NEW ERA AGRICULTURE MAGAZINE

कीटों का गुप्त कवच: विषहरण एंजाइम

अमनदीप

परिचय:

जब किसान अपने खेत में कीटनाशक का छिड़काव करता है, तो वह उम्मीद करता है कि फसल को नुकसान पहुंचाने वाले कीट खत्म हो जाएंगे। लेकिन कुछ ही समय बाद देखा जाता है कि वही कीटनाशक असर करना बंद कर देता है। किसान हैरान होकर सोचता है — आखिर ऐसा क्यों हो रहा है? इसका जवाब छिपा है कीटों के शरीर के भीतर चल रही एक अदृश्य जैव-रासायनिक जंग में, जिसमें मुख्य भूमिका निभाते हैं विषहरण एंजाइम (Detoxification Enzymes)। यह एक ऐसी जंग है जो न तो दिखाई देती है, न सुनाई देती है, लेकिन इसका नतीजा सीधे किसान की जेब और देश की खाद्य सुरक्षा पर पड़ता है।

विषहरण एंजाइम आखिर हैं क्या?

कीटों का शरीर लगातार बाहरी विषैले पदार्थों के संपर्क में रहता है — चाहे वे पौधों द्वारा स्वाभाविक रूप से बनाए गए रक्षात्मक रसायन हों, या मनुष्य द्वारा छिड़के गए कीटनाशक। दिलचस्प बात यह है कि यह क्षमता कीटों में करोड़ों वर्षों के विकास (evolution) के दौरान विकसित हुई है — पौधे भी अपने बचाव के लिए ज़हरीले रसायन बनाते रहे हैं, और कीट लगातार उनसे निपटने के तरीके खोजते रहे हैं। इन विषैले पदार्थों से बचने के लिए कीटों के शरीर में कुछ विशेष प्रोटीन यानी एंजाइम सक्रिय होते हैं, जो इन रसायनों को तोड़कर या रूपांतरित करके शरीर के लिए कम हानिकारक या पूरी तरह हानिरहित बना देते हैं। इसी प्रक्रिया को विषहरण या डिटॉक्सिफिकेशन कहा जाता है।

मुख्य रूप से तीन प्रकार के एंजाइम इस काम में सबसे अधिक सक्रिय भूमिका निभाते हैं:

1. **साइटोक्रोम P450 मोनो-ऑक्सीजनेज़ (Cytochrome P450s)** — ये एंजाइम कीटों के शरीर में सबसे व्यापक और शक्तिशाली विषहरण तंत्र माने जाते हैं। ये कीटनाशक के अणु में ऑक्सीजन जोड़कर उसकी संरचना बदल देते हैं, जिससे वह कम विषैला हो जाता है और शरीर से आसानी से बाहर निकाला जा सके। इन्हें अक्सर कीटों का "यूनिवर्सल डिफेंस सिस्टम" कहा जाता है क्योंकि ये सैकड़ों अलग-अलग रसायनों को संभाल सकते हैं।
2. **एस्टरेज़ेज़ (Esterases)** — ये एंजाइम कीटनाशकों में मौजूद एस्टर बंधों को तोड़ते हैं। विशेष रूप से ऑर्गेनोफॉस्फेट और पायरेथ्रॉइड जैसे कीटनाशकों के खिलाफ प्रतिरोध पैदा करने में इनकी भूमिका बेहद अहम होती है। कुछ प्रतिरोधी कीट आबादियों में इन एंजाइमों की मात्रा सामान्य कीटों की तुलना में सैकड़ों गुना अधिक पाई गई है।
3. **ग्लूटाथायोन एस-ट्रांसफरेज़ेज़ (Glutathione S-Transferases, GSTs)** — ये एंजाइम विषैले पदार्थों को ग्लूटाथायोन नामक अणु से जोड़ देते हैं, जिससे वे पानी में घुलनशील बन जाते हैं और शरीर से आसानी से उत्सर्जित हो जाते हैं। ये एंजाइम DDT जैसे पुराने ऑर्गेनोक्लोरीन कीटनाशकों के खिलाफ प्रतिरोध में विशेष रूप से महत्वपूर्ण साबित हुए हैं।

अमनदीप
प्राविधिक सहायक ग्रुप सी कृषि विभाग उत्तर प्रदेश सरकार

इतिहास से एक सबक: DDT और मलेरिया के मच्छर

1940 और 50 के दशक में DDT को "चमत्कारी कीटनाशक" माना जाता था। लेकिन कुछ ही वर्षों में मलेरिया फैलाने वाले मच्छरों (Anopheles) की कई प्रजातियों ने अपने विषहरण एंजाइमों की मदद से DDT के खिलाफ प्रतिरोध विकसित कर लिया। यही कहानी कपास पर हमला करने वाले गुलाबी सुंडी (Pink Bollworm) और डायमंडबैक मॉथ जैसे कीटों के साथ भी दोहराई गई, जो आज दुनिया के सबसे अधिक कीटनाशक-प्रतिरोधी कीटों में गिने जाते हैं। यह इतिहास हमें सिखाता है कि कोई भी कीटनाशक हमेशा के लिए कारगर नहीं रह सकता, अगर उसका उपयोग समझदारी से न किया जाए।

फसल सुरक्षा के लिए यह इतना महत्वपूर्ण क्यों है?

कीटनाशक प्रतिरोध की जड़

खेती में सबसे बड़ी चुनौतियों में से एक है कीटनाशक प्रतिरोध (Insecticide Resistance)। जब किसी क्षेत्र में एक ही कीटनाशक का बार-बार इस्तेमाल किया जाता है, तो कुछ कीट स्वाभाविक रूप से अधिक सक्रिय विषहरण एंजाइम रखते हैं। ये कीट जीवित बच जाते हैं और आगे प्रजनन करते हैं, जिससे धीरे-धीरे पूरी आबादी में प्रतिरोधी गुण फैल जाता है। वैज्ञानिक इसे "चयनात्मक दबाव" (Selection Pressure) कहते हैं — जैसे-जैसे कमजोर कीट मरते जाते हैं, वैसे-वैसे प्रतिरोधी कीटों की संख्या बढ़ती जाती है। यही कारण है कि कई क्षेत्रों में पुराने कीटनाशक अब बेअसर साबित हो रहे हैं।

आर्थिक और पर्यावरणीय असर

जब कीटनाशक असर करना बंद कर देते हैं, तो किसान अधिक मात्रा में या अधिक शक्तिशाली रसायनों का उपयोग करने लगते हैं। इससे न केवल खेती की लागत बढ़ती है, बल्कि मिट्टी, पानी और लाभदायक जीवों (जैसे मधुमक्खियां और परभक्षी कीट) पर भी नकारात्मक असर पड़ता है। भारत जैसे कृषि प्रधान देश में, जहां लाखों किसान सीधे कीटनाशकों पर निर्भर हैं, यह समस्या सीधे उनकी आजीविका से जुड़ी है।

वैज्ञानिकों के लिए नया रास्ता

विषहरण एंजाइमों को समझना वैज्ञानिकों के लिए एक महत्वपूर्ण अवसर भी है। इन एंजाइमों की कार्यप्रणाली का अध्ययन करके शोधकर्ता ऐसे नए कीटनाशक विकसित कर सकते हैं, जो इन एंजाइमों को निष्क्रिय कर दें या उनसे बच निकलें। इसके अलावा, कुछ रसायन "सिनर्जिस्ट" के रूप में काम करते हैं — ये स्वयं कीटनाशक नहीं होते, लेकिन विषहरण एंजाइमों को रोककर कीटनाशक के प्रभाव को कई गुना बढ़ा देते हैं। पाइपरोनिल ब्यूटॉक्साइड (Piperonyl Butoxide) इसका एक जाना-माना उदाहरण है, जिसे अक्सर घरेलू कीटनाशकों में मिलाया जाता है।

जीन एडिटिंग और भविष्य की तकनीकें

आधुनिक जीनोमिक्स तकनीकों की मदद से अब वैज्ञानिक यह पता लगा सकते हैं कि किस कीट आबादी में कौन-सा विषहरण जीन सक्रिय है। RNA हस्तक्षेप (RNAi) जैसी तकनीकों का उपयोग करके इन जीनों को "चुप" कराने के प्रयोग भी चल रहे हैं, ताकि कीट अपनी प्राकृतिक सुरक्षा खो दें और कीटनाशक फिर से प्रभावी हो सकें। यह क्षेत्र अभी शुरुआती दौर में है, लेकिन भविष्य की फसल सुरक्षा रणनीतियों में इसकी बड़ी भूमिका हो सकती है।

समाधान की दिशा में कदम

फसल सुरक्षा विशेषज्ञ अब कुछ रणनीतियों पर जोर दे रहे हैं:

त्वरित तथ्य	
विषय	**जानकारी**
मुख्य एंजाइम समूह	साइटोक्रोम P450, एस्टरेज़, GST
पहला दर्ज प्रतिरोध मामला	1914, सैन जोस स्केल कीट (लाइम-सल्फर के खिलाफ)
आज तक प्रतिरोधी कीट प्रजातियां	600 से अधिक
सबसे प्रभावित फसलें	कपास, धान, सब्ज़ियां
प्रमुख समाधान रणनीति	IPM और कीटनाशक चक्रण

- कीटनाशक चक्रण (Rotation): अलग-अलग रासायनिक समूहों के कीटनाशकों को बदल-बदल कर इस्तेमाल करना, ताकि कीट किसी एक विषहरण तंत्र पर निर्भर न हो सकें।
- एकीकृत कीट प्रबंधन (Integrated Pest Management, IPM): रासायनिक नियंत्रण के साथ-साथ जैविक नियंत्रण, फसल चक्र और प्राकृतिक शत्रु कीटों का उपयोग करना।
- आनुवंशिक निगरानी: कीट आबादी में प्रतिरोधी जीन की मौजूदगी को समय रहते पहचानना, ताकि सही समय पर रणनीति बदली जा सके।
- सिनर्जिस्ट का उपयोग: विषहरण एंजाइमों को रोकने वाले रसायनों को कीटनाशकों के साथ मिलाकर उनकी प्रभावशीलता बढ़ाना।
- किसानों को प्रशिक्षण: सही मात्रा, सही समय और सही तरीके से कीटनाशक के छिड़काव पर जागरूकता फैलाना, ताकि अनावश्यक उपयोग से बचा जा सके।

निष्कर्ष

विषहरण एंजाइम कीटों के अस्तित्व की लड़ाई में उनके सबसे मजबूत हथियार हैं, लेकिन यही हथियार किसानों और वैज्ञानिकों के लिए सबसे बड़ी चुनौती भी बन जाता है। इस सूक्ष्म जैव-रासायनिक प्रक्रिया को समझना केवल विज्ञान की जिज्ञासा नहीं, बल्कि हमारी खाद्य सुरक्षा से सीधे जुड़ा हुआ विषय है। जितना बेहतर हम इन एंजाइमों की कार्यप्रणाली को समझेंगे, उतनी ही समझदारी से हम भविष्य में टिकाऊ और प्रभावी फसल सुरक्षा रणनीतियां बना पाएंगे। आखिरकार, यह लड़ाई सिर्फ कीटनाशक बनाम कीट की नहीं, बल्कि विज्ञान और प्रकृति के बीच एक सतत संवाद है।