बिहार में जैव नियंत्रण की वर्तमान स्थिति, वैज्ञानिक नवाचार एवं सतत कृषि में इसकी संभावनाओं का जैविक अध्ययन

A Biological Study of the Current Status of Biological Control in Bihar, Scientific Innovations, and Its Potential for Sustainable Agriculture

***Prof. Dr. Hulesh Manjhee, **Prof. Dr. Jostshana**
*Assistant Professor
Department of Geography, S.S. College, M.U. Bodh Gaya
**Assistant Professor, Department: Department of Geography
D.K. College, Dumraon, VKSU Ara

[1] *Received: 18/06/2026; Accepted: 06/08/2026; Published: 29/08/2026*

Abstract

Bihar's agricultural economy is primarily based on diverse crops and small and marginal farmers, whose crop productivity, quality, and income are affected by pests and diseases. The continuous use of chemical pesticides has led to problems such as pesticide residues, pest resistance, loss of biodiversity, and environmental imbalance. Consequently, biological control is emerging as an important and sustainable alternative. The present study aims to analyze the biological foundations, current status, major innovations, practical challenges, and future prospects of biological control in Bihar. The study draws upon secondary data and evidence from Bihar Agricultural University, Sabour, the Department of Agriculture, and relevant scientific literature.

The analysis reveals that major areas of innovation in Bihar include Trichoderma-based disease management, the use of parasitoids and entomopathogenic organisms, the mass production of biological agents, the formulation of biocontrol products, and integrated pest management. The development of 25 crop protection technologies by Bihar Agricultural University and the advancement of Trichoderma-based technologies suited to local conditions demonstrate the state's scientific capabilities. In particular, "Sabour Trichoderma-1," developed from Trichoderma asperellum BAU-T1, represents a notable example of innovation based on locally adapted biological agents.

The study also highlights that the widespread success of biological control requires addressing several challenges, including the consistent effectiveness of biological agents, quality control, formulation development, large-scale production, field-level testing, and farmer training. Therefore, future strategies for Bihar should be based on an integrated model combining locally adapted biological agents, scientific formulation technologies, digital monitoring, and integrated pest management.

Keywords: *Biological control; biocontrol agents; Trichoderma; biopesticides; integrated pest management; entomopathogens; Bihar; sustainable agriculture.*

[1] *How to cite the article:* Manjhee H., Jostshana (August 2026); A Biological Study of the Current Status of Biological Control in Bihar, Scientific Innovations, and Its Potential for Sustainable Agriculture; *International Journal of Development in Social Sciences and Humanities*; Vol 22, 67-84

सारांश

बिहार की कृषि अर्थव्यवस्था मुख्यतः विविध फसलों तथा छोटे और सीमांत कृषकों पर आधारित है, जहाँ कीट एवं रोग फसल उत्पादकता, गुणवत्ता और कृषक आय को प्रभावित करते हैं। रासायनिक कीटनाशकों के निरंतर उपयोग से अवशेष, प्रतिरोध, जैव-विविधता में कमी तथा पर्यावरणीय असंतुलन जैसी समस्याएँ उत्पन्न होने के कारण जैव नियंत्रण एक महत्वपूर्ण एवं टिकाऊ विकल्प के रूप में उभर रहा है। प्रस्तुत अध्ययन का उद्देश्य बिहार में जैव नियंत्रण की जीव वैज्ञानिक आधारभूमि, वर्तमान स्थिति, प्रमुख नवाचार, व्यावहारिक चुनौतियों तथा भविष्य की संभावनाओं का विश्लेषण करना है। अध्ययन में द्वितीयक आँकड़ों तथा बिहार कृषि विश्वविद्यालय, सबौर, कृषि विभाग एवं संबंधित वैज्ञानिक साहित्य से प्राप्त प्रमाणों का उपयोग किया गया है। विश्लेषण से स्पष्ट होता है कि बिहार में *Trichoderma* आधारित रोग नियंत्रण, परजीव्याभ एवं एंटोमोपैथोजेनिक जीवों का उपयोग, जैव-एजेंटों का संवर्धन, जैव-नियंत्रण उत्पादों का सूत्रीकरण तथा समेकित कीट प्रबंधन महत्वपूर्ण नवाचार क्षेत्रों के रूप में विकसित हो रहे हैं। बिहार कृषि विश्वविद्यालय द्वारा 25 फसल-सुरक्षा प्रौद्योगिकियों का विकास तथा स्थानीय परिस्थितियों के अनुरूप *Trichoderma* आधारित तकनीकों का विकास राज्य की वैज्ञानिक क्षमता को दर्शाता है। विशेष रूप से *Trichoderma asperellum* BAU-T1 से विकसित “Sabour Trichoderma-1” स्थानीय जैव-एजेंट आधारित नवाचार का उल्लेखनीय उदाहरण है। अध्ययन यह भी रेखांकित करता है कि जैव नियंत्रण की व्यापक सफलता के लिए जैव-एजेंट की स्थिर प्रभावशीलता, गुणवत्ता नियंत्रण, सूत्रीकरण, बड़े पैमाने पर संवर्धन, खेत-स्तरीय परीक्षण तथा किसान प्रशिक्षण जैसी चुनौतियों का समाधान आवश्यक है। अतः बिहार में भविष्य की रणनीति स्थानीय जैव-एजेंट, वैज्ञानिक सूत्रीकरण, डिजिटल निगरानी और समेकित कीट प्रबंधन के समन्वित मॉडल पर आधारित होनी चाहिए।

प्रमुख शब्द: जैव नियंत्रण, जैव-नियंत्रक, *Trichoderma*, जैव-कीटनाशी, समेकित कीट प्रबंधन, एंटोमोपैथोजेन, बिहार, टिकाऊ कृषि।

1. प्रस्तावना

बिहार की अर्थव्यवस्था और ग्रामीण आजीविका में कृषि का अत्यंत महत्वपूर्ण स्थान है। राज्य में विविध प्रकार की फसलों का उत्पादन किया जाता है, जिनमें धान, गेहूँ, मक्का, दलहन, तिलहन, सब्जियाँ तथा फल प्रमुख हैं। बिहार की कृषि व्यवस्था विभिन्न कृषि-जलवायु परिस्थितियों में विकसित हुई है, जिसके कारण मृदा, वर्षा, तापमान, सिंचाई तथा फसल-पद्धति में पर्याप्त क्षेत्रीय विविधता पाई जाती है। उपलब्ध आधिकारिक आँकड़ों के अनुसार राज्य में लगभग 56.03 लाख हेक्टेयर शुद्ध कृषित क्षेत्र तथा 79.46 लाख हेक्टेयर सकल कृषित क्षेत्र है। ऐसी व्यापक एवं विविध कृषि व्यवस्था में फसल उत्पादकता को बनाए रखना केवल सिंचाई एवं उर्वरक प्रबंधन तक सीमित नहीं है, बल्कि कीटों एवं पादप रोगों का प्रभावी प्रबंधन भी आवश्यक है (Department of Agriculture, Government of Bihar, n.d.).

कीट एवं पादप रोग कृषि उत्पादन को प्रभावित करने वाले प्रमुख जैविक कारकों में शामिल हैं। बिहार की प्रमुख फसलों में विभिन्न कीटों तथा रोगजनकों के कारण उत्पादन एवं गुणवत्ता में कमी की समस्या देखी जाती है। भारतीय कृषि अनुसंधान परिषद के अनुसार बिहार में धान उत्पादन को बाढ़, जलभराव, सूखा, जस्ता की कमी तथा जीवाणु झुलसा जैसे कारक प्रभावित करते हैं, जबकि गेहूँ में पर्णीय झुलसा जैसी समस्याएँ महत्वपूर्ण उत्पादन बाधाओं में शामिल हैं (Indian Council of Agricultural Research [ICAR], n.d.). इन समस्याओं के नियंत्रण के लिए रासायनिक कीटनाशकों एवं कवकनाशियों का प्रयोग लंबे समय से किया जाता रहा है। यद्यपि रासायनिक नियंत्रण कई परिस्थितियों में तीव्र एवं प्रभावी परिणाम प्रदान करता है, लेकिन इनके अत्यधिक एवं असंतुलित प्रयोग से कीटों में प्रतिरोध, कीटनाशक अवशेष, गैर-लक्षित जीवों पर प्रभाव तथा कृषि-पारिस्थितिकी तंत्र में असंतुलन जैसी समस्याएँ

उत्पन्न हो सकती हैं। इसलिए वर्तमान कृषि विज्ञान में ऐसी फसल संरक्षण प्रणालियों की आवश्यकता बढ़ी है जो उत्पादन की सुरक्षा के साथ-साथ पर्यावरणीय स्थिरता को भी ध्यान में रखें (Galli et al., 2024).

इसी संदर्भ में जैव नियंत्रण (Biological Control) एक महत्वपूर्ण वैज्ञानिक एवं पर्यावरण-अनुकूल दृष्टिकोण के रूप में सामने आता है। जैव नियंत्रण में प्राकृतिक परभक्षियों, परजीव्याभों तथा रोगजनक या प्रतिस्पर्धी सूक्ष्मजीवों की जैविक क्षमता का उपयोग लक्षित कीटों एवं रोगजनकों की आबादी को नियंत्रित करने के लिए किया जाता है। *Trichoderma* spp. जैसे लाभकारी कवक रोगजनक सूक्ष्मजीवों के विरुद्ध mycoparasitism, competition तथा antibiosis जैसी प्रक्रियाओं द्वारा कार्य कर सकते हैं (Harman et al., 2004)। इसी प्रकार *Beauveria bassiana* तथा *Metarhizium anisopliae* जैसे entomopathogenic fungi विभिन्न कीटों में संक्रमण स्थापित करके उनके नियंत्रण में योगदान कर सकते हैं। जैव नियंत्रण की प्रभावशीलता किसी एक जीव की उपस्थिति पर निर्भर नहीं करती, बल्कि host–parasitoid, predator–prey तथा microbe–pathogen interactions जैसी जटिल पारिस्थितिक अंतःक्रियाओं से भी निर्धारित होती है (Heimpel & Mills, 2017). आधुनिक जैव नियंत्रण में प्राकृतिक शत्रुओं के संरक्षण, उनका संवर्धन, microbial biopesticides तथा समेकित कीट प्रबंधन जैसी रणनीतियों को विशेष महत्व प्राप्त हुआ है (van Lenteren et al., 2018).

बिहार के संदर्भ में जैव नियंत्रण का महत्व इसलिए भी बढ़ जाता है क्योंकि राज्य में कृषि-आधारित आजीविका के साथ छोटे एवं सीमांत किसानों की महत्वपूर्ण भूमिका है। बिहार कृषि विश्वविद्यालय, सबौर द्वारा विकसित एवं प्रदर्शित कृषि प्रौद्योगिकियों में जैव नियंत्रण तथा पर्यावरण-अनुकूल फसल संरक्षण से संबंधित अनेक तकनीकें शामिल हैं। विश्वविद्यालय की आधिकारिक प्रौद्योगिकी सूची में फसल संरक्षण से संबंधित 25 प्रौद्योगिकियाँ दर्ज हैं, जिनमें चना में *Helicoverpa armigera* का समेकित प्रबंधन, टमाटर में *Trichoderma viride* द्वारा मृदा-जनित रोगों का प्रबंधन, दलहनी फसलों में *Trichoderma* बीज उपचार, धान में आर्मीवर्म प्रबंधन तथा मक्का में फॉल आर्मीवर्म के समेकित प्रबंधन जैसी तकनीकें शामिल हैं (Bihar Agricultural University [BAU], n.d.). इन तकनीकों से यह संकेत मिलता है कि बिहार में जैव नियंत्रण का प्रयोग केवल सैद्धांतिक स्तर तक सीमित नहीं है, बल्कि कृषि अनुसंधान एवं प्रौद्योगिकी विकास के स्तर पर भी इसका विस्तार हुआ है।

वर्तमान समय में जैव नियंत्रण का क्षेत्र पारंपरिक जैव-एजेंटों के प्रयोग से आगे बढ़कर नवाचार-आधारित जैव प्रबंधन की दिशा में विकसित हो रहा है। प्रभावी सूक्ष्मजीवी उपभेदों का चयन, जैव-सूत्रीकरण में सुधार, बड़े पैमाने पर संवर्धन, भंडारण स्थायित्व, गुणवत्ता नियंत्रण तथा स्थानीय कृषि परिस्थितियों के अनुकूल जैव-एजेंटों का विकास इस क्षेत्र के महत्वपूर्ण आयाम हैं। जैव नियंत्रण को समेकित कीट प्रबंधन के साथ जोड़ने से विभिन्न नियंत्रण उपायों का वैज्ञानिक संयोजन संभव होता है और रासायनिक कीटनाशकों के अनावश्यक प्रयोग को कम करने की संभावना उत्पन्न होती है (Galli et al., 2024, van Lenteren et al., 2018). बिहार में स्थानीय जैव संसाधनों, कृषि अनुसंधान संस्थानों और आधुनिक जैव-प्रौद्योगिकी के बीच समन्वय स्थापित करके ऐसे जैव नियंत्रण मॉडल विकसित किए जा सकते हैं जो राज्य की विशिष्ट कृषि-जलवायु परिस्थितियों के अनुरूप हों।

2. बिहार में जैव नियंत्रण का जीव वैज्ञानिक आधार

जैव नियंत्रण का मूल आधार प्रकृति में विद्यमान उन जैविक अंतःक्रियाओं पर आधारित है, जिनके माध्यम से एक जीव दूसरे जीव की संख्या, वृद्धि अथवा गतिविधि को प्रभावित करता है। कृषि पारिस्थितिकी तंत्र में कीटों और रोगजनकों की आबादी स्वाभाविक रूप से परभक्षियों, परजीव्याभों, रोगजनक सूक्ष्मजीवों तथा प्रतिस्पर्धी जीवों द्वारा नियंत्रित होती है। वैज्ञानिक रूप से इन प्राकृतिक प्रक्रियाओं का उपयोग फसल को आर्थिक क्षति पहुँचाने वाले जीवों को नियंत्रित करने के लिए किया जाता है, जिसे जैव नियंत्रण कहा जाता है। आधुनिक दृष्टिकोण में जैव नियंत्रण का उद्देश्य किसी कीट या रोगजनक का पूर्ण उन्मूलन नहीं, बल्कि उसकी आबादी को उस स्तर पर बनाए रखना है जहाँ

उससे होने वाली आर्थिक क्षति स्वीकार्य सीमा में रहे (Heimpel & Mills, 2017, van Lenteren et al., 2018)। बिहार की विविध फसल प्रणालियों में इस प्राकृतिक नियंत्रण क्षमता का संरक्षण एवं वैज्ञानिक उपयोग सतत फसल संरक्षण के लिए विशेष महत्व रखता है।

2.1 जैव नियंत्रण की संकल्पना

जैव नियंत्रण में जीवित जैविक घटकों का उपयोग लक्षित कीटों, रोगजनकों या अन्य हानिकारक जीवों की आबादी को नियंत्रित करने के लिए किया जाता है। इसमें मुख्यतः परभक्षी, परजीव्याभ, सूक्ष्मजीवी रोगजनक तथा लाभकारी सूक्ष्मजीव सम्मिलित होते हैं। जैव नियंत्रण को व्यापक रूप से संरक्षणात्मक जैव नियंत्रण, संवर्धनात्मक जैव नियंत्रण तथा प्राकृतिक शत्रुओं के संरक्षण जैसे दृष्टिकोणों के माध्यम से लागू किया जा सकता है। इसका वैज्ञानिक महत्व इस तथ्य में निहित है कि जैव नियंत्रण एजेंट target organism के साथ विशिष्ट या अपेक्षाकृत लक्षित अंतःक्रिया स्थापित कर सकते हैं और इस प्रकार कृषि पारिस्थितिकी तंत्र में pest regulation को मजबूत करते हैं (van Lenteren et al., 2018)।

बिहार के संदर्भ में जैव नियंत्रण की संकल्पना को स्थानीय फसल, कीट-समुदाय, जलवायु तथा प्राकृतिक शत्रुओं की उपलब्धता के साथ जोड़कर देखना आवश्यक है। एक ही जैव-एजेंट अलग-अलग पर्यावरणीय परिस्थितियों में समान प्रभावशीलता प्रदर्शित नहीं कर सकता। इसलिए बिहार के विभिन्न कृषि-जलवायु क्षेत्रों में स्थानीय जैव-एजेंटों की पहचान, उनकी प्रभावशीलता का परीक्षण और उपयुक्त फसल प्रणालियों में उनका समावेशन जैव नियंत्रण अनुसंधान का महत्वपूर्ण क्षेत्र हो सकता है।

2.2 परभक्षण

परभक्षण जैव नियंत्रण की सबसे महत्वपूर्ण प्राकृतिक प्रक्रियाओं में से एक है। इसमें एक जीव, जिसे परभक्षी कहा जाता है, दूसरे जीव अर्थात् शिकार को पकड़कर उसका उपभोग करता है। कृषि क्षेत्र में अनेक कीट परभक्षी होते हैं जो हानिकारक कीटों की संख्या को प्राकृतिक रूप से सीमित करते हैं। उदाहरण के लिए, लेडीबर्ड बीटल (Coccinellidae) एफिड जैसे रस-चूषक कीटों का भक्षण करती हैं, जबकि कुछ lacewings के लार्वा भी विभिन्न छोटे एवं कोमल शरीर वाले कीटों का शिकार करते हैं। इस प्रकार परभक्षी कीट pest population की वृद्धि को सीधे प्रभावित करते हैं।

परभक्षण का प्रभाव केवल एक समय में मौजूद कीटों की संख्या को कम करने तक सीमित नहीं रहता। यदि किसी कृषि पारिस्थितिकी तंत्र में पर्याप्त संख्या में प्रभावी परभक्षी मौजूद हों, तो वे pest population की वृद्धि दर को कम कर सकते हैं और उसका प्रकोप आर्थिक क्षति की सीमा तक पहुँचने से पहले नियंत्रित कर सकते हैं। प्राकृतिक शत्रुओं की संरचना और उनकी वास्तविक कार्यात्मक भूमिका कई परिस्थितियों में केवल प्रजातियों की संख्या से अधिक महत्वपूर्ण हो सकती है (Alhadidi et al., 2018)। इसलिए बिहार में जैव नियंत्रण की रणनीति बनाते समय प्राकृतिक परभक्षियों के संरक्षण के लिए व्यापक-स्पेक्ट्रम कीटनाशकों के अनावश्यक प्रयोग को कम करना महत्वपूर्ण हो सकता है।

2.3 परजीव्याभिता

परजीव्याभिता (Parasitism/Parasitoidism) में एक जीव दूसरे जीव के शरीर पर अथवा उसके भीतर विकसित होता है और अंततः उसके विकास एवं जीवन को गंभीर रूप से प्रभावित करता है। कृषि जैव नियंत्रण में parasitoids का विशेष महत्व है क्योंकि अनेक parasitoids अपने host की किसी विशिष्ट जीवन अवस्था, जैसे अंडा, लार्वा अथवा प्यूपा, को लक्षित करते हैं। *Trichogramma* spp. इसके महत्वपूर्ण उदाहरण हैं, जो विभिन्न Lepidopteran कीटों के अंडों में विकसित होकर host के भ्रूणीय विकास को बाधित करते हैं।

परजीव्याभों की यही विशिष्टता उन्हें समेकित कीट प्रबंधन में उपयोगी बनाती है। यदि किसी फसल में लक्षित कीट की प्रारंभिक अवस्था में पहचान हो जाए, तो उपयुक्त parasitoid का संवर्धन एवं नियोजित विमोचन pest population को आगे बढ़ने से रोक सकता है। बिहार की धान, मक्का, दलहन तथा सब्जी आधारित कृषि प्रणालियों में parasitoid आधारित जैव नियंत्रण को स्थानीय pest complex के अनुसार विकसित किया जा सकता है। हालांकि इसकी सफलता host availability, तापमान, आर्द्रता, फसल संरचना और parasitoid की स्थापना क्षमता जैसे कारकों पर निर्भर करती है (Heimpel & Mills, 2017)।

2.4 सूक्ष्मजीवी रोगजनकता

सूक्ष्मजीवी रोगजनकता (Microbial Pathogenicity) जैव नियंत्रण का वह पक्ष है जिसमें सूक्ष्मजीव अपने लक्षित कीट अथवा रोगजनक को संक्रमित करके उसकी वृद्धि, प्रजनन अथवा जीवन-क्षमता को प्रभावित करते हैं। इस श्रेणी में entomopathogenic fungi, bacteria और viruses महत्वपूर्ण हैं। *Beauveria bassiana* तथा *Metarhizium anisopliae* जैसे कवक कीटों के शरीर पर उपस्थित cuticle के संपर्क में आने के बाद संक्रमण स्थापित कर सकते हैं। दूसरी ओर, कुछ जीवाणु और विषाणु विशिष्ट कीट समूहों में रोग उत्पन्न करके उनकी आबादी को नियंत्रित कर सकते हैं।

पादप रोग प्रबंधन में भी microbial biocontrol महत्वपूर्ण है। *Trichoderma* spp. जैसे लाभकारी कवक विभिन्न पादप रोगजनकों के विरुद्ध अनेक mechanisms से कार्य करते हैं। इनमें mycoparasitism, nutrient competition, antibiosis तथा plant defence activation प्रमुख हैं। *Trichoderma* के इन बहुआयामी प्रभावों के कारण इसे जैविक रोग नियंत्रण के साथ-साथ पौधों की वृद्धि एवं प्रतिरक्षा से जुड़े अनुसंधान में भी महत्वपूर्ण माना गया है (Harman et al., 2004)। बिहार में स्थानीय मृदा एवं फसल परिस्थितियों के अनुरूप ऐसे microbial agents का चयन जैव नियंत्रण की प्रभावशीलता बढ़ाने की दिशा में उपयोगी हो सकता है।

2.5 प्रतिस्पर्धा एवं प्रतिजैविकता

जैव नियंत्रण में प्रतिस्पर्धा (Competition) तब उत्पन्न होती है जब जैव नियंत्रण एजेंट और रोगजनक एक ही पोषक स्रोत, स्थान या अन्य सीमित संसाधन के लिए प्रतिस्पर्धा करते हैं। यदि लाभकारी सूक्ष्मजीव तेजी से स्थापित होकर पोषक तत्वों या स्थान का उपयोग कर लेते हैं, तो रोगजनक के विकास के लिए उपलब्ध संसाधन कम हो सकते हैं। यह प्रक्रिया विशेष रूप से मृदा एवं पौधों की जड़-क्षेत्रीय पारिस्थितिकी में महत्वपूर्ण हो सकती है।

इसके विपरीत, प्रतिजैविकता (Antibiosis) में एक सूक्ष्मजीव ऐसे जैव-सक्रिय पदार्थों का उत्पादन करता है जो दूसरे सूक्ष्मजीव की वृद्धि या गतिविधि को रोक सकते हैं। *Trichoderma* तथा कुछ beneficial bacteria द्वारा उत्पन्न antimicrobial compounds इस प्रकार की अंतःक्रिया में महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकते हैं। इसके अलावा कुछ beneficial microorganisms पौधे की अपनी रक्षा प्रणाली को सक्रिय करके रोगजनकों के विरुद्ध प्रतिरोध बढ़ा सकते हैं (Harman et al., 2004)। इस कारण microbial biological control को केवल "रोगजनक को मारने" की प्रक्रिया के रूप में देखना उचित नहीं है, इसमें microbial competition, chemical interaction और plant–microbe interaction सभी सम्मिलित हो सकते हैं।

2.6 प्राकृतिक शत्रुओं की भूमिका

कृषि पारिस्थितिकी तंत्र में प्राकृतिक शत्रु (Natural Enemies) जैविक pest regulation के आधारभूत घटक हैं। इनमें predators, parasitoids और कुछ microbial pathogens सम्मिलित हैं। प्राकृतिक शत्रु pest population को नियंत्रित करने के साथ-साथ खाद्य-जाल (food web) और पारिस्थितिक संतुलन को बनाए रखने में भी योगदान देते हैं।

यदि कृषि क्षेत्र में प्राकृतिक शत्रुओं की पर्याप्त विविधता और कार्यात्मक क्षमता बनी रहती है, तो pest outbreaks को नियंत्रित करने की प्राकृतिक क्षमता मजबूत हो सकती है।

हालाँकि प्राकृतिक शत्रुओं की केवल संख्या बढ़ाना पर्याप्त नहीं है। विभिन्न प्राकृतिक शत्रुओं की प्रभावशीलता, prey/host specificity, पर्यावरणीय अनुकूलता और आपसी अंतःक्रिया भी महत्वपूर्ण हैं। अनुसंधान से संकेत मिलता है कि natural-enemy community की composition कई परिस्थितियों में pest suppression के लिए species richness की तुलना में अधिक महत्वपूर्ण हो सकती है (Alhadidi et al., 2018)। इसलिए बिहार में जैव नियंत्रण की दीर्घकालिक रणनीति में प्राकृतिक शत्रुओं के संरक्षण के लिए कीटनाशकों के विवेकपूर्ण प्रयोग, पुष्पीय वनस्पतियों एवं refugia का संरक्षण तथा विविध फसल प्रणालियों को बढ़ावा देने जैसे उपायों पर विचार किया जा सकता है।

तालिका 1. जैव नियंत्रण की प्रमुख जीव वैज्ञानिक क्रियाविधियाँ

क्रियाविधि	प्रमुख जैव नियंत्रण कारक	जैव वैज्ञानिक प्रक्रिया	संभावित परिणाम
परभक्षण	लेडीबर्ड बीटल, lacewings आदि	शिकार को पकड़कर उसका भक्षण	कीट संख्या में प्रत्यक्ष कमी
परजीव्याभिता	*Trichogramma* spp. आदि	Host के भीतर/ऊपर विकास	कीट की अगली अवस्था/पीढ़ी का अवरोध
सूक्ष्मजीवी रोगजनकता	*Beauveria*, *Metarhizium* आदि	संक्रमण एवं रोग उत्पन्न करना	कीट मृत्यु एवं population suppression
मायकोपरजीविता	*Trichoderma* spp.	रोगजनक कवक पर प्रत्यक्ष आक्रमण	पादप रोग में कमी
प्रतिस्पर्धा	*Trichoderma*, *Bacillus*, *Pseudomonas* आदि	पोषक तत्व/स्थान के लिए प्रतिस्पर्धा	रोगजनक की वृद्धि में कमी
प्रतिजैविकता	लाभकारी fungi एवं bacteria	antimicrobial compounds का उत्पादन	रोगजनक की वृद्धि का अवरोध
पौध-प्रतिरक्षा सक्रियण	*Trichoderma*, *Pseudomonas* आदि	पौधे की रक्षा प्रणाली का सक्रियण	रोग के प्रति पौधे की सहनशीलता में वृद्धि

स्रोत: Harman et al. (2004), Heimpel and Mills (2017), van Lenteren et al. (2018).

इस प्रकार जैव नियंत्रण का जीव वैज्ञानिक आधार एक बहु-स्तरीय पारिस्थितिक प्रक्रिया है, जिसमें परभक्षण और परजीव्याभिता जैसे प्रत्यक्ष जैविक संबंधों के साथ-साथ सूक्ष्मजीवी रोगजनकता, प्रतिस्पर्धा, प्रतिजैविकता और पौध-प्रतिरक्षा सक्रियण जैसी प्रक्रियाएँ भी सम्मिलित हैं। बिहार की कृषि विविधता को देखते हुए इन सभी प्रक्रियाओं को स्थानीय फसल एवं कीट-रोग परिस्थितियों के अनुरूप समझना आवश्यक है। यही वैज्ञानिक आधार आगे चलकर स्थानीय जैव-एजेंटों की पहचान, बेहतर जैव-सूत्रीकरण तथा नवाचार-आधारित जैव नियंत्रण तकनीकों के विकास का आधार बन सकता है।

3. बिहार में जैव नियंत्रण की वर्तमान स्थिति एवं संख्यात्मक परिदृश्य

बिहार की कृषि व्यवस्था फसल विविधता, व्यापक कृषित क्षेत्र तथा विभिन्न कृषि-जलवायु परिस्थितियों के कारण जैव नियंत्रण के अध्ययन के लिए महत्वपूर्ण आधार प्रस्तुत करती है। बिहार आर्थिक सर्वेक्षण 2024–25 के अनुसार वर्ष 2023–24 में राज्य का कुल फसल क्षेत्र लगभग 72.25 लाख हेक्टेयर था। इसमें खाद्यान्न फसलों का क्षेत्र

68.258 लाख हेक्टेयर अर्थात् लगभग 94.5%, अनाज फसलों का क्षेत्र 63.579 लाख हेक्टेयर (88.0%) तथा दलहन का क्षेत्र 4.68 लाख हेक्टेयर (6.5%) था। तिलहन, रेशेदार फसल और गन्ना क्रमशः 1.8%, 0.9% और 2.8% क्षेत्र में थे। यह फसल संरचना स्पष्ट करती है कि बिहार में जैव नियंत्रण के लिए मुख्य अवसर अनाज, दलहन, मक्का तथा उससे संबद्ध कीट एवं रोग प्रबंधन प्रणालियों में मौजूद हैं।

तालिका 2. बिहार की प्रमुख फसलों का उत्पादन एवं उत्पादकता, 2023–24

फसल	उत्पादन (हजार टन)	उत्पादकता (किग्रा/हेक्टेयर)	सर्वाधिक उत्पादन वाला जिला
धान	9,522.9	3,062	रोहतास– 900.6 हजार टन
गेहूँ	7,306.7	3,211	रोहतास– 716.2 हजार टन
मक्का	5,864.9	6,138	पूर्णिया– 1,144.9 हजार टन
दलहन	398.6	852	पटना– 47.8 हजार टन
कुल अनाज	22,716.8	3,573	—

स्रोत: *Bihar Economic Survey 2024–25*, कृषि एवं संबद्ध क्षेत्र, 2023–24 के आँकड़े।

तालिका से स्पष्ट होता है कि धान, गेहूँ और मक्का बिहार के प्रमुख खाद्यान्न उत्पादन तंत्र हैं। वर्ष 2023–24 में धान का उत्पादन 95.229 लाख टन, गेहूँ का 73.067 लाख टन तथा मक्का का 58.649 लाख टन रहा। विशेष रूप से मक्का की उत्पादकता 6,138 किग्रा/हेक्टेयर रही, जो राज्य की प्रमुख अनाज फसलों में उल्लेखनीय है। बिहार आर्थिक सर्वेक्षण के अनुसार 2020–21 से 2023–24 के बीच मक्का उत्पादन में 66.6% की वृद्धि हुई और पूर्णिया, अररिया, कटिहार तथा किशनगंज चार जिलों ने 2023–24 में राज्य के कुल मक्का उत्पादन में लगभग 53% योगदान दिया।

तालिका 3. बिहार में प्रमुख फसल समूहों का क्षेत्रीय वितरण, 2023–24

फसल समूह	क्षेत्रफल (हजार हेक्टेयर)	कुल फसल क्षेत्र में हिस्सा (%)
खाद्यान्न	6,825.8	94.5
अनाज	6,357.9	88.0
दलहन	468.0	6.5
तिलहन	129.6	1.8
रेशेदार फसलें	67.4	0.9
गन्ना	202.2	2.8
कुल	7,225.0	100.0

स्रोत: *Bihar Economic Survey 2024–25.*

इन आँकड़ों का जैव नियंत्रण के संदर्भ में विशेष महत्व है। जब किसी राज्य में लगभग 88% फसल क्षेत्र अनाज फसलों के अंतर्गत आता है, तो कीट एवं रोग प्रबंधन के लिए जैव-आधारित तकनीकों का संभावित प्रभाव भी व्यापक हो सकता है। धान, गेहूँ और मक्का में कीटों एवं रोगों के अलग-अलग समूह सक्रिय होते हैं, इसलिए जैव नियंत्रण की रणनीति किसी एक जैव-एजेंट तक सीमित न रहकर फसल-विशिष्ट होनी चाहिए। उदाहरण के लिए, धान एवं मक्का में कीट-परजीव्याभ और entomopathogenic microorganisms उपयोगी हो सकते हैं, जबकि मृदा एवं बीज-जनित रोगों के संदर्भ में *Trichoderma* जैसे सूक्ष्मजीव अधिक प्रासंगिक हो सकते हैं।

तालिका 4. बिहार की कृषि में जैव नियंत्रण की संभावित प्राथमिकता

फसल/समूह	2023–24 उत्पादन	प्रमुख जैव नियंत्रण अवसर	प्राथमिक जैव नियंत्रण दृष्टिकोण
धान	95.229 लाख टन	कीट एवं रोग प्रबंधन	परजीव्याभ, सूक्ष्मजीवी जैव-नियंत्रण, समेकित प्रबंधन
गेहूँ	73.067 लाख टन	पर्णीय एवं मृदा-जनित रोग	लाभकारी सूक्ष्मजीव, रोग जैव-नियंत्रण
मक्का	58.649 लाख टन	कीट प्रबंधन, विशेषकर फॉल आर्मीवर्म	परभक्षी, परजीव्याभ, entomopathogenic fungi
दलहन	3.986 लाख टन	कीट एवं मृदा-जनित रोग	*Trichoderma*, parasitoids एवं IPM
गन्ना	136.419 लाख टन	कीट एवं रोग	जैव-एजेंट आधारित समेकित प्रबंधन

3.1 उत्पादन में हालिया परिवर्तन

बिहार में प्रमुख फसलों के उत्पादन में हाल के वर्षों में उल्लेखनीय परिवर्तन भी दिखाई देता है। 2022–23 से 2023–24 के बीच राज्य में धान उत्पादन में 21.0% तथा गेहूँ उत्पादन में 10.7% वृद्धि दर्ज की गई। इसी प्रकार 2020–21 से 2023–24 के बीच मक्का उत्पादन 35.214 लाख टन से बढ़कर 58.649 लाख टन हुआ, अर्थात् लगभग 66.6% की वृद्धि। यह वृद्धि मक्का आधारित कृषि प्रणालियों में फसल संरक्षण तकनीकों की आवश्यकता को भी महत्वपूर्ण बनाती है।

तालिका 5. बिहार की प्रमुख फसलों में उत्पादन वृद्धि

फसल	प्रारंभिक वर्ष	प्रारंभिक उत्पादन (हजार टन)	2023–24 उत्पादन (हजार टन)	परिवर्तन
धान	2022–23	लगभग 7,870*	9,522.9	+21.0%
गेहूँ	2022–23	लगभग 6,600*	7,306.7	+10.7%
मक्का	2020–21	3,521.4	5,864.9	+66.6%

*स्रोत तालिका में उपलब्ध पूर्ववर्ती वर्ष के आँकड़ों के आधार पर।

स्रोत: *Bihar Economic Survey 2024–25.*

इन आँकड़ों से यह स्पष्ट होता है कि बिहार में जैव नियंत्रण का महत्व केवल पर्यावरण संरक्षण तक सीमित नहीं है। उच्च उत्पादन वाली फसलों में कीट एवं रोग प्रबंधन की आवश्यकता बढ़ने के साथ ऐसी तकनीकों की मांग भी बढ़ सकती है जो प्रभावी होने के साथ-साथ कृषि-पारिस्थितिकी के लिए अपेक्षाकृत सुरक्षित हों। विशेष रूप से मक्का के उत्पादन में तीव्र वृद्धि को देखते हुए फॉल आर्मीवर्म जैसी समस्याओं के लिए जैविक एवं समेकित प्रबंधन का विकास महत्वपूर्ण हो जाता है।

3.2 बिहार में जैव नियंत्रण नवाचारों का संस्थागत आधार

बिहार में जैव नियंत्रण से संबंधित नवाचारों को केवल संभावित अवधारणा के रूप में नहीं देखा जाना चाहिए। बिहार कृषि विश्वविद्यालय, सबौर द्वारा विकसित तकनीकों की आधिकारिक सूची में फसल संरक्षण से संबंधित अनेक तकनीकें दर्ज हैं। इनमें टमाटर में *Trichoderma viride* द्वारा मृदा-जनित रोगों का प्रबंधन, दलहनी फसलों में *Trichoderma* आधारित बीज उपचार, चना में *Helicoverpa armigera* का समेकित प्रबंधन तथा मक्का में फॉल आर्मीवर्म का समेकित प्रबंधन जैसी तकनीकें शामिल हैं। इस प्रकार राज्य में जैव नियंत्रण का संस्थागत आधार microbial biocontrol से लेकर समेकित कीट प्रबंधन तक विस्तृत है।

4. बिहार में जैव नियंत्रण के क्षेत्र में प्रमुख नवाचार

बिहार में जैव नियंत्रण का विकास केवल सैद्धांतिक अवधारणा तक सीमित नहीं है, बल्कि राज्य के कृषि अनुसंधान संस्थानों द्वारा विकसित फसल-सुरक्षा तकनीकों में इसका व्यावहारिक आधार दिखाई देता है। विशेष रूप से बिहार कृषि विश्वविद्यालय, सबौर (BAU) की आधिकारिक प्रौद्योगिकी सूची में फसल संरक्षण की 25 विकसित प्रौद्योगिकियाँ दर्ज हैं। इनमें चना में *Helicoverpa armigera* का समेकित प्रबंधन, टमाटर में *Trichoderma viride* द्वारा मृदा-जनित रोग प्रबंधन, दलहनों में *Trichoderma* बीज उपचार, मक्का में फॉल आर्मीवर्म का समेकित प्रबंधन, सरसों में एफिड का पर्यावरण-अनुकूल प्रबंधन तथा जूट में समेकित रोग एवं कीट प्रबंधन जैसी तकनीकें शामिल हैं। इसके अतिरिक्त *Trichoderma* की अजैविक तनाव-सहिष्णु प्रजाति/उपभेद से संबंधित तकनीक भी सूचीबद्ध है (Bihar Agricultural University [BAU], n.d.).

यह स्थिति यह संकेत देती है कि बिहार में जैव नियंत्रण को एकल जैव-एजेंट आधारित उपाय के रूप में देखने के बजाय इसे फसल, लक्ष्य जीव, स्थानीय पर्यावरण और समेकित प्रबंधन पद्धतियों से जोड़कर विकसित किया जा रहा है। आधुनिक जैव नियंत्रण अनुसंधान भी इसी दिशा में आगे बढ़ रहा है, जिसमें जैव-नियंत्रक एजेंटों के चयन, क्रियाविधि, सूत्रीकरण, स्थायित्व और खेत-स्तरीय प्रभावशीलता को एक साथ देखा जाता है (Villavicencio-Vásquez et al., 2025). (DOI)

4.1 *Trichoderma* आधारित जैव नियंत्रण

बिहार में जैव नियंत्रण के सबसे महत्वपूर्ण नवाचारों में *Trichoderma* आधारित रोग प्रबंधन को रखा जा सकता है। *Trichoderma* spp. लाभकारी कवक हैं जो पादप रोगजनकों के विरुद्ध मायकोपरजीविता (mycoparasitism), पोषक-प्रतिस्पर्धा (competition), प्रतिजैविकता (antibiosis) तथा पौधों की प्रतिरक्षा-प्रतिक्रिया को सक्रिय करने जैसे अनेक तंत्रों से कार्य करते हैं। नवीन शोध में *Trichoderma* के जैव-सक्रिय प्राकृतिक उत्पादों, द्वितीयक उपापचयों तथा तनाव-सहनशीलता से संबंधित तंत्रों को जैव नियंत्रण की अगली पीढ़ी की तकनीकों के लिए महत्वपूर्ण माना गया है (Jin & Alberti, 2025).

बिहार कृषि विश्वविद्यालय, सबौर द्वारा टमाटर में मृदा-जनित रोगों के नियंत्रण के लिए *Trichoderma viride* के उपयोग तथा दलहनी फसलों में *Trichoderma* बीज उपचार से संबंधित तकनीकें विकसित की गई हैं। इसके अतिरिक्त विश्वविद्यालय की सूची में अजैविक तनाव-सहिष्णु *Trichoderma* को भी एक विकसित तकनीक के रूप में दर्ज किया गया है (BAU, n.d.). इस दिशा में एक विशेष स्थानीय नवाचार "Sabour Trichoderma-1" है। BAU की नवंबर 2024 की ई-न्यूज़लेटर के अनुसार इसे बीज एवं मृदा-जनित रोगों के विरुद्ध विकसित किया गया है और इसमें अजैविक तनाव-सहनशीलता पर विशेष ध्यान दिया गया है। उसी स्रोत के अनुसार इसका बिक्री मूल्य ₹112 प्रति किलोग्राम, GST सहित, दर्ज किया गया था (Bihar Agricultural University, 2024).

4.2 कीट-रोगजनक कवकों पर आधारित नियंत्रण

कीट-रोगजनक कवक (entomopathogenic fungi) जैविक कीट नियंत्रण की दूसरी महत्वपूर्ण दिशा हैं। *Beauveria bassiana* तथा *Metarhizium anisopliae* जैसे कवक कीटों के शरीर पर स्थापित होकर संक्रमण उत्पन्न कर सकते हैं। आधुनिक अनुसंधान में इनके endophytic रूपों पर भी ध्यान दिया जा रहा है, जिसमें कवक पौधे के ऊतकों के साथ संबंध स्थापित करते हुए शाकाहारी कीटों पर प्रत्यक्ष अथवा पौधे-मध्यस्थित प्रभाव डाल सकते हैं। हालांकि इनकी खेत-स्तरीय प्रभावशीलता पर्यावरणीय परिस्थितियों तथा गैर-लक्षित जीवों पर संभावित प्रभावों से प्रभावित हो सकती है (Panwar et al., 2024). बिहार के संदर्भ में यह क्षेत्र विशेष रूप से मक्का, धान, दलहन और सब्जी फसलों में कीट प्रबंधन के लिए महत्वपूर्ण हो सकता है। यहाँ भविष्य के नवाचार का केंद्र केवल नए कवक की

खोज नहीं, बल्कि स्थानीय परिस्थितियों में प्रभावी उपभेदों का चयन, बड़े पैमाने पर संवर्धन तथा स्थिर जैव-सूत्रीकरण होना चाहिए।

4.3 परजीव्याभ आधारित जैव नियंत्रण

परजीव्याभ (parasitoids) जैव नियंत्रण में लक्ष्य कीट की विशिष्ट जीवन-अवस्था को प्रभावित करते हैं। *Trichogramma* जैसे अंड-परजीव्याभ कीटों के अंडों में विकसित होकर उनकी अगली पीढ़ी को रोक सकते हैं। यह प्रक्रिया विशेष रूप से उन कीटों के प्रबंधन में उपयोगी हो सकती है जिनकी अंड अवस्था में पहचान और लक्षित नियंत्रण संभव हो।

आधुनिक शोध में परजीव्याभों को कीट-रोगजनक सूक्ष्मजीवों के साथ संयोजित करने पर भी ध्यान दिया गया है। एक व्यवस्थित समीक्षा में 49 अध्ययनों का विश्लेषण करते हुए 36 hymenopteran parasitoids और 17 entomopathogenic microorganisms के संयोजन दर्ज किए गए, इनमें *Trichogramma* तथा *Beauveria bassiana* जैसे जैव-एजेंट प्रमुख रूप से अध्ययन किए गए। समीक्षा में यह भी पाया गया कि संयोजन की सफलता में प्रयोग का समय और जैव-कीटनाशी की मात्रा महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं (Khalifa et al., 2023). बिहार में यह दृष्टिकोण विशेष रूप से समेकित कीट प्रबंधन के साथ उपयोगी हो सकता है, जहाँ parasitoids को संरक्षित रखते हुए आवश्यकता के अनुसार अन्य जैविक उपाय अपनाए जाएँ।

4.4 जैव-नियंत्रक सूक्ष्मजीवों का संवर्धन

जैव नियंत्रण को खेत स्तर तक पहुँचाने के लिए प्रभावी जैव-एजेंट की खोज के साथ-साथ उसका बड़े पैमाने पर संवर्धन (mass multiplication) आवश्यक है। *Trichoderma*, *Bacillus*, *Pseudomonas* तथा अन्य लाभकारी सूक्ष्मजीवों के लिए चयनित उपभेदों का संवर्धन, गुणवत्ता नियंत्रण और स्थिरता महत्वपूर्ण तकनीकी चरण हैं। BAU की प्राथमिकता सूची में भी entomopathogens का सर्वेक्षण, अभिलक्षणीकरण एवं आनुवंशिक सुधार तथा pesticide-resistant/tolerant bio-agents और mass multiplication को plant protection के अनुसंधान क्षेत्रों में शामिल किया गया है (BAU, n.d.).

4.5 जैव-नियंत्रण उत्पादों का सूत्रीकरण

जैव-नियंत्रक एजेंटों की प्रयोगशाला प्रभावशीलता को खेत में बनाए रखने में सूत्रीकरण (formulation) की महत्वपूर्ण भूमिका है। जैव-सूत्रीकरण का उद्देश्य जैव-एजेंट की जीवितता, भंडारण अवधि, पर्यावरणीय स्थिरता और खेत में वितरण क्षमता को बेहतर बनाना है। *Trichoderma* आधारित उत्पादों पर हालिया अनुसंधान में carrier materials, freeze-drying, spray-drying, fluidized-bed drying तथा microencapsulation जैसी तकनीकों को अधिक स्थिर एवं प्रभावी जैव-नियंत्रण उत्पाद विकसित करने की दिशा में महत्वपूर्ण बताया गया है (Martínez et al., 2023). बिहार के लिए इसका महत्व इसलिए अधिक है क्योंकि राज्य की गर्मी, आर्द्रता, वर्षा तथा भंडारण परिस्थितियाँ जैव-उत्पादों की स्थिरता को प्रभावित कर सकती हैं। इसलिए स्थानीय जलवायु के अनुरूप सूत्रीकरण एक महत्वपूर्ण नवाचार क्षेत्र बन सकता है।

4.6 समेकित कीट प्रबंधन में जैव नियंत्रण

जैव नियंत्रण का अधिक व्यावहारिक उपयोग समेकित कीट प्रबंधन (Integrated Pest Management—IPM) के भीतर किया जा सकता है। इसमें फसल निरीक्षण, कीट की समय पर पहचान, प्राकृतिक शत्रुओं का संरक्षण, जैव-कीटनाशी, वनस्पति-आधारित उपाय, यांत्रिक उपाय तथा आवश्यकता-आधारित रासायनिक नियंत्रण को एकीकृत किया जाता है।

बिहार कृषि विश्वविद्यालय द्वारा चना में *Helicoverpa armigera*, मक्का में फॉल आर्मीवर्म, धान में आर्मीवर्म तथा जूट के रोग एवं कीटों के लिए विभिन्न समेकित प्रबंधन तकनीकें सूचीबद्ध की गई हैं (BAU, n.d.). इसके अतिरिक्त 2026 में ICAR–MGIFRI, मोतिहारी द्वारा बिहार में किसानों के प्रशिक्षण कार्यक्रमों में नियमित खेत निरीक्षण, समय पर कीट पहचान, नीम-आधारित उत्पाद, वनस्पति अर्क, जैव-कीटनाशी तथा लाभकारी कीटों के संरक्षण को समेकित कीट प्रबंधन के हिस्से के रूप में प्रोत्साहित किया गया।

4.7 स्थानीय परिस्थितियों के अनुकूल जैव-एजेंट

बिहार के लिए सबसे महत्वपूर्ण नवाचारों में से एक स्थानीय कृषि-जलवायु परिस्थितियों के अनुकूल जैव-एजेंटों का विकास हो सकता है। किसी जैव-एजेंट की प्रयोगशाला में प्रभावशीलता आवश्यक रूप से खेत में समान परिणाम सुनिश्चित नहीं करती। तापमान, मृदा, आर्द्रता, वर्षा और स्थानीय सूक्ष्मजीवी समुदाय जैव-एजेंट के स्थापित होने और कार्य करने को प्रभावित कर सकते हैं। इसलिए बिहार के विभिन्न कृषि-जलवायु क्षेत्रों से प्रभावी जैव-एजेंटों की खोज, उनका आणविक अभिलक्षणीकरण तथा क्षेत्रीय परीक्षण महत्वपूर्ण है। BAU की अनुसंधान प्राथमिकताओं में plant pathogens की आनुवंशिक विविधता, entomopathogens का सर्वेक्षण एवं अभिलक्षणीकरण, कीट एवं रोगजनकों की आणविक निगरानी तथा pesticide-tolerant bio-agents के विकास को स्पष्ट रूप से शामिल किया गया है (BAU, n.d.). यह दृष्टिकोण भविष्य में "एक ही जैव-एजेंट सभी क्षेत्रों के लिए" की जगह "विशिष्ट फसल–विशिष्ट कीट/रोग–विशिष्ट क्षेत्र–विशिष्ट जैव-एजेंट" मॉडल विकसित करने में सहायता कर सकता है।

तालिका 6. बिहार में जैव नियंत्रण के प्रमुख नवाचारों का तुलनात्मक विश्लेषण

जैव नियंत्रण कारक	लक्षित कीट/रोग	क्रियाविधि	फसल	नवाचार/प्रयोग
Trichoderma viride	मृदा-जनित रोग	मायकोपरजीविता, प्रतिस्पर्धा, प्रतिजैविकता	टमाटर	जैव-एजेंट आधारित रोग प्रबंधन
Trichoderma spp.	जड़ एवं मृदा-जनित रोग	रोगजनक दमन एवं पौध-रक्षा सक्रियण	दलहन	बीज प्राइमिंग/बीज उपचार
Sabour Trichoderma-1	बीज एवं मृदा-जनित रोग	रोगजनक दमन	विभिन्न फसलें	अजैविक तनाव-सहिष्णु स्थानीय जैव-नियंत्रक
Beauveria bassiana	कीट	कवकीय संक्रमण	विभिन्न फसलें	कीट-रोगजनक जैव-नियंत्रण
Metarhizium anisopliae	कीट	कवकीय रोगजनकता	विभिन्न फसलें	सूक्ष्मजीवी कीट नियंत्रण
Trichogramma spp.	कीट अंडे	परजीव्याभिता	धान/मक्का आदि	संवर्धन एवं लक्षित विमोचन
Bacillus spp.	पादप रोगजनक	प्रतिजैविकता, एंजाइम एवं प्रेरित प्रतिरोध	विभिन्न फसलें	सूक्ष्मजीवी जैव-सूत्रीकरण
प्राकृतिक परभक्षी	एफिड एवं अन्य कोमल-	परभक्षण	सब्जियाँ/तिलहन	लाभकारी कीटों का संरक्षण

(IJDSSH) 2026, Vol. No. 22, Jul-Dec e-ISSN: 2455-5142 p-ISSN: 2455-7730

	शरीर वाले कीट			
जैव-नियंत्रक + IPM	मिश्रित कीट/रोग परिसर	बहु-उपाय नियंत्रण	चना, मक्का, धान, जूट	समेकित कीट प्रबंधन
स्थानीय जैव-एजेंट	स्थानीय कीट/रोग	क्षेत्र-विशिष्ट जैविक अंतःक्रिया	बिहार की विभिन्न फसलें	स्थानीय उपभेदों का चयन एवं अभिलक्षणीकरण

स्रोत: BAU (n.d.), Bihar Agricultural University (2024), Martínez et al. (2023), Villavicencio-Vásquez et al. (2025), Panwar et al. (2024).

उपरोक्त विश्लेषण से स्पष्ट है कि बिहार में जैव नियंत्रण का नवाचार मुख्यतः तीन स्तरों पर विकसित हो रहा है, पहला, स्थानीय एवं तनाव-सहिष्णु जैव-एजेंटों की पहचान दूसरा, जैव-एजेंटों का संवर्धन एवं स्थिर सूत्रीकरण और तीसरा, इन जैविक उपायों को समेकित कीट प्रबंधन में शामिल करना। विशेष रूप से *Trichoderma* आधारित तकनीकों का विकास इस परिवर्तन का स्पष्ट उदाहरण है। आधुनिक शोध में *Trichoderma* की बहु-क्रियात्मक जैव नियंत्रण क्षमता तथा नई सूत्रीकरण तकनीकों पर तेजी से कार्य हो रहा है।

5. रासायनिक एवं जैविक नियंत्रण का तुलनात्मक विश्लेषण

कृषि में कीट एवं रोग नियंत्रण के लिए रासायनिक कीटनाशकों का उपयोग लंबे समय से किया जाता रहा है, जबकि जैव-कीटनाशी प्राकृतिक अथवा सूक्ष्मजीवी घटकों पर आधारित अपेक्षाकृत पर्यावरण-अनुकूल विकल्प प्रदान करते हैं। हालांकि दोनों को सीधे एक-दूसरे का पूर्ण विकल्प मानना वैज्ञानिक रूप से उचित नहीं है, फिर भी इनके उपयोग की मात्रा में समय के साथ होने वाला परिवर्तन कृषि में नियंत्रण रणनीतियों की दिशा को समझने के लिए उपयोगी संकेतक प्रदान करता है। भारत सरकार के कृषि एवं किसान कल्याण मंत्रालय के Plant Protection Division के आँकड़ों के अनुसार 2018–19 से 2022–23 के बीच रासायनिक कीटनाशकों तथा जैव-कीटनाशियों दोनों की खपत में परिवर्तन देखा गया है।

तालिका 7. भारत में रासायनिक कीटनाशकों एवं जैव-कीटनाशियों की खपत

वर्ष	रासायनिक कीटनाशक (मीट्रिक टन)	जैव-कीटनाशी (मीट्रिक टन)
2018–19	52,466	7,203
2019–20	61,702	7,248
2020–21	62,193	8,647
2021–22	59,670	8,847
2022–23	63,284	9,321

स्रोत: Directorate of Plant Protection, Quarantine & Storage (PPQS), Ministry of Agriculture & Farmers Welfare, Government of India. आँकड़े Technical Grade में हैं।

इन आँकड़ों से स्पष्ट है कि वर्ष 2018–19 में रासायनिक कीटनाशकों की खपत 52,466 मीट्रिक टन थी, जो 2022–23 में बढ़कर 63,284 मीट्रिक टन हो गई। इस अवधि में कुल वृद्धि लगभग 20.6% रही। दूसरी ओर, जैव-कीटनाशियों की खपत 7,203 मीट्रिक टन से बढ़कर 9,321 मीट्रिक टन हुई, अर्थात लगभग 29.4% की वृद्धि हुई। इस प्रकार दिए गए पाँच-वर्षीय अंतराल में जैव-कीटनाशियों की खपत में प्रतिशत वृद्धि रासायनिक कीटनाशकों की तुलना

में अधिक रही। ये आँकड़े जैव-कीटनाशियों की बढ़ती उपस्थिति का संकेत देते हैं, लेकिन इन्हें सीधे जैविक नियंत्रण की प्रभावशीलता का प्रमाण नहीं माना जाना चाहिए।

5.1 रासायनिक एवं जैविक नियंत्रण के बीच मात्रात्मक अंतर

तालिका से एक महत्वपूर्ण तथ्य सामने आता है कि जैव-कीटनाशियों की खपत में वृद्धि होने के बावजूद उनकी कुल मात्रा अभी भी रासायनिक कीटनाशकों की तुलना में काफी कम है। वर्ष 2022–23 में रासायनिक कीटनाशकों की खपत 63,284 मीट्रिक टन, जबकि जैव-कीटनाशियों की खपत 9,321 मीट्रिक टन थी। अर्थात् जैव-कीटनाशियों की मात्रा रासायनिक कीटनाशकों की लगभग 14.7% थी। इसलिए उपलब्ध राष्ट्रीय आँकड़े यह संकेत देते हैं कि जैविक विकल्पों की स्वीकार्यता बढ़ रही है, लेकिन कृषि कीट एवं रोग प्रबंधन में रासायनिक नियंत्रण का प्रभुत्व अभी भी काफी अधिक है।

तालिका 8. भारत में रासायनिक कीटनाशकों एवं जैव-कीटनाशियों की खपत में परिवर्तन, 2018–19 से 2022–23

संकेतक	रासायनिक कीटनाशक	जैव-कीटनाशी
2018–19 खपत	52,466 MT	7,203 MT
2022–23 खपत	63,284 MT	9,321 MT
पूर्ण परिवर्तन	+10,818 MT	+2,118 MT
प्रतिशत परिवर्तन	+20.6%	+29.4%
2022–23 में जैव-कीटनाशी की तुलना में	6.79 गुना	—

स्रोत: PPQS, Government of India.

5.2 बिहार के संदर्भ में इसका महत्व

यहाँ एक methodological distinction महत्वपूर्ण है। उपर्युक्त आँकड़े अखिल भारतीय स्तर के हैं, इन्हें बिहार की खपत के रूप में प्रस्तुत नहीं किया जाना चाहिए। बिहार के संदर्भ में इनका उपयोग व्यापक राष्ट्रीय पृष्ठभूमि समझाने के लिए किया जा सकता है। इसके बाद बिहार में उपलब्ध जैव नियंत्रण तकनीकों विशेषकर *Trichoderma*, entomopathogenic fungi, parasitoids तथा समेकित कीट प्रबंधन को इस राष्ट्रीय परिवर्तन के संदर्भ में रखा जा सकता है।

बिहार कृषि विश्वविद्यालय, सबौर द्वारा विकसित फसल संरक्षण तकनीकों में *Trichoderma* आधारित रोग प्रबंधन, दलहनी फसलों में जैविक बीज उपचार, चना में *Helicoverpa armigera* का समेकित प्रबंधन तथा मक्का में फॉल आर्मीवर्म के लिए समेकित प्रबंधन जैसी तकनीकें दर्ज हैं। इस प्रकार राष्ट्रीय स्तर पर जैव-कीटनाशियों की बढ़ती खपत और बिहार में विकसित जैव एवं समेकित फसल संरक्षण तकनीकों को साथ रखकर देखने पर यह स्पष्ट होता है कि जैव नियंत्रण को राज्य की कृषि प्रणाली में पूरक एवं एकीकृत फसल संरक्षण रणनीति के रूप में विकसित करने की पर्याप्त वैज्ञानिक संभावना है।

5.3 बिहार के लिए निहितार्थ

बिहार में धान, गेहूँ, मक्का, दलहन, सब्जियों और अन्य फसलों का व्यापक उत्पादन होने के कारण जैव नियंत्रण को फसल-विशिष्ट तरीके से विकसित किया जाना चाहिए। विशेष रूप से *Trichoderma* आधारित रोग प्रबंधन, कीट-रोगजनक कवक, parasitoid आधारित नियंत्रण और प्राकृतिक शत्रुओं के संरक्षण को समेकित कीट प्रबंधन के साथ जोड़ना अधिक व्यावहारिक दृष्टिकोण हो सकता है। बिहार में विकसित स्थानीय जैव-एजेंटों और बेहतर सूत्रीकरण तकनीकों को क्षेत्रीय परीक्षणों के माध्यम से प्रमाणित करके किसानों तक पहुँचाने की आवश्यकता है।

इस प्रकार राष्ट्रीय स्तर के उपलब्ध संख्यात्मक आँकड़े एक महत्वपूर्ण प्रवृत्ति दिखाते हैं—2018–19 से 2022–23 के बीच जैव-कीटनाशियों की खपत 7,203 से बढ़कर 9,321 मीट्रिक टन हुई, जबकि इसी अवधि में रासायनिक कीटनाशकों की खपत 52,466 से बढ़कर 63,284 मीट्रिक टन हुई। बिहार के लिए चुनौती अब केवल जैव-कीटनाशियों का उपयोग बढ़ाना नहीं, बल्कि स्थानीय परिस्थितियों में प्रभावी, गुणवत्तापूर्ण, सुलभ और वैज्ञानिक रूप से प्रमाणित जैव नियंत्रण तकनीकों का विकास एवं विस्तार करना है।

6. बिहार में जैव नियंत्रण की चुनौतियाँ एवं भविष्य की संभावनाएँ

बिहार में जैव नियंत्रण की दिशा में *Trichoderma*, परजीव्याभ, एंटोमोपैथोजेनिक सूक्ष्मजीव, जैव-कीटनाशी तथा समेकित कीट प्रबंधन (IPM) से संबंधित अनुसंधान और प्रौद्योगिकियाँ विकसित हो रही हैं। बिहार कृषि विश्वविद्यालय, सबौर द्वारा फसल-सुरक्षा की 25 प्रौद्योगिकियाँ सूचीबद्ध की गई हैं तथा *Trichoderma*, *Trichogramma* और एंटोमोपैथोजेनिक निमेटोड के बड़े पैमाने पर संवर्धन पर भी कार्य किया जा रहा है। फिर भी प्रयोगशाला अथवा अनुसंधान-स्तर की सफलता को किसान के खेत में व्यापक, स्थिर और आर्थिक रूप से व्यवहार्य उपयोग में बदलना एक प्रमुख चुनौती है। इसलिए बिहार में जैव नियंत्रण की भविष्य दिशा को "वैज्ञानिक चुनौती → वर्तमान समस्या → संभावित समाधान" के रूप में समझना अधिक उपयोगी है।

तालिका 9. वैज्ञानिक चुनौतियाँ, वर्तमान समस्याएँ एवं संभावित समाधान

वैज्ञानिक चुनौती	वर्तमान समस्या	संभावित समाधान/भविष्य की दिशा
1. जैव-एजेंट की प्रभावशीलता में परिवर्तनशीलता	तापमान, आर्द्रता, मृदा pH, वर्षा तथा कीट की अवस्था बदलने से एक ही जैव-एजेंट का परिणाम अलग हो सकता है।	बिहार के बाढ़-प्रवण, उत्तर बिहार के आर्द्र तथा दक्षिण बिहार के अपेक्षाकृत शुष्क क्षेत्रों के लिए क्षेत्र-विशिष्ट जैव-एजेंटों का चयन और परीक्षण।
2. उच्च तापमान एवं प्रतिकूल पर्यावरणीय परिस्थितियाँ	अनेक सूक्ष्मजीवी जैव-एजेंटों की जीवितता और सक्रियता प्रतिकूल तापमान तथा नमी से प्रभावित होती है।	स्थानीय रूप से अनुकूलित तथा abiotic-stress-tolerant strains का चयन। *Sabour Trichoderma-1* इसका बिहार-विशिष्ट उदाहरण है, जिसका BAU के अनुसार BAU-T1 isolate उच्च तापमान, लवणता और pH सहन कर सकता है। (Bihar Agricultural University)
3. शेल्फ-लाइफ एवं सूत्रीकरण (formulation)	जैव-एजेंट जीवित होने के कारण भंडारण, परिवहन और तापमान नियंत्रण में कठिनाई होती है। कम shelf-life व्यावसायिक उपयोग को सीमित कर सकती है।	स्थिर powder, granule, wettable powder, encapsulated और controlled-release formulations विकसित करना, viability तथा CFU को निर्धारित अवधि तक बनाए रखना।
4. बड़े पैमाने पर संवर्धन (mass multiplication)	प्रयोगशाला में प्रभावी सूक्ष्मजीव को खेत-स्तर की आवश्यक मात्रा में समान गुणवत्ता के साथ उत्पादित करना कठिन हो सकता है।	मानकीकृत fermentation, quality-control protocols तथा स्थानीय उत्पादन इकाइयों की स्थापना। BAU पहले से *Trichogramma* और entomopathogenic nematodes के mass multiplication पर कार्य कर रहा है।
5. जैव-एजेंट की गुणवत्ता में असमानता	उत्पाद में जीवित सूक्ष्मजीवों की वास्तविक संख्या, शुद्धता और	प्रत्येक बैच के लिए CFU count, strain identity, contamination test, viability और shelf-life testing को अनिवार्य करना।

	सक्रियता में अंतर आने पर खेत में परिणाम प्रभावित हो सकते हैं।	
6. जैव-एजेंट और रसायनों की अंतःक्रिया	किसान अक्सर जैविक और रासायनिक दोनों उपायों को साथ अपनाते हैं, कुछ रसायन लाभकारी सूक्ष्मजीवों/प्राकृतिक शत्रुओं को प्रभावित कर सकते हैं।	Compatibility chart तैयार करना और IPM में केवल उन रसायनों को शामिल करना जो संबंधित जैव-एजेंट के साथ संगत हों।
7. गैर-लक्षित जीवों की सुरक्षा	किसी जैव-एजेंट का प्रभाव केवल लक्षित कीट तक सीमित रहेगा, यह हमेशा स्वतः सुनिश्चित नहीं होता।	मधुमक्खियों, परभक्षी कीटों, मृदा जीवों तथा जलीय जीवों पर non-target risk assessment को परीक्षण का अनिवार्य भाग बनाना। हालिया शोध भी microbial pesticides के non-target testing को एक महत्वपूर्ण वैज्ञानिक चुनौती मानता है।
8. खेत में सही समय पर प्रयोग	जैव नियंत्रण की सफलता अक्सर कीट की प्रारंभिक अवस्था, मौसम और population threshold पर निर्भर करती है।	pest surveillance + weather data + economic threshold level (ETL) को जोड़कर समयबद्ध जैव नियंत्रण।
9. स्थानीय जैव-विविधता का अपर्याप्त उपयोग	बिहार के विभिन्न कृषि-जलवायु क्षेत्रों में उपलब्ध स्थानीय प्राकृतिक शत्रुओं की क्षमता का पूर्ण उपयोग नहीं हुआ है।	बिहार के विभिन्न जिलों से native parasitoids, predators, entomopathogens तथा beneficial microbes का isolation, characterization और screening।
10. अनुसंधान से खेत तक तकनीक का अंतर	विश्वविद्यालयों में विकसित तकनीक और किसान द्वारा अपनाई जाने वाली व्यावहारिक तकनीक के बीच knowledge gap बना रहता है।	KVK–BAU–कृषि विभाग–किसान उत्पादक संगठन (FPO) के माध्यम से on-farm validation, demonstration और farmer training।

6.1 बिहार-विशिष्ट अवसर: स्थानीय जैव-एजेंट से स्थानीय समाधान तक

बिहार की सबसे महत्वपूर्ण वैज्ञानिक संभावनाओं में से एक है, स्थानीय परिस्थितियों से प्राप्त जैव-एजेंटों का स्थानीय कृषि-समस्याओं के लिए उपयोग। इसका स्पष्ट उदाहरण *Sabour Trichoderma-1* है। BAU के अनुसार इसमें *Trichoderma asperellum* का BAU-T1 isolate है, जिसे मुंगेर के Sitakund क्षेत्र की कृषि भूमि से प्राप्त किया गया था। इसे मसूर और चना में बीज एवं मृदा-जनित रोगों के प्रबंधन के लिए विकसित किया गया है। इस प्रकार भविष्य का शोध केवल यह पूछने तक सीमित नहीं होना चाहिए कि "कौन-सा जैव-एजेंट प्रभावी है?", बल्कि यह भी देखना चाहिए कि:

"कौन-सा स्थानीय जैव-एजेंट, किस फसल में, किस कृषि-जलवायु क्षेत्र में, किस मौसम और किस अनुप्रयोग-विधि से अधिक स्थिर परिणाम देता है?"

यह दृष्टिकोण बिहार के लिए अधिक वैज्ञानिक और व्यावहारिक जैव नियंत्रण मॉडल विकसित कर सकता है।

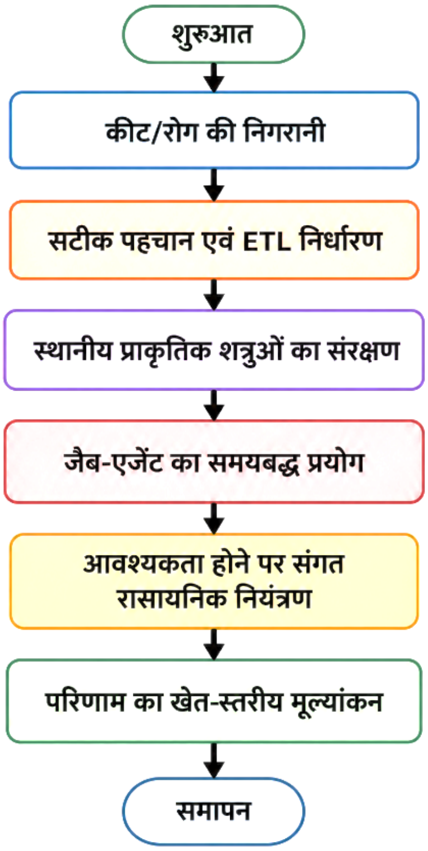
(IJDSSH) 2026, Vol. No. 22, Jul-Dec e-ISSN: 2455-5142 p-ISSN: 2455-7730

6.2 जैव नियंत्रण में सूत्रीकरण और तकनीकी नवाचार

जैव नियंत्रण की सफलता केवल प्रभावी microorganism खोजने पर निर्भर नहीं करती, उसका formulation technology भी उतना ही महत्वपूर्ण है। आधुनिक शोध में granules, pellets, wettable powders, water-dispersible granules, capsules और liquid formulations जैसी तकनीकों पर कार्य हो रहा है। बिहार में यह क्षेत्र विशेष रूप से महत्वपूर्ण है क्योंकि किसान-स्तर पर उत्पाद को कम लागत, आसानी से परिवहन योग्य, ताप-सहिष्णु और लंबे समय तक प्रभावी होना चाहिए। इसी दिशा में BAU में *Trichoderma* culture filtrate की stability और shelf-life सुधारने से संबंधित एक processing-device patent भी दर्ज किया गया है।

6.3 जैव नियंत्रण को IPM के साथ जोड़ना

भविष्य में जैव नियंत्रण को रासायनिक नियंत्रण का पूर्ण विकल्प मानने के बजाय समेकित कीट प्रबंधन (IPM) के एक प्रमुख घटक के रूप में विकसित करना अधिक वैज्ञानिक दृष्टिकोण होगा। आधुनिक IPM साहित्य भी biological, ecological, physical और आवश्यकता-आधारित chemical interventions के संयोजन पर बल देता है। बिहार के लिए एक संभावित मॉडल इस प्रकार हो सकता है:



चित्र 1: बिहार के लिए एकीकृत कीट प्रबंधन (IPM) का संभावित मॉडल

इस मॉडल में रसायन को प्रारंभिक और एकमात्र उपाय के बजाय आवश्यकता-आधारित intervention के रूप में रखा जा सकता है।

6.4 भविष्य की अनुसंधान प्राथमिकताएँ

बिहार में अगले चरण का जैव नियंत्रण अनुसंधान निम्न पाँच दिशाओं पर केंद्रित किया जा सकता है:

1. Native bio-agent discovery – बिहार की मृदा एवं कृषि-परिस्थितियों से स्थानीय जैव-एजेंटों की पहचान।
2. Molecular characterization – प्रभावी strains की molecular identification तथा genetic characterization।
3. Climate-resilient biocontrol – ताप, बाढ़, सूखा और लवणता जैसी परिस्थितियों में सक्रिय रहने वाले जैव-एजेंटों का विकास।
4. Smart formulation – अधिक shelf-life वाले low-cost formulations और controlled-release technologies।
5. Field-scale validation – प्रयोगशाला परिणामों को अलग-अलग कृषि-जलवायु क्षेत्रों में किसान के खेत पर सत्यापित करना।

BAU की वर्तमान शोध प्राथमिकताओं में भी entomopathogens का characterization, molecular monitoring, pesticide-tolerant bio-agents और mass multiplication जैसे क्षेत्र शामिल हैं, जो इन भविष्य की दिशाओं के साथ सीधे जुड़े हैं।

अतः बिहार में जैव नियंत्रण की मुख्य समस्या जैव-एजेंटों की उपलब्धता का पूर्ण अभाव नहीं, बल्कि उनकी स्थिर प्रभावशीलता, गुणवत्ता-नियंत्रण, formulation, mass multiplication, field validation और किसान-स्तरीय उपयोग को एकीकृत प्रणाली में बदलना है। बिहार में विकसित *Sabour Trichoderma-1*, BAU की crop-protection technologies तथा *Trichogramma* एवं entomopathogenic nematodes के mass multiplication संबंधी कार्य यह संकेत देते हैं कि राज्य में वैज्ञानिक आधार मौजूद है।

7. निष्कर्ष

बिहार की कृषि व्यवस्था में जैव नियंत्रण केवल रासायनिक कीटनाशकों के विकल्प के रूप में नहीं, बल्कि टिकाऊ, पर्यावरण-संगत और वैज्ञानिक फसल-सुरक्षा प्रणाली के एक महत्वपूर्ण घटक के रूप में उभर रहा है। राज्य की विविध कृषि-जलवायु परिस्थितियाँ, धान, गेहूँ, मक्का, दलहन, फल, सब्जियों तथा जूट जैसी विविध फसलों की उपस्थिति जैव नियंत्रण के लिए व्यापक अवसर प्रदान करती हैं। इस अध्ययन से स्पष्ट होता है कि जैव नियंत्रण की वैज्ञानिक आधारभूमि मुख्यतः परभक्षण, परजीव्याभिता, रोगजनकता, प्रतिस्पर्धा, प्रतिजैविकता तथा पौधों के प्रतिरक्षा-तंत्र के उद्दीपन पर आधारित है। अतः इसकी उपयोगिता केवल कीटों की संख्या कम करने तक सीमित नहीं है, बल्कि कृषि-पारिस्थितिकी तंत्र में जैविक संतुलन बनाए रखने से भी जुड़ी है। बिहार में जैव नियंत्रण के क्षेत्र में स्थानीय वैज्ञानिक नवाचार विशेष रूप से महत्वपूर्ण दिखाई देते हैं। बिहार कृषि विश्वविद्यालय, सबौर द्वारा विकसित फसल-सुरक्षा प्रौद्योगिकियों में *Trichoderma*-आधारित रोग प्रबंधन, दलहनी फसलों में बीज उपचार, *Helicoverpa armigera* का समेकित प्रबंधन, मक्का में Fall Armyworm प्रबंधन, सरसों में एफिड का पर्यावरण-अनुकूल नियंत्रण तथा जूट कीट एवं रोगों का समेकित प्रबंधन शामिल हैं। यह तथ्य दर्शाता है कि बिहार में जैव नियंत्रण अब केवल प्रयोगशाला-स्तरीय अवधारणा नहीं रहा, बल्कि स्थानीय कृषि समस्याओं के अनुरूप प्रौद्योगिकी विकास की दिशा में आगे बढ़ चुका है। विशेष रूप से "Sabour Trichoderma-1" बिहार के लिए स्थानीय जैव-नवाचार का महत्वपूर्ण उदाहरण है। *Trichoderma asperellum* BAU-T1 को मुंगेर के Sitakund क्षेत्र से प्राप्त किया गया और इसे मसूर तथा चना में बीज एवं मृदा-जनित रोगों के प्रबंधन के लिए विकसित किया गया। BAU के अनुसार यह isolate उच्च तापमान, लवणता और क्षारीय pH जैसी परिस्थितियों को सहन करने की क्षमता रखता है। इसी प्रकार, *Trichoderma* आधारित

formulations की shelf-life और स्थिरता सुधारने के लिए तकनीकी नवाचार यह संकेत देते हैं कि भविष्य का जैव नियंत्रण केवल नए जीवों की खोज तक सीमित नहीं रहेगा, बल्कि formulation, storage, mass multiplication और quality control भी इसके प्रमुख वैज्ञानिक आयाम होंगे। हालाँकि, व्यापक स्तर पर अपनाने के लिए कई चुनौतियाँ अभी शेष हैं। जैव-एजेंट की प्रभावशीलता में पर्यावरणीय परिवर्तन, उत्पाद की गुणवत्ता एवं shelf-life, बड़े पैमाने पर उत्पादन, non-target organisms की सुरक्षा, किसान प्रशिक्षण तथा प्रयोगशाला से खेत तक तकनीक के हस्तांतरण जैसी समस्याएँ महत्वपूर्ण हैं। इसलिए भविष्य की रणनीति में स्थानीय जैव-एजेंटों की खोज, molecular characterization, climate-resilient strains, उन्नत formulation, मानकीकृत quality-control protocols और बहु-स्थानिक field validation को प्राथमिकता देनी होगी। BAU की वर्तमान शोध प्राथमिकताओं में entomopathogens का characterization, molecular monitoring तथा pesticide-tolerant bio-agents का विकास और mass multiplication पहले से शामिल हैं।

संदर्भ सूची

- Alhadidi, S. N., Griffin, J. N., & Fowler, M. S. (2018). Natural enemy composition rather than richness determines pest suppression. *BioControl, 63*, 575–584.
- Bihar Agricultural University. (2024, November). *Sabour Trichoderma: Mitigating soil-borne diseases. BAU e-Newsletter, 257*.
- Bihar Agricultural University. (n.d.). *Priority areas*. Bihar Agricultural University, Sabour.
- Bihar Agricultural University. (n.d.). *Technologies developed*. Bihar Agricultural University, Sabour.
- Bihar Government. (2025). *Bihar Economic Survey 2024–25*. Finance Department, Government of Bihar.
- Department of Agriculture, Government of Bihar. (n.d.). *Agriculture in Bihar*. Government of Bihar.
- Directorate of Economics and Statistics, Department of Agriculture & Farmers Welfare. (2026). *Area, production & yield statistics*. Government of India.
- Directorate of Plant Protection, Quarantine & Storage. (n.d.). *Consumption of chemical pesticides and bio-pesticides during 2018–19 to 2022–23*. Ministry of Agriculture & Farmers Welfare, Government of India.
- Galli, M., Feldmann, F., Vogler, U. K., & colleagues. (2024). Can biocontrol be the game-changer in integrated pest management? A review of definitions, methods and strategies. *Journal of Plant Diseases and Protection, 131*, 265–291.
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species—Opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology, 2*(1), 43–56.
- Heimpel, G. E., & Mills, N. J. (2017). *Biological control: Ecology and applications*. Cambridge University Press.
- Indian Council of Agricultural Research. (n.d.). *Agricultural profile and interventions in Bihar*. ICAR.
- Jin, S., & Alberti, F. (2025). Advances in the discovery and study of *Trichoderma* natural products for biological control applications. *Natural Product Reports, 42*, 1367–1386.
- Khalifa, S. A. M., et al. (2023). Entomopathogens and parasitoids allied in biocontrol: A systematic review. *Pathogens, 12*(7), 957.
- Martínez, Y., Ribera, J., Schwarze, F. W. M. R., & De France, K. (2023). Biotechnological development of *Trichoderma*-based formulations for biological control. *Applied Microbiology and Biotechnology, 107*, 5595–5612.
- Panwar, V., et al. (2024). Endophytic entomopathogenic fungi as biological control agents of insect pests. *Pest Management Science*.
- van Lenteren, J. C., Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W. J., & Urbaneja, A. (2018). Biological control using invertebrates and microorganisms: Plenty of new opportunities. *BioControl, 63*, 39–59.
- Villavicencio-Vásquez, M., Espinoza-Lozano, F., Espinoza-Lozano, L., & Coronel-León, J. (2025). Biological control agents: Mechanisms of action, selection, formulation and challenges in agriculture. *Frontiers in Agronomy, 7*.