REVIEW ARTICLE Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika

आनुवंशिक रूप से संशोधित बैकोलोवायरस : कीट प्रबंधन में एक महत्वपूर्ण साधन : एक समीक्षा

सागर डी[1], रत्ना प्रभा[2,3], सौम्या सिंह[4]

सारांश

Baculoviruse कीट वायरस के सबसे बड़े परिवार का प्रतिनिधित्व करते हैं और मेजबान विशिष्टता (host specificity), पर्यावरण सुरक्षा और अन्य नियंत्रण एजेंटों के साथ संगतता (compatibility) सहित उनकी अनूठी विशेषताओं के कारण एकीकृत कीट प्रबंधन में महत्वपूर्ण साधन के रूप में काम करते हैं। बायोपेस्टाइड्स के रूप में उनके फायदे के बावजूद, wild–type बैकुलोवायरस की कई बाध्यताऐं हैं, जिनमे प्रतिबंधित मेजबान सीमा (restricted host range) और यूवी (UV) प्रकाश के लिए भेद्यता शामिल हैं। जेनेटिक इंजीनियरिंग पुनः संयोजक बैकुलोवायरस के विकास के माध्यम से इन बाधाओं को दूर करने के लिए एक आशाजनक दृष्टिकोण के रूप में उभरा है। हाल के विकासक्रमों में BACMID सिस्टम (बैक्टीरियल कृत्रिम गुणसूत्र) का विकास शामिल है जो साइट–विशिष्ट पुनर्संयोजन और ट्रांसपोजिशन के माध्यम से आनुवंशिक हेरफेर की सुविधा प्रदान करता है। भविष्य के अनुसंधान दिशाओं में सहक्रियात्मक प्रभावों को प्राप्त करने और मेजबान रेंज को व्यापक बनाने के लिए कई न्यूरोटॉक्सिन की सह–अभिव्यक्ति शामिल है, जिससे टिकाऊ कीट प्रबंधन के लिए अनुवांशिक रूप से संशोधित बैकुलोवायरस काफी मूल्यवान साबित हो सकते हैं।

शब्द कुन्जी: BACMID, बैकुलोवायरस, जेनेटिक इंजीनियरिंग, कीट वायरस, कीट प्रबंधन ।

Genetically Modified Baculovirus- An Important Tool in Pest Management: A Review

Sagar D.[1], Ratna Prabha[2,3], Saumya Singh[4]

10.18805/BKAP876

ABSTRACT

Baculoviruses represent the largest family of insect viruses and serve as important tools in integrated pest management due to their unique characteristics including host specificity, environmental safety and compatibility with other control agents. Despite their advantages as biopesticides, wild-type baculoviruses have several limitations, including restricted host range and vulnerability to UV light. Genetic engineering has emerged as a promising approach to overcome these obstacles through the development of recombinant baculoviruses. Recent advances include the development of BACMID systems (bacterial artificial chromosomes) that facilitate genetic manipulation through site-specific recombination and transposition. Future research directions include co-expression of multiple neurotoxins to achieve synergistic effects and broaden the host range, whereby genetically modified baculoviruses may prove quite valuable for sustainable pest management.

Key words: BACMID, Baculoviruse, Genetic engineering, Insect virus, Pest management.

प्रस्तावना

कीट विषाणु कई आर्थ्रोपॉड प्रजातियों के महत्वपूर्ण रोग जनक हैं। उन्हें कीटो की एक विस्तृत श्रृंखला (मिलर और बॉल, 1998) से दर्ज किया गया है, और इन मेजबानों के साथ उनका जुड़ाव लंबा है, लगभग 200 मिलियन से अधिक वर्षों से कीट विषाणु सूक्ष्म दर्शी, बाध्यकारी (obligate), अंतःकोशिकीय, रोग जनक इकाइयां हैं (Bhandari and Paudel, 2024; Swati *et al*., 2023; Sharma *et al*., 2024)। ये वायरस सब से सरल जीवित रूप हैं, जो न्यूक्लिक एसिड तथा उसे घेरने वाले प्रोटीन खोल (कैप्सिड) से बने होते हैं। न्यूक्लिक एसिड प्रकृति में संक्रामक है जबकि कैप्सिड रूपात्मक गुण प्रदान करता है। प्रत्येक वायरस में एक प्रकार का न्यूक्लिक एसिड होता है, या

[1]ICAR-National Bureau of Agricultural Insect Resources, Bengaluru-560 024, Karnataka, India.
[2]ICAR-Indian Agricultural Research Institute, Pusa, New Delhi-110 012, India.
[3]ICAR-National Research Centre on Equines, Equine Production Complex (R.K.), Bikaner-334 001, Rajasthan, India.
[4]Sam Higginbottom University of Agriculture, Technology and Sciences, Prayagraj-211 007, Uttar Pradesh, India.

Corresponding Author: Ratna Prabha, ICAR-Indian Agricultural Research Institute, Pusa, New Delhi-110 012, India.
Email: ratnasinghbiotech30@gmail.com

How to cite this article: Sagar, D., Prabha, R. and Singh, S. (2025). Genetically Modified Baculovirus- An Important Tool in Pest Management: A Review. *Bhartiya Krishi Anusandhan Patrika*. 1-5. doi: 10.18805/BKAP876.

Submitted: 19-08-2025 **Accepted:** 27-10-2025 **Online:** 06-11-2025

तो डीऑक्सी राइबोन्यूक्लिक एसिड (डीएनए) या राइबो न्यूक्लिक एसिड (आरएनए)। न्यूक्लिक एसिड डबल या सिंगल स्ट्रैंडेड हो सकता है। न्यूक्लिक एसिड कैप्सिड के साथ मिल कर न्यूक्लियो कैप्सिड या वायरिआन बनाता है । कीट विषाणु कण या तो ढके हुए (enveloped) या बिना ढके (non-enveloped) हो सकते हैं। एक द्विपरत लिपिड झिल्ली जिसे वायरल झिल्ली या वायरल लिफाफा कहा जाता है, कई जटिल वायरस के न्यूक्लियो कैप्सिड को घेर लेती है। विषाणु या तो अकेले या एकाधिक में सुरक्षात्मक क्रिस्टलीय प्रोटीन मैट्रिक्स में अंतर्निहित होता है जिसे occlusion body (ओबी) के रूप में जाना जाता है। आज तक, वायरस की 6590 प्रजातियों को इंटरनेशनल कमेटी ऑन टैक्सोनॉमी ऑफ वायरस (आईसीटीवी) द्वारा परिभाषित किया गया है, जिनमें से 1100 से अधिक वायरस कीटों के 20 से अधिक विभिन्न परिवारों से संबंधित कीटों को संक्रमित करने के लिए जाने जाते हैं। 1100 कीट विषाणुओं में से 50% से अधिक विषाणु एक ही परिवार बैकुलोविरिडे (Baculoviridae) (एबरले एट अल, 2012) से संबंधित हैं।

बैकुलो वायरस कीट विषाणुओं के बड़े परिवार से बना है और सबसे गहन अध्ययन किये गये कीट रोग जनकों में से है, इन्हें व्यापक रूप से कीट नियंत्रण एजेंट और प्रोटीन अभिव्यक्ति वेक्टर दोनों के रूप में उपयोग किया जाता है। बैकोलो वायरस में यह एक द्वि-चरणीय संक्रमण प्रक्रिया है जिसमें जीनोटाइपिक रूप से समान, लेकिन फेनोटाइपिक रूप से भिन्न वायरस रूप उत्पन्न होते हैं, जैसे, इंट्रासेल्युलर रोड़ा व्युत्पन्न वायरस (intracellular occlusion derived virus, ओडीवी), या बाह्य कोशिकीय वायरल संतान (budded virus याबीवी)। ओडीवी एक कीट से दूसरे कीट में संक्रमण फैलाता है, जब कि बीवी एक संक्रमित कीट के भीतर एक कोशिका से दूसरी कोशिका में संक्रमण फैलाता है (ग्रेनाडोस, 1980)।

जीनोम अनुक्रम विश्लेषण, रूपात्मक, जैविक और फाइलो जेनेटिक विशेषताओं और इसे संक्रमित करने वाले मेजबान के आधार पर जेहले एट अल (2006) ने बैकुलोविरिडे के सदस्यों को वर्गीकृत किया और चार प्रजातियों के अंतर्गत रखा। अल्फा बाकुलो वायरस सभी लेपिडोप्टेरा–विशिष्ट न्यूक्लियो पॉलीहेड्रो वायरस (एनपीवी) हैं और उनके ओबीक्लासिक कई–पक्षीय (पॉलीहेड्रल) आकार के हैं जैसा कि टाइप प्रजाति ऑटोग्राफाकैलिफोर्निका मल्टीपल एनपीवी (एसीएम एनपीवी) में देखा जाता है। इस जीनस के सदस्यों द्वारा उत्पादित ओडीवी में प्रति आवर्णित विषाणु में एक या कई न्यूक्लियोकैप्सिड शामिल हो सकते हैं, यह विशेषता अन्य जेनेरा के सदस्यों में नहीं पाई जाती है। बीटा बाकुलो वायरस में लेपिडोप्टेरा–विशिष्ट ग्रैनुलो वायरस (जीवी) शामिल हैं और type species साइडिया पोमोनेला जीवी (सीपीजीवी) है। गैमा बाकुलोवायरस हाइमनोप्टेरा–विशिष्ट एनपीवी हैं जैसे कि पॉलीहेड्रल ओबी के साथ नियोडिप्रियन लेकोनेटी एसएनपीवी (अकेले आवरण वाले एनपीवी)। अंत में, डेल्टा बाकुलोवायरस डिप्टेरा–विशिष्ट एनपीवी हैं जिनमें 0.5–15 माइक्रोन के क्रिस्टलीय ओबी होते हैं जिनमें कई विषाणु होते हैं। इस वायरस का viral occlusion मैट्रिक्स प्रोटीन अन्य तीन जेनेरा के वायरस की तुलना में काफी बड़ा है। डेल्टा बाकुलो वायरस की प्रकार की प्रजाति क्यूलेक्स निग्रिपाल पसन्यूक्लियो पॉलीहेड्रो वायरस (CuniNPV) है। बैकुलो वायरस की अधिकांश प्रजातियाँ अल्फा और बीटा बैकुलो वायरस के भीतर पाई जाती हैं।

बैकुलो वायरस की संक्रमण प्रक्रिया

संक्रमण एक अति संवेदनशील लार्वा द्वारा ओबी–दूषित भोजन जैसे पत्ते खाने से ओबी के अंतर्ग्रहण के बाद होता है। एक बार निगलने के बाद, ओबी को क्षारीय (पीएच 8–10) लार्वा मिडगुट क्षेत्र में ले जाता है जहां ओबी पॉलीहेड्रिन के रूप में घुल जाता है और मिनटों के भीतर ओडीवी को छोड़ने के लिए घुलनशील हो जाता है। फिर released ओडीवी को संक्रमण स्थापित करने के लिए मिडगट एपिथेलियल कोशिकाओं तक पहुंचने के लिए मिडगट में पाए जाने वाले पेरिट्रोफिक झिल्ली (पीएम) से गुजरना पड़ता है। एक बार जब वे पीएम से गुजरते हैं, तो विषाणु मध्य आंत उपकला कोशिकाओं से जुड़ते हैं और उनमें प्रवेश करते हैं और उपकला झिल्ली के साथ विलय करते हैं, जिससे न्यूक्लियो कैप्सिड कोशिकाओं में प्रवेश कर पाते हैं। मेजबान कोशिकाओं में प्रवेश करने वाले विषाणु, परमाणु छिद्रों के माध्यम से केंद्रक तक पहुंचते हैं और मेजबान कोशिका केंद्रक में प्रतिकृति बनाना शुरू कर देते हैं। मिडगट एपिथेलियल कोशिकाओं के केंद्रक में वायरल प्रतिकृति के परिणाम स्वरूप कई संतति न्यूक्लियो कैप्सिड की उपस्थिति होती है और budded virus (बीवी) के रूप में उभरती है। चूंकि बीवी को एक कोशिका से दूसरी कोशिका में संक्रमित करने के लिए जाना जाता है, उपकला कोशिकाओं के बाद वे श्वासनली कोशिकाओं और ट्रेकियोब्लास्ट तक पहुंचते हैं। श्वासनली के नेटवर्क के माध्यम से आगे बढ़ते हुए और गतिशील ट्रेकोब्लास्ट के भीतर स्थानान्तरण द्वारा, वायरस हेमोलिम्फ कोशिकाओं और गोनाड, हाइपोडर्मिस, मांसपेशियों, तंत्रिका गैन्ग्लिया और पेरिकार्डियल कोशिकाओं सहित अधिकांश लार्वा ऊतकों में निवास करने वाले मेजबान ऊतकों के माध्यम से तेजी से फैलने में सक्षम है। इन ऊतकों के संक्रमण और विनाश के परिणामस्वरूप अंततः लार्वा की मृत्यु हो जाती है ।

बैकुलोवायरस में कई अनूठी विशेषताएं हैं, जिन्होंने माइक्रोबियल कीटनाशकों के रूप में उनके उपयोग में रुचि पैदा की है, जैसे, (i) मेजबान विशिष्टता, (ii) मेजबान कीट में विषाक्तता (iii) कोई अवशिष्ट विषाक्तता नहीं, (iv) पर्यावरण और स्तनधारी सुरक्षा (v) लंबी शेल्फ जीवन, (vi) पारंपरिक स्प्रे उपकरणों का उपयोग करके आसानी से लगाया जा सकता है, (vii) एपिजूटिक उत्पन्न करता है और (viiI) अन्य नियंत्रण एजेंटों के साथ अनुकूलता।

दूसरी ओर, विभिन्न बाधाओं में सीमित host range; महंगा *in vivo* उत्पादन; सीमित बाजार आकार और अपेक्षाकृत कम लागत, प्रभावीय कार्रवाई की धीमी गति, विशेष रूप से कम क्षति सीमा वाली फसलों में, सौर यूवी प्रकाश के प्रति संवेदनशील और older instars के प्रति कम विषाक्तता शामिल है। इन बाधाओं के कारण आनुवंशिक इंजीनियरिंग तकनीकों के माध्यम से जीन सम्मिलन या जीन विलोपन के माध्यम से पुनः संयोजक (recombinant) वायरस के विकास की आवश्यकता होती है। जेनेटिक इंजीनियरिंग के माध्यम से, पुनः संयोजक बैकोलोवायरस को विकसित किया गया है, जिसका लक्ष्य कीट विशिष्ट विष जीन को सम्मिलित करके कार्रवाई की गति को बढ़ाना है, जो हार्मोन और एंजाइमों की अत्यधिक अभिव्यक्ति या निष्क्रियता से शारीरिक प्रक्रिया को प्रभावित करता है।

कीट हार्मोन जीन की अभिव्यक्ति

कीटों की वृद्धि और विकास मुख्यतः हार्मोन द्वारा नियंत्रित होता है। एक या अधिक कीट हार्मोनों के विघटन, अति अभिव्यक्ति या निष्क्रियता के परिणामस्वरूप असामान्य वृद्धि, भोजन बंद हो जाना और या मृत्यु हो जाती है। तो, कीटों के हार्मोन को एनकोड करने वाले जीन का सम्मिलन आनुवंशिक रूप से संशोधित बैकोलो वायरस उत्पन्न करने के लिए उपयोग की जाने वाली पहली रणनीति थी। बॉम्बेक्स मोरी एमएनपीवी (बीएम एनपीवी) का एक पुनः संयोजक वायरस जो एक सक्रिय मूत्रवर्धक हार्मोन (डीएच) को एनकोड करता है, जंगली प्रकार के वायरस (माएडा एट अल, 1989) की तुलना में लार्वा को मारने में 20% तेज पाया गया है। कुछ अन्य हार्मोन जिन्हें पुनः संयोजक एनपीवी में व्यक्त किया गया है उनमें एक्लोसियन हार्मोन, प्रोथोरासि कोट्रोपिक हार्मोन, juvenile हार्मोन शामिल हैं, लेकिन इन हार्मोनों की अत्यधिक अभिव्यक्ति से जंगली प्रकार की तुलना में नष्ट करने की गति में कोई महत्वपूर्ण सुधार नहीं हुआ।

कीट-चयनात्मक विष की अभिव्यक्ति

पुनःसंयोजक बैकोलो वायरस में एंड्रोक्टोनस ऑस्ट्रेलिस बिच्छू से कीट चयनात्मक विष एएआईटी जीन की अभिव्यक्ति के परिणामस्वरूप नष्ट करने की गति बढ़ गई। इस जीन वाले एक पुनःसंयोजक वायरस ने जंगली प्रकार की तुलना में लार्वा को मारने में 40% तेजी दिखाई और मेजबान भोजन में 60% की कमी देखी (इंसोग्लू एट अल, 2001)। यह संक्रमित लार्वा की मांसपेशियों के समन्वय को नियंत्रित करने में असमर्थता के कारण है। इस न्यूरोटॉक्सिक पॉलीपेप्टाइड की क्रिया का स्थान कीट सोडियम चैनल पर है। एएआईटी - व्यक्त करने वाले बैकोलो वायरस से संक्रमित लेपिडोप्टेरस लार्वा, देशी विष के इंजेक्शन से प्रेरित पक्षाघात के लक्षणों के समान प्रकट होता है (एलासर एट अल, 2001) और कई शारीरिक प्रभाव पाइरेथ्रोइड कीटनाशकों के समान होते हैं जो कि समान लक्ष्य पर भी कार्य करते हैं (गॉर्डन एट अल, 1992)। अन्य उपयोगी कीट–चयनात्म कन्यूरोटॉक्सिन हैं SFI1 (यूरोपीयम कड़ी, सेगेस्ट्रिया फ्लोरेंटिना से प्राप्त) और ButaIT [दक्षिण भारतीय लाल बिच्छू मे सोबुथस टैमुलस (वुदया गिरी एट अल, 2001) से प्राप्त]। कुछ विषाक्त पदार्थ सह-अभिव्यक्त होने पर सहकारी प्रभाव डाल सकते हैं, जैसे कि LqhIT1 और LqhIt2, जो लीयुरस क्विनक्वेस्ट्रिएटस बिच्छू से प्राप्त होते हैं (रेगेव एट अल, 2003)।

Endogenous बैकोलो वायरस जीन का विलोपन

बैकोलो वायरस - एन्कोडेड इक्डिस्टेरॉइड यूडीपी दृग्लूको साइल ट्रांसफेरेज (egt) संक्रमित कीट लार्वा में इक्डिस्टेरॉइड हार्मोन को निष्क्रिय कर देते हैं, इन यौगिकों को ग्लूकोज या गैलेक्टोज के साथ संयुग्मित करके। इस निष्क्रियता के परिणामस्वरूप, कीट का सामान्य विकास, जैसे कि निर्मोचन, रुक जाता है, जिससे लार्वा चरण लंबा हो जाता है । लार्वा बढ़ते और खाते रहते हैं और अंततः बड़ी संख्या में पॉलीहेड्रा पैदा करते हैं। इस प्रकार, उदाहरण के लिए संक्रमण के बाद कीट के भोजन की अवधि को बढ़ाने का कार्य करता है, जिस के परिणामस्वरूप कीट के वजन में वृद्धि होती है। यह जीन दो बैकोलो वायरस जेनेरा से संबंधित कई वायरस में पाया जाता है जो लेपिडोप्टेरा, अल्फाबा कुलोवायरस और बीटा बाकुलो वायरस को संक्रमित करते हैं। वायरल जीनोम से ईजीटीजीन को हटाने से ईजीटीजीन वाले वायरस के सापेक्ष घातक समय में 10–20% की कमी और भोजन क्षति में 40% की कमी देखी गई है।

Virulence वृद्धि के लिए जेनेटिक इंजीनियरिंग

एन्हांसिन एक मेटालोप्रोटीज है जो आम तौर पर बैकुलोवायरस द्वारा व्यक्त किया जाता है जो पेरिट्रोफिक झिल्ली में कीड़ों के आंतों के म्यूसिन को नष्ट कर देता है। ट्राइकोप्लुसियानी जीवी (Trichoplusiani GV) से प्राप्त एन्हांसिन जीन के सम्मिलन ने विभिन्न कीट प्रजातियों में एसीएमएनपीवी virulence को 2 से 14 गुना तक बढ़ा दिया। इसके विपरीत, लिमांट्रियाडिस्पर एमएनपीवी से दो एन्हांसिन जीन को हटाने से virulence क्षमता 12 गुना कम हो गई। (क्रॉमर एट अल, 2015)। एसीएम एनपीवी को आनुवंशिक रूप से एक अल्गल वायरस पाइरीमिडीनडिमर–विशिष्ट ग्लाइकोसिलेज, सीवी–पीडीजी को व्यक्त करने के लिए इंजीनियर किया गया है, ताकि यह यूवी निष्क्रियता के प्रति कम संवेदनशील हो। इस तरह के पुनःसंयोजक का अतिरिक्त लाभ यह था कि स्पोडोप्टेरा फ्रुगिपरडा को मारने के दौरान इसकी virulence 16 गुना बढ़ गई थी।

बैकोलो वायरस जेनेटिक इंजीनियरिंग में हालिया विकास बैकोलो वायरस जीनोम का विकास है जो जीवाणु मेजबान में जीवाणु कृत्रिम गुणसूत्रों (bacterial artificial chromosomes) के रूप में प्रतिलिपि बनाने में सक्षम है, इन पुनःसंयोजक बैकोलो वायरस को बैक्मिड (bacmid) कहा जाता है (जैन एट अल, 2025)। यीस्ट कृत्रिम क्रोमोसोम (YAC, वाईएसी) और स्तनधारी कृत्रिम क्रोमोसोम जैसे अन्य उच्च सम्मिलन क्षमता वाले वैक्टरों की तुलना में बैक्मिड्स का मुख्य लाभ कई पीढ़ियों तक सम्मिलन प्रसार (insert propagation) की स्थिरता है। एक बार बैक्टीरिया होस्ट में स्थानांतरित होने के बाद, बैकुलो वायरस जीनोम को साइट–विशिष्ट पुनर्संयोजन, आरईसी–ए मध्यस्थता समरूप पुनर्संयोजन या ट्रांसपोजिशन (Rec–। mediated homologous recombination) के माध्यम से आसानी से हेरफेर किया जा सकता है (हसे एट अल, 2013)। पहले विकसित बेकमिड में एसीएमएनपीवी जीनोम शामिल था, बाद में बॉम्बेक्स मोरी एनपीवी, हेलिकोवर्पा आर्मिगेरा सिंगल–न्यूक्लियो कैप्सिड न्यूक्लियो पॉलीहेड्रोवायरस (हियर एसएनपीवी) और साइडियापो मोनेला ग्रैनुलोवायरस (सीपीजीवी) के लिए भी बेकमिड सिस्टम विकसित किए जा रहे हैं (हिल्टन एट अल, 2008; वांग एट अल, 2003)।

निष्कर्ष

नष्ट कर ने की बढ़ी हुई गति के लिए आनुवंशिक अनुकूलन से जुड़े सामान्य कारकों में से एक यह है कि वायरस जितनी तेजी से मेजबान कीट को मारता है, उतने ही कम ओबी उत्पन्न होते हैं। इसलिए, इन पुनःसंयोजक बैकोलो वायरस का बड़े पैमाने पर *in vivo* उत्पादन एक चुनौती बन जाता है। इसलिए जैव सुरक्षा, व्यावसायी करण और कीटों से प्रतिरोध चिंता का विषय है। एक अन्य scope एक एकल पुनःसंयोजक बैकोलो वायरस द्वारा एन्कोड किए गए दो अलग–अलग न्यूरोटॉक्सिन की सह–अभिव्यक्ति के संबंध में है जो कभी–कभी मेजबान के जीवित रहने के समय में कमी के साथ–साथ मेजबान सीमा को व्यापक बनाने में एक सहक्रियात्मक वृद्धि प्रदर्शित कर सकता है।

हितों का टकराव

लेखक घोषणा करते हैं कि इसमें कोई हितों का टकराव नही है।

REFERENCES

Bhandari, K.M., Paudel, M. (2024). Genetic, biological and sterile insect techniques: Insect pest management strategies: A review. *Agricultural Reviews.* **45(3):** 390-399. doi: 10.18805/ag.RF-311.

Eberle, K.E., Jehle, J.A., Huber, J. (2012). Microbial Control of Crop Pests using Insect Viruses. In: Integrated Pest Management: Principles and Practice, Edited by D.P. Abrol and U. Shankar: CABI. pp. 281-299.

Elazar, M., Levi, R., Zlotkin, E. (2001). Targeting of an expressed neurotoxin by its recombinant baculovirus. *J. Exp. Biol.* **204:** 2637-2545.

Gordon, D., Moskowitz, H., Eitan, M., Warner, C., Catterall, W.A., Zlotkin, E. (1992). Localization of receptor sites for insect-selective toxins on sodium channels by site-directed antibodies. *Biochemistry*. **31:** 7622-7628.

Granados, R.R. (1980). Infectivity and mode of action of baculoviruses. *Biotechnology and Bioengineering*. **22:** 1377-1405.

Haase, S., Ferrelli, L., Pidre, M.L., Romanowski, V. (2013). Genetic Engineering of Baculoviruses. In: Current Issues in Molecular Virology - Viral Genetics and Biotechnological Applications. pp. 79-111.

Hilton, S., Kemp, E., Keane, G., Winstanley, D. (2008). A bacmid approach to the genetic manipulation of granuloviruses. *Journal of Virological Methods*. **152:** 56-62.

Inceoglu, A.B., Kamita, S.G., Hammock, B.D. (2006). Genetically modified baculoviruses: A historical overview and future outlook. *Advances in Virus Research*. **68:** 323-360.

Inceoglu, A., Kamita, S.G., Hinton, A.C., Huang, Q.H., Severson, T.F., *et al*. (2001). Recombinant baculoviruses for insect control. *Pest Mgt. Sci.* **57:** 987-987.

Jehle, J.A., Lange, M., Wang, H., Hu, Z., Wang, Y., Huaschild, R. (2006). Molecular identification and phylogenetic analysis of baculoviruses from Lepidoptera. *Virology.* **346(1):** 180-193.

Kroemer, J.A., Bonning, B.C., Harrison, R.L. (2015). Expression, delivery and function of insecticidal proteins expressed by recombinant baculoviruses. *Viruses*. **7(1):** 422-455. doi: 10.3390/v7010422.

Maeda, S. (1989). Expression of foreign genes in insects using baculovirus vectors. *Annual Review of Entomology.* **34:** 351-372.

Miller, L., Ball, L.A. (Eds.) (1998). The Insect Viruses. Plenum Press, New York. 411 pp.

O'Reily, D.R. (1995). Baculovirus-encodededcysteroid UDP-glucosyltransferases. *Insect Biochemistry and Molecular Biology.* **25(5):** 541-550.

Regev, A., Rivkin, H., Inceoglu, B., Gershburg, E., Hammock, D., *et al*. (2003). Further enhancement of baculovirus insecticidal efficacy with scorpion toxins that interact cooperatively. *FEBS Lett.* **537:** 706-710.

Wang, H., Deng, F., Pijlman, G.P., Chen, X., Sun, X., Vlak, J.M., Hu, Z. (2003). Cloning of biologically active genomes from a *Helicoverpa armigera* single nucleocapsid nucleopolyhedrovirus isolate by using a bacterial artificial chromosome. *Virus Research*. **97:** 57-63.

Wudayagiri, R., Inceoglu, B., Herrmann, R., Derbel, M., Choudary, P.V., Hammock, B.D. (2001). Isolation and characterization of a novel lepidopteran-selective toxin from the venom of South Indian red scorpion, *Mesobuthus tamulus*. *BMC Biochemistry.* **2:** 11-16.