Bacillus thuringiensis

Grundlagen und Einsatz im biologischen
und integrierten Pflanzenschutz

Dr. agr. Renate Kaiser-Alexnat

Bacillus thuringiensis (*B.t.*)

Einführung

Entdeckung

- Das Bakterium, das wir heute als *Bacillus thuringiensis* bezeichnen, wurde 1901 erstmals von dem japanischen Wissenschaftler ISHIWATA aus einer Seidenraupe isoliert. Er nannte es damals *Bacillus sotto*.
- Zehn Jahre später - 1911 - isolierte der deutsche Wissenschaftler BERLINER aus einer kranken Raupe der Mehlmotte das gleiche Bakterium. Er nannte es *Bacillus thuringiensis*, weil die Mehlmotten in denen er das Bakterium entdeckt hatte aus einer Mühle in Thüringen stammten.
- Zu diesem Zeitpunkt ahnte noch niemand, dass es sich um ein Bakterium mit besonderen Eigenschaften und einem großen Potential für den Pflanzenschutz handelt.

Vorkommen

- *B.t.* ist ein geographisch sehr weit verbreitetes Bakterium. Es ist auf allen Kontinenten zu finden und konnte sogar in der Antarktis nachgewiesen werden. *B.t.* ist also ubiquitär.
- Um *B.t.*-Stämme mit toxischer Wirkung gegenüber Schadinsekten zu selektieren, wird *B.t.* aus Insekten, von Blattoberflächen und vor allem aus Bodenproben isoliert.
- Bis auf wenige Ausnahmen konnte jedoch keine Korrelation zwischen dem Habitat und dem Toxizitätsspektrum festgestellt werden.

Biologie

- *B.t.* ist ein aerobes, gram-positives, sporenbildendes Bakterium.

- Während der Sporulation bildet *B.t.* ein oder mehrere parasporale, kristalline Proteine.
- Die Kristallproteine werden auch als δ-(Delta-)Endotoxine bezeichnet, wenn sie eine insektentoxische Wirkung haben.

  δ-Endotoxine mit insektentoxischer Wirkung
- Die genetische Information für die Bildung der Toxinkristalle liegt auf einem oder mehreren Plasmiden.
- Das wird teilweise praktisch genutzt. Da Plasmide mittels Konjugation zwischen *B.t.*-Stämmen ausgetauscht werden, kann durch gemeinsame Kultur von Stämmen mit gewünschten Eigenschaften eine gerichtete Veränderung erzielt werden.
- Durch Plasmidtransfer zwischen *B.t.*-Stämmen entstandene Transkonjuganten werden in einzelnen kommerziellen Produkten genutzt.

Vermehrung

- Im Normalfall vermehrt sich *B.t.* - wie alle anderen Bakterien – durch Teilung. Dabei handelt es sich um den vegetativen Zyklus [Abb. 1].
- Die vegetativen Zellen sind stäbchenförmig und meist begeißelt [Abb. 2]. Die Stäbchen haben eine Länge von etwa 2 bis 5 µm und einen Durchmesser von 1 µm.
- Unter ungünstigen Bedingungen – wie Nährstoffmangel - setzt der reproduktive Zyklus ein [Abb. 1]. Dabei kommt es zur Sporulation.
- Bei der Sporulation werden neben den überdauerungs-fähigen Endosporen ein oder mehrere parasporale, kristalline Proteine gebildet, die in das Cytoplasma eingelagert werden [Abb. 3]. Sie können bis zu 25% des Trockengewichtes der sporulierenden Zelle ausmachen. Am Ende der Sporulation werden die Endosporen und Kristallproteine durch Autolyse des Sporangiums freigesetzt [Abb. 4].

- Wenn wieder günstige Bedingungen vorherrschen, können aus den Sporen neue vegetative Zellen keimen und durch die Teilung der vegetativen Zellen beginnt ein neuer Vermehrungszyklus [Abb. 1].

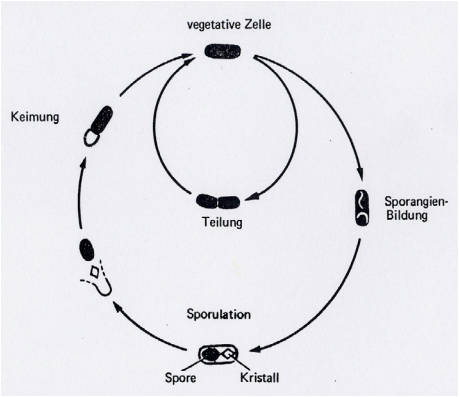


Abb. 1: Entwicklungszyklus von *B.t.* (A. Krieg, BBA)

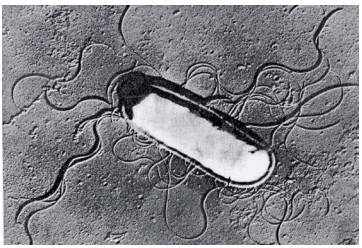


Abb. 2: Vegetative Zelle (A. Krieg, BBA)

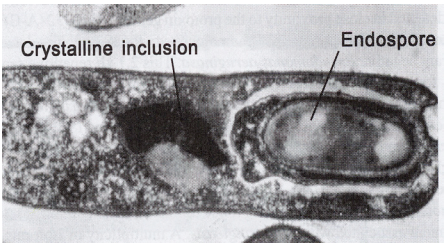


Abb. 3: Sporulierende Zelle (Mycogen Corporat.)

Abb. 4: Aufgeplatztes Sporangium mit Kristallprotein (K), Endospore (S) und Sporenmutterzelle (M) (A. Krieg, BBA)

Kristalltoxin-Formen

- Wenn die Kristallproteine eine toxische Wirkung haben, spricht man auch von Kristalltoxinen.
- Die Kristalltoxine sind stammspezifisch und haben verschiedene Formen [Abb. 5].
- *B.t.* sv. *kurstaki* weist beispielsweise bipyramidale Kristalltoxine auf [Abb. 6].
- Bei *B.t.* v. *tenebrionis* sind die Kristalltoxine plattenförmig und fast quadratisch [Abb. 7a, Abb. 7b].
- *B.t.* sv. *israelensis* bildet irregulär geformte Kristalltoxine.
- Manche Stämme haben auch mehrere Kristalltoxine je Sporangium, die gleichartig oder unterschiedlich aufgebaut sein können.

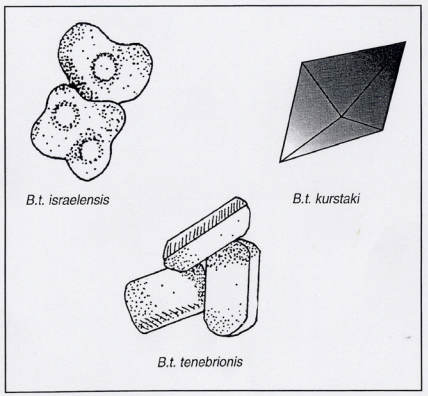
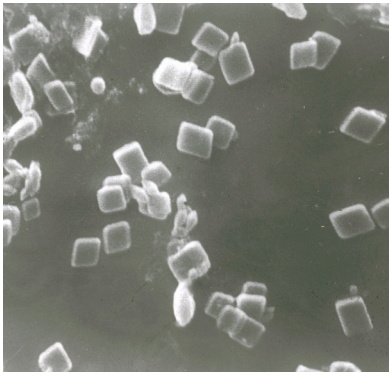


Abb. 5: Kristalltoxinformen (ABBOTT *B.t.* Products Manual)

Abb. 6: Bipyramidales Kristalltoxin (www.glfc.cfs.nrcan.gc.ca/bacillus)



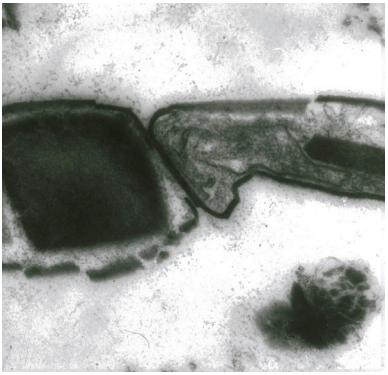


Abb. 7a: Abb. 7b:
Plattenförmige Kristalltoxine von *B.t.* v. *tenebrionis* (A. Huger, BBA)

Aufbau der δ-Endotoxine

- Die δ-Endotoxine bestehen aus drei Teilbereichen, den sog. Domänen [Abb. 8].
- Die Domänen sind für den spezifischen Wirkungsmechanismus verantwortlich.
- Die Domäne I ist für die Porenbildung und die Domäne II für die Rezeptorbindung entscheidend. Die Domäne III bedingt die strukturelle Unversehrtheit und ist zusätzlich an der Porenbildung und Rezeptorbindung beteiligt.

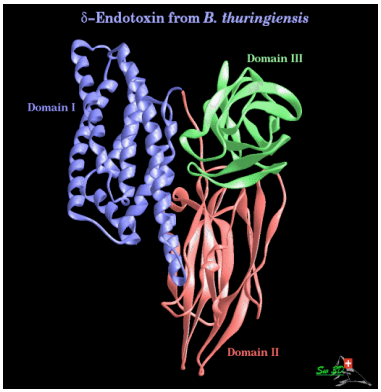


Abb. 8: Aufbau eines δ-Endotoxins (Swissprot; Li *et al.* 1991: Nature 353, 815-821)

Toxine

- Bei der Sporulation (generative Phase) bildet *B.t.* die Endotoxine, die in zwei Familien - die Cry- und die Cyt-Toxine - unterteilt werden.
- Die Bezeichnung „Cry“ leitet sich von „crystal“ (Kristall) und „Cyt“ von der allgemeinen cytolytischen *in vitro* Aktivität dieser in jüngerer Zeit entdeckten Toxine ab, obwohl die Cyt-Toxine *in vivo* Dipteren spezifisch sind.
- Die Cry- und Cyt-Toxine sind unterschiedlich aufgebaut und wirken unterschiedlich, sind aber bei vielen *B.t.*-Stämmen beide an der insektiziden Wirkung beteiligt.
- Bisher sind ca. 400 Cry-Toxine bekannt, die in 52 Klassen eingeteilt werden.
- Bei den Cyt-Toxinen werden zwei Klassen - Cyt 1 und Cyt 2 - unterschieden, die zusammen 26 Toxine umfassen.
- In der Wachstumsphase (vegetative Phase) werden von den vegetativen *B.t.*-Zellen so genannte VIP s (vegetative insecticidal proteins; 54 Toxine in 3 Klassen) und Exotoxine gebildet und an die Umgebung der Zellen abgegeben.
- Während die Endotoxine überwiegend spezifisch gegen bestimmte Insektengruppen wirksam sind, haben die Exotoxine eine unspezifische Wirkung.

Stämme

- Weltweit wird die Anzahl der bekannten *B.t.*-Stämme, d.h. unterschiedliche Isolate, auf etwa 50.000 geschätzt.
- Von den vielen bekannten *B.t.*-Stämmen werden jedoch nur wenige kommerziell genutzt.

Taxonomie

- Die Einteilung der *B.t.*-Stämme erfolgte zunächst nach biochemischen Eigenschaften.
- Später wurde eine Klassifizierung nach den serologischen Unterschieden eingeführt. Danach werden die *B.t.*-

Stämme in 82 serologische Varietäten bzw. Serovare zusammengefasst. Zur serologischen Unterscheidung werden die Geißeln der vegetativen Zellen herangezogen, die aus unterschiedlichen Proteinen aufgebaut sind.

- Im Hinblick auf ihren praktischen Einsatz wurden die *B.t.*-Stämme von KRIEG 1986 nach ihrem Wirtsspektrum in sogenannte Pathotypen eingeteilt. KRIEG unterschied drei Pathotypen mit klar abgrenzbarem Wirtsbereich.
- Der Pathotyp A ist Lepidopteren-spezifisch, der Pathotyp B Dipteren-spezifisch und der Pathotyp C Chrysomeliden-spezifisch [Infobox 1].

Infobox 1:

Taxonomie von *Bacillus thuringiensis*

KRIEG 1986

Einteilung nach Pathotypen
Pathotyp A: Lepidopteren-spezifisch
Pathotyp B: Dipteren-spezifisch
Pathotyp C: Chrysomeliden-spezifisch

HÖFTE & WHITLEY 1989

Einteilung nach Wirkung und Homologie der δ-Endotoxin-Gene (Cry-Gene)

CryI:	Lepidopteren-spezifisch
CryII:	Lepidopteren- und Dipteren-spezifisch
CryIII:	Coleopteren-spezifisch
CryIV:	Dipteren-spezifisch
CryV:	Coleopteren- und Lepidopteren-spezifisch

CRICKMORE *et al.* 1998

Einteilung nach Sequenz-Homologie der Proteine, kein Bezug zum Wirtsspektrum

- Da die serologischen Verwandtschaftsverhältnisse nicht mit den Pathotypen übereinstimmen, führten HÖFTE und WHITLEY 1989 erstmals eine Klassifizierung der *B.t.*-Toxine ein. Zusätzlich zum Wirtsspektrum wurde bei diesem System auch die Homologie der δ-Endotoxin-Gene (Cry-Gene) berücksichtigt, also die Homologie der Nukleotidsequenzen der Gene, die das *B.t.*-Toxin codieren [Infobox 1]. Innerhalb dieser Klassen wurden weitere Toxine unterschieden.
- Aufgrund der Fülle der neu entdeckten *B.t.*-Toxine führten CRICKMORE *et al.* 1998 eine Nomenklatur ein, die allein auf der Sequenz-Homologie der Proteine beruht. Der Bezug zum Wirtsspektrum wurde aufgegeben. Dieses System ist stammbaumartig aufgebaut und berücksichtigt auch die Cyt-Toxine (Link zur Webseite siehe unten).

Einsatz von *B.t.* im Pflanzenschutz - *B.t.*-Präparate

Geschichte

- Das weltweit erste kommerzielle *B.t.*-Präparat hieß Sporeine und kam 1938 in Frankreich auf den Markt.
- In den 1960er Jahren wurden *B.t.*-Präparate erstmals großflächig in der Land- und Forstwirtschaft zur Regulierung von Schadinsekten eingesetzt.
- 1964 wurde in Deutschland Biospor als erstes *B.t.*-Präparat zur Regulierung von Raupen als Pflanzenschutzmittel amtlich anerkannt.
- Der Durchbruch begann 1970 mit der Entdeckung des besonders virulenten Stammes HD-1 von *Bacillus thuringiensis* sv. *kurstaki*.
- Im Jahr 1976 entdeckte MARGALIT einen bedeutenden Stamm, der nach seinem Fundort in der Negev-Wüste in Israel *B.t.* sv. *israelensis* genannt wurde.

- Ein weiterer Stamm der für den praktischen Einsatz große Bedeutung erlangte wurde 1982 von Dr. W. Schnetter von der Universität Heidelberg und Dr. A. Huger vom JKI (ehemals BBA) Institut für Biologischen Pflanzenschutz in Darmstadt entdeckt. Der Name - *B.t.* v. *tenebrionis* - ist vom Mehlkäfer (*Tenebrio molitor*) abgeleitet, weil dieser Stamm aus einer Mehlkäfer-Puppe isoliert wurde.

Wirkungsmechanismus

- Damit die *B.t.*-Präparate ihre toxische Wirkung entfalten können, müssen sie von den Larven durch Fraß aufgenommen werden.
- Das im Kristall vorliegende Toxin stellt ein inaktives Protoxin dar.
- Die Kristalltoxine werden zunächst im Darm pH-abhängig gelöst.
- Da die Toxine Proteine sind, werden sie mittels spezifischer Proteasen gespalten.
- Dadurch wird das inaktive Protoxin in die aktive Toxinform umgewandelt.
- Das aktivierte Toxin bindet an spezifische Rezeptoren der Darmwand.
- Ein Teil des Toxins senkt sich in die Zellmembran.
- Es kommt zur Bildung von Poren, wodurch die Darmwand aufgelöst wird.
- Danach kommt es zum Tod des Insekts, der sich meist schon vorher durch Fraßstopp ankündigt.
- Die Primärwirkung [Infobox 2] beruht also auf den Toxinen (Toxämie). Doch als Folge der Zerstörung des Darmepithels können die auskeimenden Endosporen in die Leibeshöhle eindringen, sich dort vermehren und dabei Stoffwechselgifte produzieren, die eine Septikämie (Blutvergiftung) verursachen, sodass auch sie eine Bedeutung für den pathologischen Prozess im Insekt haben.

Infobox 2:

Wirkungsmechanismus von Cry-Toxinen

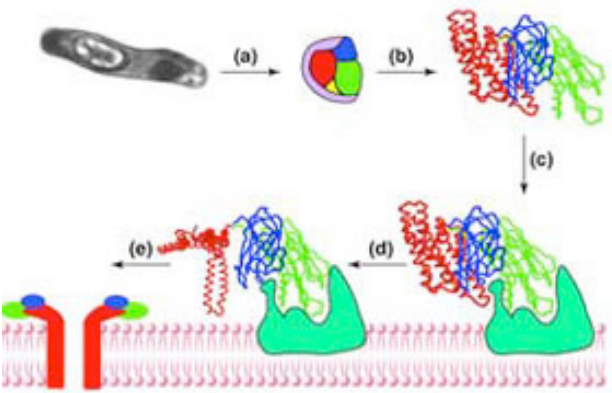


Abb. 9: Wirkungsmechanismus von Cry-Toxinen
(de Maagd et al. 2001, Trends in Genetics 17, 193-199)

(a) Aufnahme der Kristalltoxine mit der Nahrung und pH-abhängige Lösung im Darmsaft des Insekts
(b) Proteolytischer Abbau und Aktivierung der Protoxine
(c) Bindung der aktivierten Toxine an die Rezeptoren der Darmwand
(d) Integration in die Membran
(e) Bildung von Poren und Auflösung des Darmepithels

Spezifität

- Nicht alle *B.t.*-Stämme wirken toxisch gegenüber Insekten.
- Bei den toxischen Stämmen sind ca. 170 natürlich vorkommende *B.t.*-Toxine mit unterschiedlichem Wirkungsspektrum bekannt.
- Der Wirkungsmechanismus folgt dabei stets dem beschriebenen Grundprinzip und ist im Einzelfall von den

artspezifischen Gegebenheiten im Darm der jeweiligen Insekten abhängig.

- Die spezifische Wirkung basiert also auf einem Zusammenspiel aus applizierten Kristalltoxinen, pH-Wert und Proteasen des Darmsaftes sowie Rezeptoren der Darmwand.
- Nur wenn im Zielorganismus die spezifischen Bedingungen zusammen kommen, können die Toxinkristalle schädigend wirken.
- Die "*Bacillus thuringiensis* Toxin Specificity Database" ist eine umfangreiche Datensammlung zur Wirksamkeit von *Bacillus thuringiensis*, wobei nach Biotests mit verschiedenen Zielorganismen oder Toxingenen gesucht werden kann (Link zur Webseite siehe unten).

Wirkungsspektrum

- Die toxische Wirkung von *B.t.* beschränkt sich bislang auf Lepidopteren-, Dipteren- oder Coleopteren-Larven [Infobox 3].
- Die meisten *B.t.*-Stämme wirken gegen Raupen bestimmter Lepidopteren-Arten. Mehr als 75 Arten von Schadraupen wurden bereits mit Erfolg mit *B.t.* bekämpft.
- Die *B.t.*-Stämme mit Lepidopteren-spezifischer Wirksamkeit werden zum Pathotyp A zusammengefasst, wobei im Wesentlichen zwei Varietäten eine Rolle spielen.
- *B.t.* sv. *kurstaki* - abgekürzt *B.t.k.* - wirkt gegen Raupen bestimmter Schmetterlingsarten, aber nicht gegen Noctuidae, also Eulen-Raupen.
- *B.t.* sv. *aizawai* - abgekürzt *B.t.a.* - wirkt ebenfalls gegen Raupen bestimmter Schmetterlingsarten einschließlich der Eulen-Raupen.
- Der Pathotyp B umfasst Stämme, die gegen Larven einer Reihe von Dipteren wie Mosquitos (Stechmücken) und Nematoceren (Mücken) wirksam sind. Die kommerziellen Stämme gehören zu *B.t.* sv. *israelensis* - abgekürzt *B.t.i.*.

- Der Pathotyp C ist durch die Wirkung auf Blattkäfer (*Chrysomelidae*) definiert und umfasst Stämme von *B.t.* v. *tenebrionis* - abgekürzt *B.t.t.*.

Infobox 3:

Wirkungsspektrum

Pathotyp A

B.t. sv. *kurstaki (B.t.k.)* gegen Larven bestimmter Lepidopteren, nicht gegen *Noctuidae* (Eulen)

B.t. sv. *aizawai (B.t.a.)* gegen Larven bestimmter Lepidopteren, auch gegen *Noctuidae* (Eulen)

Pathotyp B

B.t. sv. *israelensis (B.t.i.)* gegen Larven von Dipteren (u.a. Mosquitos, Stechmücken)

Pathotyp C

B.t. v. *tenebrionis (B.t.t.)* gegen Larven von Chrysomeliden (Blattkäfer)

Handelsprodukte

- Weltweit entfallen 80% des *B.t.*-Marktes auf den Pathotyp A, 15% auf den Pathotyp B und nur 5% auf den Pathotyp C [Infobox 4].
- Bei den *B.t.*-Präparaten vom Pathotyp A sind bei *B.t.* sv. kurstaki (*B.t.k.*) insbesondere Dipel und Dipel ES von Bedeutung. Und bei *B.t.* sv. *aizawai* (*B.t.a.*) spielen vor allem Turex und XenTari, aber auch Raupenfrei und B 401 eine Rolle.

Infobox 4:

Bedeutende *B.t.*-Präparate in Deutschland

***B.t.*-Präparate vom Pathotyp A**	
B.t. sv. *kurstaki (B.t.k.)*	Dipel, Dipel ES
B.t. sv. *aizawai (B.t.a.)*	Turex, XenTari, Raupenfrei, B 401
***B.t.*-Präparate vom Pathotyp B**	
B.t. sv. *israelensis (B.t.i.)*	Biomükk, Culinex, Neudomück
***B.t.*-Präparate vom Pathotyp C**	
B.t. v. *tenebrionis (B.t.t.)*	Novodor FC

- Die Dipel-Präparate zählen zu den ältesten und bekanntesten *B.t.*-Produkten. Das Spritzpulver Dipel wurde bereits 1972 in Deutschland zugelassen. In den letzten Jahren wurde es durch die Flüssigformulierung Dipel ES ersetzt.
- Der Name Dipel ist von der Ordnung >lepiDoptera< abgeleitet, gegen die es eingesetzt wird - die ersten fünf Buchstaben rückwärts gelesen ergeben Dipel.
- Turex, XenTari und Raupenfrei zeichnen sich - im Gegensatz zu den Dipel-Präparaten - durch eine bessere Wirksamkeit gegen Eulen-Raupen aus.
- Ferner gibt es ein spezielles Präparat - B 401 - das von Imkern zur Regulierung von Raupen der Großen Wachsmotte in Bienenstöcken auf die Waben gesprüht wird.

- *B.t.* sv. *israelensis* (*B.t.i.*) wurde in Deutschland durch Großeinsätze zur umweltfreundlichen Regulierung von Stechmücken-Larven am Ober-Rhein bekannt.
- Als Präparate auf der Basis von *B.t.i.* mit Wirksamkeit gegenüber Dipteren-Larven sind Biomükk, Culinex und Neudomück zu nennen.
- Auf der Basis von *B.t.t.* ist in Deutschland nur das Präparat Novodor FC zur Regulierung des Kartoffelkäfers zugelassen.
- Die im Handel erhältlichen *B.t.*-Präparate enthalten als Hauptkomponenten Endotoxinkristalle und Sporen. Eine Ausnahme bilden die Präparate auf der Basis von *B.t.i.*, bei denen die Sporen nicht an der Wirkung beteiligt sind.
- Neben den aktiven Bestandteilen sind Trägerstoffe sowie Netzmittel, Haftmittel und gegebenenfalls weitere Zusätze wie beispielsweise Fraß steigernde Stoffe enthalten.

Anwendung

- *B.t.*-Präparate sind in Deutschland in Genossenschaften und Gartenbedarfsgeschäften erhältlich.
- Sie werden als Flüssigformulierungen oder in Pulverform angeboten.
- Zur Anwendung im Freiland werden die *B.t.*-Präparate in Wasser suspendiert und in Form einer Spritzbrühe mit den üblichen Pflanzenschutzgeräten ausgebracht.
- Um einen guten Behandlungserfolg zu erzielen, sollten die Temperaturen nach der Ausbringung bei 20-25°C liegen, weil bei niedrigeren Temperaturen die Fraßleistung der Larven und damit einhergehend die Aufnahme des *B.t.*-Präparates stark abnimmt.
- Der Wirkungsgrad liegt bei sachgerechter Anwendung in vielen Fällen bei 70-90%.
- *B.t.*-Präparate können nur wirksam werden, wenn sie von den Schadinsekten beim Fraß aufgenommen werden.

- Daher hängt der Behandlungserfolg entscheidend davon ab, dass die Präparate am Fraßort abgelagert werden.
- Vor allem offen fressende Larven sind im jungen Stadium mit den Präparaten gut erreichbar. Bei versteckt fressenden Arten hängt der Behandlungserfolg von der Präparatmenge ab, die am Fraßort vorhanden ist.
- *B.t.*-Präparate wirken innerhalb einer Schädlingsart je nach Körpergewicht dosisabhängig. Daher sind sie besonders gegen junge Larven wirksam, während ältere Larven mit zunehmendem Gewicht widerstandsfähiger werden.
- Obwohl der Tod empfindlicher Insekten erst mehrere Tage nach der Aufnahme des Toxins eintritt, ist eine sofortige Wirkung vorhanden, weil die Larven schon nach wenigen Stunden den Fraß einstellen.

Stabilität

- Die *B.t.*-Präparate werden rasch durch UV-Strahlen inaktiviert.
- Hinsichtlich der Strahlenempfindlichkeit von *B.t.*-Präparaten muss zwischen Spore und Toxin differenziert werden. Die Spore ist UV-empfindlich und verträgt eine Bestrahlung durch direktes Sonnenlicht nicht länger als 1 Stunde. Demgegenüber ist das Toxinkristall UV-stabil.
- Im Hinblick auf die Stabilität nach der Ausbringung sind eine gute Benetzung bevorzugt an der Blattunterseite und eine gute Durchdringung des Bestandes wichtig.

Produktion

- *B.t.* eignet sich hervorragend zur biotechnologischen Produktion, wobei die industrielle Produktion als Submerskultur in gut belüfteten Fermentern mit Nährmedien bei einer Temperatur von 25-30°C erfolgt.

- Die Dauersporen und parasporalen Kristalle bilden sich nur bei Nährstoffmangel und in Anwesenheit von Sauerstoff.
- Der Anteil an aktiven Bestandteilen - Sporen und Kristallen - beträgt nur ca. 5 % des Fermenter Inhalts. Sie werden durch Zentrifugation vom Kulturmedium abgetrennt und gewaschen. Um eine Lagerung bis zum Gebrauch zu gewährleisten wird die verbleibende Biomasse getrocknet.
- Wenn die *B.t.*-Präparate keine oder nur sehr wenige lebende Sporen - wie beispielsweise bei Präparaten auf der Basis von *B.t.i.* - enthalten sollen, dann werden sie Gamma-bestrahlt, wodurch die Sporen inaktiviert, die Toxinkristalle aber erhalten bleiben.

Bedeutung

- Der besondere Vorteil von *B.t.*-Präparaten ist ihre selektive Wirkung, die einen gezielten Einsatz ermöglicht. Im Gegensatz zu breit wirkenden chemischen Insektiziden bleiben so die Nichtzielorganismen, die Nützlinge und der Mensch verschont.
- Bei standardisierter Herstellung und fachgerechter Anwendung ist das Risiko für Mensch und Umwelt äußerst gering. *B.t.* zählt daher zu den sichersten Insektiziden überhaupt.
- In Deutschland werden *B.t.*-Präparate seit über 40 Jahren eingesetzt. Ihr Einsatz erfolgt bislang vor allem im ökologischen Landbau.
- Weltweit betrachtet nehmen *B.t*-Präparate mittlerweile ca. 1% des Marktes für Agrarchemikalien und 90% des Marktes für biologische Insektizide ein.

B.t. in der Grünen Gentechnik (*B.t.*-Pflanzen)

Grundlagen

- Wegen der hohen Selektivität der *B.t.*-Toxine gegenüber bestimmten Schadinsekten wurden die kodierenden Gene aus *Bacillus thuringiensis* mit Hilfe gentechnischer Methoden in Kulturpflanzen übertragen.
- Die so entstandenen *B.t.*-Pflanzen produzieren ihre Insektizide selbst und wehren damit ihre Fraßfeinde ab.
- Bei den *B.t.*-Pflanzen handelt es sich also um insektenresistente Pflanzen.
- Die aktiven Toxine aus *B.t.*-Pflanzen und *B.t.*-Präparaten sind in ihrer Wirkung vergleichbar. Unterschiedlich ist, dass die in die Pflanzen eingeführten *B.t.*-Gene verkürzt und an die Pflanzen angepasst werden. Außerdem liegt das Protein in *B.t.*-Pflanzen nicht als Kristall, sondern in gelöster Form vor.
- Während die Toxine bei den *B.t.*-Präparaten aufgrund von Umwelteinflüssen nur kurze Zeit aktiv sind, sind sie bei den *B.t.*-Pflanzen - in Abhängigkeit von der jeweiligen Exprimierung - während der gesamten Vegetationszeit wirksam.
- Bei einer Vielzahl von Pflanzenarten wird daran gearbeitet, durch Übertragung von *B.t.*-Toxin-Genen Resistenzen gegen verschiedene Fraßinsekten zu erzeugen. Zurzeit sind hier insbesondere Mais, Baumwolle und Kartoffeln zu nennen [Infobox 5].

Bedeutung

- Die ersten gentechnisch veränderten Pflanzen (gv-Pflanzen) wurden 1996 in den USA ausgesät.
- Unter den gv-Pflanzen nehmen die *B.t.*-Pflanzen den größten Anteil ein.

Infobox 5:

Bedeutende *B.t.*-Pflanzen

Pflanzenart	Zielorganismus	*B.t.*-Toxin
B.t.-Mais	Maiszünsler	Cry1Ab
B.t.-Mais	Maiswurzelbohrer	Cry3Bb1
B.t.-Mais	Maiswurzelbohrer	Cry34Ab1/ Cry35Ab1
B.t.-Baumwolle	Baumwollkapselwurm	Cry1Ac
B.t.-Kartoffel	Kartoffelkäfer	Cry3A

Links

- *Bacillus thuringiensis* Toxin Nomenclature
  http://www.lifesci.sussex.ac.uk/Home/Neil_Crickmore/Bt
- *Bacillus thuringiensis* Toxin Specificity Database
  http://www.glfc.cfs.nrcan.gc.ca/bacillus
- Bacillus Genetic Stock Center (BGSC)
  http://www.bgsc.org/
- COST action 862: Bacterial Toxins for Insect Control
  http://www.lifesci.susx.ac.uk/home/Neil_Crickmore/cost862/cost862.html
- Informationen über *B.t.*-Pflanzen und rund um GVO´s
  http://www.biosicherheit.de und http://www.transgen.de

Impressum

Bacillus thuringiensis.
Grundlagen und Einsatz im biologischen und integrierten Pflanzenschutz

© 2012 Dr. Renate Kaiser-Alexnat

Im Rahmen ihrer langjährigen Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin des Instituts für Biologischen Pflanzenschutz des Julius Kühn-Instituts, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen hielt die Autorin anlässlich der gemeinsamen Lehrveranstaltung „Biologischer und Integrierter Pflanzenschutz“ mit dem Fachbereich Biologie der Technischen Universität Darmstadt in den Jahren 2008 und 2009 je eine Vorlesung über „*Bacillus thuringiensis*“. Die Inhalte dieser Vorlesungen wurden in Form der vorliegenden Broschüre aufgearbeitet.

Als Informationsgrundlage für die Broschüre diente das Kapitel „Bakterienpräparate“ von G.-A. Langenbruch, B. Hommel und N. Becker (S. 29 - 86) in dem 2005 von H. Schmutterer und J. Huber im Ulmer Verlag herausgegebenen Buch „Natürliche Schädlingsbekämpfungsmittel“.

Inhalt und Gestaltung
Dr. Renate Kaiser-Alexnat
Stadtring 71
D-64720 Michelstadt
E-Mail: info@dyeplants.de
Home: www.dyeplants.de

Druck und Verlag
epubli GmbH
Oranienstrasse 183
D-10999 Berlin
E-Mail: kontakt@epubli.de
Home: www.epubli.de

Der Verlag stellt eine Webseite mit **Autorenprofil** bereit, über die man zu den Publikationen der Autorin bei der epubli GmbH - mit ausführlichen Beschreibungen und Vorschau - gelangt:
http://www.epubli.de/shop/autor/Renate-Kaiser-Alexnat/3639