von Arbeitnehmern und Verbrauchern gegenüber gefährlichen Chemikalien. Umgekehrt bietet IPM ein nachhaltigeres Modell zur Schädlingsbekämpfung, indem es Pestizidbehandlungen auf wirtschaftlich und ökologisch gerechtfertigte Schwellenwerte begrenzt. Durch die Verringerung der Abhängigkeit von chemischen Pestiziden fördert IPM die Biodiversität und den Ökosystemschutz, stärkt die Stabilität landwirtschaftlicher Systeme, bringt den Landwirten wirtschaftliche Vorteile durch geringere Inputkosten und höhere Erträge und verbessert gleichzeitig die Lebensmittelsicherheit und Produktqualität für die Verbraucher.

IPM befasst sich nicht nur mit den direkten Auswirkungen von Schädlingen auf Kulturpflanzen, sondern trägt auch zur nachhaltigen Entwicklung bei, einschließlich der Erhaltung natürlicher Ressourcen, des Schutzes der öffentlichen Gesundheit und der Förderung des sozialen und wirtschaftlichen Wohlergehens.

Hauptprinzipien des Integrierten Schädlingsmanagements:

1. Bioöközenologischer Ansatz. Die Agrobiozönose ist ein lebender Organismus. Die Beziehungen zwischen ihren Komponenten sind dynamisch. Die Einführung von IPM zielt darauf ab, das biologische Gleichgewicht in Ökosystemen zu erhalten, basierend auf den antagonistischen Beziehungen zwischen schädlichen und nützlichen Organismen. Der Fokus liegt auf der Kontrolle, nicht auf der Ausrottung des Schädlings. Eine vollständige Zerstörung von Schädlingen ist unmöglich, und ein solcher Versuch kann teuer und gefährlich für die Umwelt sein.



Im Rahmen dieses Programms beginnt die Kontrolle mit der Festlegung von Wirtschaftlichen Schadensschwellen (EILs). Die Auswahl und Anwendung von Bekämpfungsmaßnahmen folgen. Diese Schwellenwerte umfassen nicht nur Schädlinge, sondern auch den spezifischen Ort, auf den sie sich beziehen, da sie je nach Region variieren können. Durch die Aufrechterhaltung von Schädlingspopulationen auf einem akzeptablen Niveau wird der Selektionsdruck eliminiert. Dies reduziert das Risiko der Entwicklung von Resistenzen gegen chemische Pflanzenschutzmittel (PSM).

2. Ökonomischer Ansatz. Im Pathosystem oder in der Schädlings-/Pflanzenkombination ist es wichtig, Schadens- und Aktionsschwellen zu bewerten. Die Aktionsschwelle ist die maximale Höhe der Krankheits- oder Schädlingsentwicklung, unterhalb derer Verluste keine wirtschaftliche Bedeutung haben. Bei Erreichen dieser Schwelle müssen Maßnahmen ergriffen werden, um eine epiphytotische oder katastrophale Vermehrung zu verhindern. Diese Schwelle ist ein wichtiges Instrument im integrierten Pflanzenschutz und kann je nach Wirksamkeit der Bekämpfungsalternativen und deren Wirkungsdauer variieren.

3. Richtige Auswahl chemischer Mittel. IPM verwendet selektive Pestizide, die für Schädlinge toxisch und für Nützlinge ungiftig oder schwach toxisch sind. Die Selektivität kann sein: Physiologisch – bestimmt durch die aktive Struktur des PSM und seinen Wirkmechanismus; Ökologisch – bestimmt durch die Biologie und Ökologie von Schädlingen und Nützlingen; Technologisch – bestimmt durch die Methoden und Ansätze der Behandlung (lokale Behandlung, Anwendung mit Tropfbewässerungssystemen, Fertigation, Saatgutbehandlung,

Verwendung von granularen PSM, Pestizidmischungen, reduzierte Dosen in Kombination mit mikrobiellen Präparaten). Die Risikobewertung für die Anwendung chemischer PSM in IPM-Programmen wird bestimmt durch: Charakterisierung und Identifizierung biologischer Bekämpfungsmittel; Gesundheitsrisiken; Umweltrisiken; Wirksamkeit der PSM. IPM verwendet die selektivsten Pestizide, die ihren Zweck erfüllen und gleichzeitig für Nützlinge, Luft-, Boden- und Wasserqualität am sichersten sind; es werden lokale, nicht totale, Behandlungen durchgeführt und Sprühungen mit geringem Volumen angewendet.

Bestandteile des IPM

IPM basiert auf einer Kombination von Strategien, darunter Prävention und kulturelle Bekämpfungsmethoden, Überwachungs- und Entscheidungshilfen, biologische und chemische Bekämpfung. Präventive und kulturelle Bekämpfungsmethoden umfassen Fruchtwechsel, das Freihalten von Kulturen von Unkräutern, Mischkulturen und die Verwendung resistenter Sorten. Ziel ist es, Bedingungen zu schaffen, die für die Entwicklung von Schädlingspopulationen weniger günstig sind. Überwachungs- und Entscheidungshilfen (EILs, Scouting und Probenahmetechniken) helfen Landwirten, Schädlingspopulationen zu bewerten und zu bestimmen, wann ein Eingreifen notwendig ist. Biologische Bekämpfungsmethoden, einschließlich des Einsatzes natürlicher Feinde, der Erhaltung und Vermehrung nützlicher Arten, der genetischen Kontrolle und der klassischen biologischen Bekämpfung, nutzen die Kraft von Prädatoren/Parasiten, um Schädlingspopulationen in Schach zu halten. Chemische Interventionsmethoden (Biopestizide, selektiver/gezielter Pestizideinsatz und Nanotechnologien) werden umsichtig eingesetzt, um Schädlinge zu bekämpfen, wenn andere Methoden unzureichend sind. Durch die Integration dieser vielfältigen Strategien kann IPM Schädlinge erfolgreich managen, indem es Risiken für die öffentliche Gesundheit und die Umwelt reduziert.

1. Prävention und kulturelle Bekämpfungsmethoden

Fruchtwechsel ist eine grundlegende Strategie für die präventive Schädlingsbekämpfung im Rahmen von IPM. Dabei werden nacheinander verschiedene Kulturen auf einem bestimmten Feld in verschiedenen Vegetationsperioden angebaut. Die Wirksamkeit des Fruchtwechsels bei der Unterdrückung von Schädlingspopulationen beruht auf folgenden Mechanismen: räumlich-zeitliche Trennung von Wirtspflanzen; Einbeziehung von Nicht-Wirtspflanzen, die als Barrieren oder Fangpflanzen fungieren; Stimulation nützlicher Arten durch Verbesserung ihrer Biodiversität. Die Wirksamkeit des Fruchtwechsels als IPM-Strategie hängt von der umsichtigen Auswahl und Organisation der Kulturen in einer zeitlichen Abfolge, der Vielfalt der im Rotationsschema enthaltenen Kulturen, der Dauer des Rotationszyklus und der strategischen Einbeziehung von Zwischenfrüchten oder Gründüngung ab. Es hat sich gezeigt, dass der Wechsel von Nicht-Wirtspflanzen mit

Wirtspflanzen (Gemüse) in einer strategischen Rotationsfolge die Häufigkeit und schädliche Aktivität von bodenbürtigen Phytopathogenen und pflanzenparasitären Nematoden über ein breites Spektrum von Kulturen hinweg wirksam begrenzt. Die Einbeziehung von Hülsenfrüchten in Fruchtfolgen kann auch Unkrautpopulationen durch allelopathische Effekte und Konkurrenz um Ressourcen unterdrücken, während gleichzeitig die Bodenfruchtbarkeit verbessert wird.

Gewürzkulturen in Mischkultursystemen im Gemüseanbau

Mischkulturen verschiedener Kulturen sind eine wirksame kulturelle Bekämpfungsstrategie. Sie beinhaltet den gleichzeitigen Anbau mehrerer Pflanzenarten auf einem einzigen Feld. Diese präventive Praxis basiert auf ökologischen Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Pflanzenarten, um Agrarökosysteme zu schaffen, die die Schädlingsausbreitung begrenzen und die Aktivität natürlicher Feinde fördern. Die Mechanismen von Mischkulturen sind komplex. Sie umfassen Faktoren wie Ressourcenkonkurrenz, physische Barrieren, Allelopathie und Habitatmanipulation. Die Wirksamkeit von Mischkulturen als Schädlingsbekämpfungsstrategie hängt von der umsichtigen Auswahl der Begleitkulturen, ihrer präzisen räumlichen Anordnung und dem idealen Zeitpunkt ihrer Etablierung ab.



Ein Beispiel für eine solche Koexistenz ist der Anbau von Aromapflanzen wie Basilikum oder Minze als Zwischenfrüchte. Diese wehren flüchtige Geruchssignale ab oder maskieren sie, die von Schädlingen zur Lokalisierung ihrer Wirtspflanzen verwendet werden, wodurch die Befallrate reduziert wird. Neben ihren direkten Auswirkungen auf Schädlingspopulationen kann die Mischkultur auch die allgemeine Widerstandsfähigkeit und den Ertrag von Agrarökosystemen verbessern, indem sie die Bodenfruchtbarkeit erhöht, die Wassernutzungseffizienz optimiert und den Einfluss abiotischer Stressoren reduziert.

Hygienemaßnahmen, die das Entfernen und Zerstören von schädlingsbefallenem Pflanzenmaterial, Ernteresten und anderen Quellen von Schädlingsinokulum von Feldern und umliegenden Gebieten umfassen, sind ebenfalls kulturelle Bekämpfungspraktiken. Sie reduzieren aufkommende Schädlingspopulationen und verhindern deren Ausbreitung innerhalb und zwischen den Anbausaisonen, wodurch der Bedarf an Korrekturmaßnahmen minimiert wird. Über diese feldbezogenen Maßnahmen hinaus umfassen Hygienemaßnahmen auch die Reinigung und Desinfektion von landwirtschaftlichen Geräten, Lagereinrichtungen und Transportfahrzeugen, um die Einführung und Ausbreitung von Schädlingen aus externen Quellen zu begrenzen.

Anbau resistenter Sorten ist eine Kernstrategie der kulturellen Schädlingsbekämpfung. Sie nutzt die genetische Vielfalt von Kulturpflanzen, um die nachteiligen Auswirkungen von Schädlingen und Krankheiten auf angebaute Kulturen zu minimieren. Der Einsatz resistenter Sorten in IPM-Programmen zielt darauf ab, die Abhängigkeit von Pestiziden zu reduzieren, Ernteverluste zu minimieren und die allgemeine Widerstandsfähigkeit der Kulturen zu verbessern.

2. Überwachung und Entscheidungsfindung

Regelmäßige Überwachung und Probenahme sind grundlegend für die Entscheidungsfindung in IPM-Programmen.



Zur Überwachung von Schädlingspopulationen und deren nachteiligen Auswirkungen auf Kulturpflanzen werden auch verschiedene Werkzeuge und Techniken eingesetzt, darunter: visuelle Inspektion, der Einsatz von Schutznetzen für Ventilatoren, Klebefallen, Pheromonfallen und Fernerkundungstechnologien.

Fernerkundungstechniken umfassen Luftaufnahmen, Satellitenbilder und unbemannte Luftfahrzeuge. Diese werden zunehmend eingesetzt, um den Erntezustand zu überwachen und Schädlingsausbrüche frühzeitig über große räumliche Skalen hinweg zu erkennen. Die Integration verschiedener Überwachungswerkzeuge und -techniken, kombiniert mit einer geeigneten Probenahme, ermöglicht datengestützte Entscheidungen hinsichtlich der Notwendigkeit und des Zeitpunkts von Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen. Mit fortschreitender Forschung im Bereich der künstlichen Intelligenz werden Möglichkeiten für deren Einsatz in der IPM-Entscheidungsfindung erforscht (zur Entwicklung prädiktiver Modelle basierend auf maschinellem Lernen und neuronalen Netzen, zur Optimierung der Überwachungsinfrastruktur; zur Verbesserung prädiktiver Modelle).

Wirtschaftliche Schadensschwellen sind wesentliche Werkzeuge bei der Entscheidungsfindung über die Behandlung von Kulturen. Sie bestimmen, wann Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen wirtschaftlich gerechtfertigt sind. Dieser Ansatz minimiert überflüssige Pestizidanwendungen, reduziert die Umweltbelastung und die mit der Schädlingsbekämpfung verbundenen wirtschaftlichen Lasten.

3. Biologische Schädlingsbekämpfung

Natürliche Feinde, darunter Parasitoide, Prädatoren und Pathogene, stellen einen entscheidenden Bestandteil der biologischen Schädlingsbekämpfung innerhalb von IPM-Programmen dar.



Solche nützlichen Organismen können die Regulierung von Schädlingspopulationen durch verschiedene Mechanismen ermöglichen, einschließlich direkter Prädation, Parasitismus und Infektion, wodurch die Schädlingsdichten oft unter den wirtschaftlichen Schadensschwellen gehalten werden. Eine erfolgreiche Integration natürlicher Feinde in IPM erfordert ein umfassendes Verständnis ihrer Biologie und Interaktion mit Zielschädlingen und der Anbauumgebung. Der Einfluss von Prädatoren auf Schädlingspopulationen hängt von ihrer Fütterungsrate, funktionalen Reaktion, Beutevorlieben und anderen ökologischen Komponenten ab. Parasitoide sind Insekten, die ihre Eier im Wirt ablegen und diesen bei der Entwicklung der Parasitoidenlarven eliminieren. Pathogene, einschließlich Viren, Bakterien, mikroskopische Pilze und Nematoden, infizieren Schädlingspopulationen und verursachen Krankheiten, was zu reduziertem Wachstum, reduzierter Reproduktion und Überleben führt.

Die klassische biologische Schädlingsbekämpfung beinhaltet die Etablierung natürlicher Feinde von Schädlingen. Diese Strategie zielt darauf ab, eine langfristige und nachhaltige Schädlingsunterdrückung durch die Wiederherstellung des ökologischen Gleichgewichts zwischen dem Schädling und seinen natürlichen Prädatoren in der Region zu erreichen. Dies mindert die nachteiligen Auswirkungen invasiver Schädlinge auf Agrarökosysteme. Die Auswahl geeigneter natürlicher Feinde basiert auf folgenden Kriterien: Wirtsspezifität,

klimate Anpassungsfähigkeit, Reproduktionspotenzial und Suchleistung. Die Wirtsspezifität ist wichtig, um das Risiko von Nicht-Ziel-Effekten auf heimische Arten zu minimieren und die ökologische Sicherheit des biologischen Bekämpfungsprogramms zu gewährleisten.

Die Einbeziehung natürlicher Feinde in IPM-Programme basiert auf der Erhaltung und Vermehrung bestehender Populationen sowie der Einführung neuer Arten durch den konservierenden biologischen Pflanzenschutz. Dabei wird die Anbauumgebung so verändert, dass das Überleben und die Wirksamkeit biologischer Mittel durch die Bereitstellung alternativer Nahrungsquellen, Unterschlupf und Überwinterungsorte begünstigt werden. Die Erhaltung und Vermehrung natürlicher Prädatoren sind zwei Schlüsselstrategien innerhalb des umfassenderen Rahmens der biologischen Schädlingsbekämpfung. Erhaltungs- und Vermehrungstechniken werden oft in Verbindung mit anderen IPM-Taktiken, wie der chemischen und kulturellen Bekämpfung, eingesetzt, um eine nachhaltige und kostengünstige Schädlingsbekämpfung zu erreichen. Dies umfasst verschiedene Praktiken, einschließlich der Bereitstellung alternativer Nahrungsquellen, der Schaffung von Unterschlupf für überwinternde Organismen und der Minimierung breit wirkender Pestizidanwendungen, die nützliche Organismen nachteilig beeinflussen können.

4. Chemische Bekämpfung

Unter den verschiedenen Bestandteilen des IPM ist die chemische Bekämpfung diejenige, die die neuesten und aktuellsten Aktualisierungen erfahren hat. Dazu gehören die neuesten Fortschritte im selektiven und gezielten Pestizideinsatz, im Resistenzmanagement, bei Biopestiziden und Naturstoffen sowie der Einsatz von Nanotechnologien.

5. Selektiver und gezielter Einsatz von Pestiziden

Die umsichtige und präzise Anwendung von Pestiziden, gezielt auf spezifische Schädlinge, stellt ein wesentliches Element in IPM-Ansätzen dar, die die strategische Umsetzung chemischer Bekämpfungsmaßnahmen betonen. Dieser Ansatz erfordert ein tiefgreifendes Verständnis der Schädlingslebenszyklen, ökologischer Wechselwirkungen und Populationsschwankungen sowie der Kulturpflanzenphänologie und der komplexen Beziehungen innerhalb landwirtschaftlicher Ökosysteme. Die molekulare Forschung hat maßgeblich zu diesem Vorhaben beigetragen, indem sie die zugrunde liegenden Mechanismen aufgedeckt hat, die die Insektizidselektivität bestimmen.

6. Resistenzmanagementstrategien

Diese zielen darauf ab, das Auftreten von Pestizidresistenzen in Schädlingpopulationen zu verhindern oder zu verzögern. Das Auftreten von Resistenzen ist auf den Selektionsdruck zurückzuführen, der durch wiederholte Pestizidanwendungen ausgeübt wird, welche das Überleben und die Reproduktion resistenter Individuen gegenüber anfälligen begünstigen. Der Wechsel von Pestiziden mit unterschiedlichen Wirkmechanismen reduziert den Selektionsdruck auf spezifische Resistenzmechanismen und hilft, einen vielfältigen Genpool anfälliger Individuen in der Schädlingpopulation aufrechtzuerhalten. Die Anwendung von Pestiziden in ihren vollständig empfohlenen Dosen ist ein weiterer wichtiger Bestandteil der Resistenzmanagementstrategie, da subletale Dosen das Überleben und die Reproduktion resistenter Individuen erleichtern und somit das Einsetzen der Resistenz beschleunigen können.

7. Biopestizide und Produkte natürlichen Ursprungs

Biopestizide und Naturprodukte bieten ökologischere und nachhaltigere Alternativen zu konventionellen synthetischen Pestiziden. Produkte natürlichen Ursprungs werden aus natürlichen Materialien extrahiert oder isoliert und können einer gewissen chemischen Modifikation unterzogen werden, um ihre Wirksamkeit oder Stabilität zu verbessern. Mikrobielle Pestizide stammen von Bakterien, Pilzen, Viren und Nematoden ab, die für spezifische Schädlingsarten pathogen sind. Zum Beispiel sind Produkte, die aus *Bacillus thuringiensis* gewonnen werden und bakterielle Sporen und kristalline Proteine enthalten, für bestimmte Schädlinge toxisch. Verschiedene Formulierungen, die aus dem Pilz *Trichoderma viride* und ätherischen Ölen gewonnen werden, wirken gegen Pathogene, die Kulturpflanzen schädigen.

Weltweit wird intensiv geforscht, um neue bioaktive Verbindungen aus natürlichen Quellen zu entdecken und zu charakterisieren sowie Formulierungs- und Verabreichungssysteme zu optimieren.



Echter Wermut (*Artemisia absinthium*) wird seit der Antike als Heilpflanze verwendet

In jüngsten Studien zur Phytotoxizität und Entomotoxizität wurden ätherische Öle aus Rosmarin und Artemisia gegen den Tomatenschädling *Bemisia tabaci* untersucht.

8. Nanotechnologien.

Nanotechnologien sind ein aufstrebendes Feld mit Potenzial für die Entwicklung neuer und verbesserter chemischer Bekämpfungsinstrumente im Rahmen des IPM. Nanopestizide bieten mehrere potenzielle Vorteile gegenüber konventionellen Pestizidformulierungen: erhöhte Wirksamkeit, reduzierte Umweltauswirkungen und gezielte Abgabe an vorbestimmte Schädlinge oder Pflanzengewebe. Beispiele für Nanomaterialien, die bei der Herstellung von Nanopestiziden verwendet werden, sind Polymer-Nanopartikel, lipidbasierte Nanocarrier und anorganische Nanopartikel wie Siliziumdioxid und Titandioxid.

Die Entwicklung und Behandlung mit Nanopestiziden im IPM erfordert einen multidisziplinären Ansatz, der Fachwissen aus Bereichen wie Chemie, Materialwissenschaften, Agronomie, Toxikologie, Risikobewertung, Regulierung und Sozialwissenschaften kombiniert. Aktuelle Forschungsschwerpunkte und -aktivitäten in diesem Bereich umfassen das Design und die Synthese neuer Nanomaterialien mit spezifischen Funktionalitäten, die Optimierung von Nanoformulierungen und Verabreichungsmethoden sowie die Bewertung ihrer Wirksamkeit, Sicherheit und ihres Umweltverhaltens.



Die Verwendung von Neem-Extrakt wird wegen seiner medizinischen, kosmetischen und landwirtschaftlichen Anwendungen sehr geschätzt

Ein neues Biopestizid-Nanokomposit wurde entwickelt, das Azadirachtin einkapselt, eine natürliche Verbindung mit insektizider Wirkung, die aus Neembaumsamen extrahiert wird. Es zeigt eine schnellere Wirkung und höhere Wirksamkeit als herkömmliche Insektizide. Konfokalmikroskopie zeigt eine verbesserte Biodistribution im Insektenkörper, und das Nanokomposit weist aufgrund seiner inhärenten Nanostruktur und Vitamin E eine erhöhte UV-Stabilität auf. Dieser Fortschritt im nachhaltigen Schädlingsmanagement unterstreicht das Potenzial für umweltfreundlichere Ansätze zur landwirtschaftlichen Schädlingsbekämpfung durch eine Kombination aus Biotechnologien und Nanotechnologien.

Vorteile der Nachhaltigkeit von IPM-Systemen

Sie zeigen sich in mehreren Richtungen:

1. 1. Ökologische Nachhaltigkeit

Durch die Priorisierung nicht-chemischer Methoden und die umsichtige Anwendung von Pestiziden basierend auf EILs und Schädlingsüberwachung zielt IPM darauf ab, Schädlingspopulationen unterhalb wirtschaftlich schädlicher Niveaus zu halten und gleichzeitig die Abhängigkeit von chemischen Behandlungen zu minimieren.

Dieser Ansatz führt zu einer Reduzierung des insgesamt angewendeten Pestizidvolumens und fördert den Einsatz selektiver und unbedenklicher Verbindungen, wodurch nachteilige Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen, Ökosysteme und die menschliche Gesundheit gemindert werden. IPM verfolgt einen kombinierten Ansatz, der kulturelle, biologische und physikalische Bekämpfungstaktiken miteinander verbindet, ergänzt durch die strategische Anwendung von Pestiziden mit reduziertem Risiko (d.h. Biopestizide und Produkte natürlichen Ursprungs). Diese Alternativen, einschließlich Mikrobiolinsektiziden, Pflanzenextrakten und Pheromonen, weisen im Vergleich zu typischen synthetischen Pestiziden eine geringere Toxizität, kürzere Persistenz und weniger Nebeneffekte auf. Ihre Einbeziehung in IPM-Programme kann die allgemeine Nachhaltigkeit von Pflanzenschutzansätzen verbessern, indem sie Umweltschadstoffrisiken reduziert, natürliche Feinde und Wildtiere schützt und die Ökosystemresilienz fördert.

2. 2. Wirtschaftliche Nachhaltigkeit

Die wirtschaftlichen Vorteile des IPM ergeben sich aus reduzierten Schädlingsbekämpfungskosten, verbesserter Ressourceneffizienz und erhöhter Rentabilität sowie Wettbewerbsfähigkeit der landwirtschaftlichen Produktion. IPM ermöglicht es Landwirten, die wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Folgen verschiedener Schädlingsbekämpfungstechniken sorgfältig zu bewerten. Ein umsichtiger Einsatz von Pestiziden, basierend auf wirtschaftlichen Schadensschwellen, Schädlingsüberwachung und Entscheidungsunterstützungssystemen, kann die Menge der benötigten Chemikalien erheblich reduzieren, um Schädlingspopulationen unterhalb schädlicher Niveaus zu halten. Alternative Schädlingsbekämpfung (kulturelle Bekämpfung, biologische Bekämpfung) bietet kostengünstige Alternativen zur chemischen Bekämpfung. IPM verbessert auch die wirtschaftliche Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion, indem es den Einsatz von Ressourcen wie Land, Wasser und Arbeit durch Präzisionslandwirtschaftstechniken und die Integration mit anderen nachhaltigen landwirtschaftlichen Praktiken optimiert. Ernteverluste durch Schädlinge stellen eine große Einschränkung der landwirtschaftlichen Produktivität dar, wobei schätzungsweise 40 % der weltweiten Ernteproduktion jährlich an Schädlinge verloren gehen.

3. 3. Soziale Nachhaltigkeit

IPM kann zur sozialen Nachhaltigkeit beitragen, indem es die Lebensmittelsicherheit und -qualität verbessert, die wesentliche Aspekte der menschlichen Gesundheit und des Wohlergehens sind. IPM-Praktiken priorisieren den Einsatz nicht-chemischer Schädlingsbekämpfungsmethoden und den umsichtigen Einsatz von Pestiziden, wodurch das Potenzial für Pestizidrückstände in Lebensmitteln und damit verbundene Gesundheitsrisiken für Verbraucher reduziert werden. Darüber hinaus kann IPM durch die Reduzierung von Schäden durch Schädlinge und Krankheiten dazu beitragen, den Nährwert, das Aussehen und die Haltbarkeit landwirtschaftlicher Produkte

zu erhalten, wodurch deren Qualität und Marktfähigkeit weiter verbessert werden. Dadurch kann die Lebensmittelsicherheit verbessert werden, indem das Risiko von Lebensmittelkrankheiten im Zusammenhang mit mikrobieller Kontamination minimiert wird.

Herausforderungen und Chancen

Trotz der etablierten Bedeutung von IPM für die ökologische, wirtschaftliche und soziale Nachhaltigkeit gibt es verschiedene Barrieren, darunter technische, wirtschaftliche, institutionelle und kulturelle Faktoren, die eine erfolgreiche Einführung durch Landwirte behindern. Die Identifizierung und Überwindung dieser Barrieren ist entscheidend, um die breitere Anwendung von IPM zu fördern und sein Versprechen für einen nachhaltigen Pflanzenschutz zu verwirklichen. Eine zentrale technische Barriere für die IPM-Einführung ist die inhärente Komplexität und der wissensintensive Charakter von IPM-Praktiken, die erhebliche Investitionen in Bildung, Experimente und Anpassung durch Landwirte erfordern. Um diese Barriere zu überwinden, müssen IPM-Wissen und -Fähigkeiten durch geeignete Ansätze entwickelt und verbreitet werden. Die Integration von traditionellem und lokalem Wissen mit wissenschaftlicher Forschung kann zur Entwicklung angemessenerer und akzeptablerer Strategien beitragen, die auf verschiedene agrarökologische und soziokulturelle Kontexte zugeschnitten sind.

Wirtschaftliche Hindernisse, einschließlich höherer Anfangskosten und wahrgenommener Risiken im Zusammenhang mit der Einführung von IPM, können dessen Umsetzung durch Landwirte ebenfalls einschränken. Um wirtschaftliche Barrieren zu überwinden, ist es wichtig, Politiken und Anreize zu entwickeln und umzusetzen, die die Einführung von IPM-Praktiken unterstützen, wie z.B. Subventionen, Kredite und Marktinstrumente. Zum Beispiel sieht die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union Agrar-Umweltzahlungen für Landwirte vor, die IPM und andere nachhaltige landwirtschaftliche Praktiken anwenden, und erkennt damit deren Beitrag zu öffentlichen Gütern und Ökosystemdienstleistungen an.

Kulturelle und soziale Barrieren können die Einführung von Systempraktiken durch Landwirte ebenfalls einschränken. In vielen Fällen zögern Landwirte möglicherweise, ihre etablierten Schädlingsbekämpfungspraktiken zu ändern, insbesondere wenn sie IPM als Bedrohung ihrer Identität, Autonomie oder ihres sozialen Status wahrnehmen.

IPM ist kein eigenständiger Ansatz, sondern ein integraler Bestandteil nachhaltiger Agrarsysteme, die darauf abzielen, die Nutzung natürlicher Ressourcen zu optimieren, Ökosystemdienstleistungen zu verbessern und die Widerstandsfähigkeit und Anpassungsfähigkeit von Agrarökosystemen zu erhöhen. Die Integration von IPM mit anderen nachhaltigen landwirtschaftlichen Praktiken, wie z.B. konservierender Landwirtschaft,

Agroforstwirtschaft und ökologischem Landbau, kann vorteilhafte Synergien und Co-Vorteile schaffen, die die Gesamt Nachhaltigkeit und Effizienz landwirtschaftlicher Systeme verbessern.

Arbeitskräfteengpässe stellen eine weitere Herausforderung für die Einführung von IPM dar, da der Agrarsektor mit einem wachsenden Arbeitskräftemangel und steigenden Arbeitskosten konfrontiert ist. IPM erfordert oft intensivere Überwachungs-, Scouting- und Managementpraktiken im Vergleich zu konventionellen Schädlingsbekämpfungsmethoden. Dieser erhöhte Arbeitskräftebedarf kann eine erhebliche Hürde für Produzenten sein, die bereits Schwierigkeiten haben, Arbeitskräfte zu finden und zu bezahlen. Eine weitere praktische Herausforderung sind die Einschränkungen von Biopestiziden. Obwohl Biopestizide ein wichtiges Werkzeug im IPM sind, ist es nicht machbar, sich ausschließlich auf sie zu verlassen. Sie sind teurer, erfordern höhere Anwendungsdosen und neigen dazu, nur eine teilweise Schädlingsunterdrückung statt einer vollständigen Kontrolle zu bieten.

IPM erweist sich als vielversprechendes und nachhaltiges Paradigma für den Pflanzenschutz, das eine praktikable Alternative zur exzessiven und wahllosen Anwendung chemischer Pestizide bietet. Durch die synergetische Integration einer breiten Palette präventiver, biologischer, kultureller und chemischer Bekämpfungsstrategien strebt IPM danach, Schädlingspopulationen unterhalb wirtschaftlich schädlicher Schwellenwerte zu halten und gleichzeitig Risiken für die öffentliche Gesundheit und die Umwelt zu mindern.

Referenzen

1. Atanasov N., M. Vitanov, E. Loginova, E. Ilieva, 2005. Integrierter Schutz von Gewächshauskulturen vor Krankheiten und Schädlingen. Sofia–Videnov&son und PantaNeo Verlag, 159.
2. Bogatsevska N., Y. Stancheva, H. Boteva, St. Masheva, E. Loginova, V. Harizanova, H. Samaliev, D. Hristova, D. Karadzhova, V. Nikolova, V. Aleksandrov, T. Toshkova, D. Grozdanova, 2008. Handbuch für integriertes Schädlingsmanagement in Gemüsekulturen. NSSP. Ministerium für Landwirtschaft und Forsten. Sofia. 238.
3. Batz, P., Will, T., Thiel, S., Ziesche, T. M., Joachim, C. 2023. Von der Identifikation zur Prognose: das Potenzial der Bilderkennung und künstlichen Intelligenz für die Blattlausüberwachung. *Frontiers in Plant Science*, 14.
4. Dara, S. K., 2019. Das neue Paradigma des integrierten Schädlingsmanagements für das moderne Zeitalter. *Journal of Integrated Pest Management*, 10 (1), 12.

5. Kruidhof, H. M., Elmer, W. H., 2020. Kulturelle Methoden zur Schädlings- und Krankheitsbekämpfung in Gewächshäusern. Integriertes Schädlings- und Krankheitsmanagement in Gewächshauskulturen, 285– 330.
6. Rydhmer, K., Bick, E., Still, L., Strand, A., Luciano, R., Helmreich, S., Beck, B. D., Grønne, C., Malmros, L., Poulsen, K., 2022. Automatisierung der Insektenüberwachung mittels unüberwachter Nahinfrarotsensoren. Sci. Rep. 12 (1), 2603.