

Bacillus thuringiensis : een overzicht

Lonne J.M. Gerritsen

Plant Research International B.V., Wageningen
december 2003

Nota 277

© 2003 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Dit onderzoek werd gefinancierd door het LNV programma 397-IV "Geïntegreerde en biologische beheersstrategieën".

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : postkamer.pri@wur.nl
Internet : <http://www.plant-wur.nl>

Inhoudsopgave

	pagina
Wat is Bt?	1
Werkingsmechanisme	1
Specificiteit	2
Indeling in subspecies	2
Indeling in cry genen	2
Resistentie	3
Resistentie voorkómen	4
Veiligheid	4
Effect van Bt op de mens	4
Effect van Bt op non-target organismen	5
Toepassing van Bt	5
Bt in Nederland	6
Mogelijkheden voor de toekomst	6
Referenties	7
Bijlage I. Bestrijdingsmiddelen gebaseerd op Bt.	11
A) Bt producten met een toelating in Nederland:	11
B) Bt producten in het buitenland:	13
Bijlage II. Mogelijkheden om plagen in Nederland met Bt te bestrijden	17

Wat is Bt?

Bt of BT is de afkorting die gebruikt wordt voor de bacterie *Bacillus thuringiensis* Berliner. Dit is een staafvormige (1,0-1,2 bij 3-5 μm), gram-positieve, facultatief anaëroobe, sporenvormende bacterie. Bt is een facultatief pathogeen van verschillende insectensoorten dat vaak gebruikt wordt als biologisch insecticide. Meer dan 150 insectensoorten die horen tot de ordes Lepidoptera (motten en vlinders), Diptera (muggen en vliegen), Coleoptera (kevers) en Hymenoptera (mieren) zijn gevoelig voor Bt. De insecticidewerking van Bt werd voor het eerst ontdekt in 1911 en in 1930 kwamen de eerste producten op basis van Bt op de markt. Vandaag de dag is Bt het meest succesvolle commerciële microbiële insecticide dat ongeveer 90% van de biopesticidemarkt inneemt.

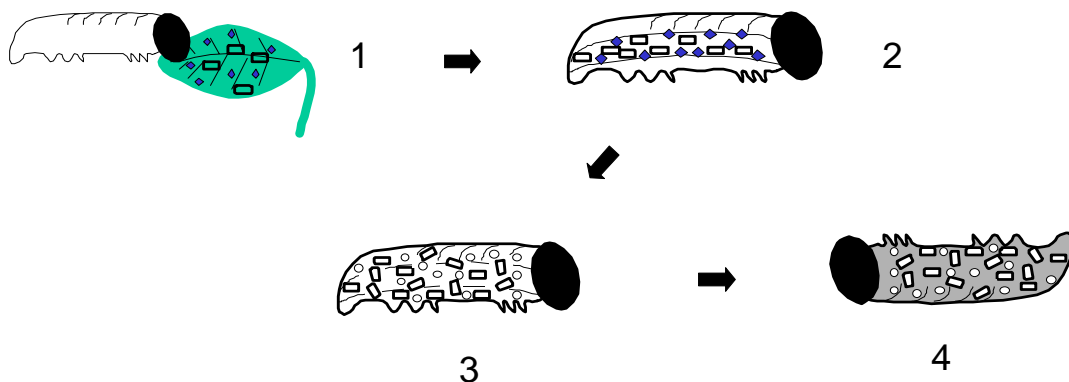
Werkingsmechanisme

Bt maakt toxische kristallen die de basis vormen voor het biologische bestrijdingsmiddel. Na een vegetatieve groei waarin geen kristallen gemaakt worden gaan Bt cellen sporen vormen. De bacterie kan in sporenvorm overleven. Tegelijkertijd met de sporen worden er ook kristallen gevormd.

De kristallen bestaan uit één of meer insecticide eiwitten: δ -endotoxines of Cry-eiwitten genoemd. De kristaleiwitten lossen pas op bij een hoge pH (boven pH 9,5), zoals heerst in de darm van de meeste insecten. De darm van een gevoelig insect bevat de juiste pH en enzymen om de kristallen om te zetten in een actief toxine. Het toxine bindt dan aan een receptor in de darmwand van het insect. Binnen enkele uren ontstaan er gaten in de darmwand en stopt de spijsvertering. Hierdoor stopt het insect met eten. De Bt sporen kiemen en gaan, samen met andere darmbacteriën, door gaten in de darm het lichaam van het insect binnen, waar ze zich vermenigvuldigen. Het insect gaat na enkele uren tot enkele dagen dood door verhongering en door bacteriële infectie (figuur 1).

Voor sommige Bt stammen zijn de kristallen op zich al voldoende om het insect te doden (Bt-israelensis), terwijl bij andere stammen (Bt-kurstaki) de werking sterk verbeterd wordt als ook de sporen worden opgegeten (synergistische werking). Ook combinaties van Cry-eiwitten in een Bt stam kunnen een synergistisch effect hebben.

Om effectief te zijn moet Bt door de larven worden opgegeten. Bt is niet werkzaam tegen volwassen vlinders, muggen of vliegen, alleen tegen de larven. De kleinste larvale stadia zijn gevoeliger dan de grotere. Van enkele keversoorten zijn zowel de larven als de volwassen kevers gevoelig voor Bt. Alleen insecten met in de darm de juiste pH, enzymen en receptoren zijn gevoelig en worden gedood.



Figuur 1. Effect van Bacillus thuringiensis (Bt) op rupsen. 1: rups eet blad met Bt kristallen en Bt sporen. 2: de Bt kristallen worden omgezet in toxines die aan de darmwand binden en deze perforeren, de rups stopt met eten 3: Bt sporen kiemen en dringen samen met darmbacteriën door de gaten in de darm de rups binnen. 4: binnen enkele uren tot dagen is de rups dood.

Specificiteit

Om een insect te doden moeten Bt kristallen eerst oplossen bij de juiste pH. Vervolgens moeten de opgeloste kristallen m.b.v. enzymen worden omgezet in een actief toxine. Tenslotte moet het toxine binden aan een passende receptor in de darmwand waardoor er gaten in de darmwand ontstaan. Alleen insecten met in de darm de juiste pH, enzymen en receptoren zijn gevoelig en worden gedood, maar dan nog alleen door een Bt stam met de juiste Cry-eiwitten. Hierdoor is Bt zo specifiek. Zo bevat Bt *subsp. israelensis* Cry-eiwitten die alleen passen bij de receptoren in muggen- en vliegenlarven en lossen de kristallen alleen op in een darm met een pH 11 of hoger die in muggen- en vliegenlarven te vinden is. Daardoor is Bt *subsp. israelensis* alleen werkzaam in muggen- en vliegenlarven.

De specificiteit van Bt zorgt er ook voor dat Bt onschadelijk is voor mensen en andere zoogdieren maar ook voor mijten en nuttige insecten zoals b.v. bijen en sluipwespen, die voor geen van de commerciële Bt stammen gevoelig zijn.

Om wat meer duidelijkheid over de specificiteit te krijgen zal de indeling in subspecies (ondersoorten) en cry genen behandeld worden.

Indeling in subspecies

De subspecies worden onderscheiden op serologische verschillen tussen de flagellen van de bacteriën en enkele morfologische en biochemische verschillen.

Er zijn inmiddels bijna 70 subspecies onderscheiden. Van enkele subspecies is nog niet bekend tegen welk insect ze werkzaam zijn (Höfte & Whiteley, 1989; Schnepf *et al.*, 1998). De subspecies die het meest gebruikt worden als biologisch bestrijdingsmiddel zijn:

Bt *subsp. kurstaki* (Btk) – gebruikt tegen lepidoptere insecten (rupsen)

Bt *subsp. aizawai* (Bta) – gebruikt tegen lepidoptere insecten (rupsen)

Bt *subsp. tenebrionis* (Btt) – gebruikt tegen kevers (chrysomelidae)

Bt *subsp. japonensis* (Btj) – gebruikt tegen kevers (scarabaeidae)

Bt *subsp. morrisoni* (Btm) – gebruikt tegen kevers

Bt *subsp. israelensis* (Bti) – gebruikt tegen diptere insecten (muggen en vliegjes)

Indeling in cry genen

Welke soort insect een Bt stam kan doden is afhankelijk van welke Cry-eiwitten deze stam bevat. Iedere stam produceert één of meerdere Cry-eiwitten. De meeste Cry-eiwitten zijn werkzaam binnen één insectenorde maar enkele hebben een breder spectrum: zo is Cry1Ba effectief in zowel rupsen, vliegen als kevers (Zhong *et al.*, 2000).

De genen die coderen voor de Cry-eiwitten liggen op plasmiden: cirkelvormige stukken DNA die los in de cel voorkomen. Bacteriën kunnen door conjugatie deze plasmiden aan elkaar doorgeven. Hierdoor zijn er in de loop der tijd bacteriestammen ontstaan die ieder een verschillende combinatie van Cry-eiwitten kunnen maken (Koziel *et al.* 1993). De ene Bt-kurstaki stam kan dus andere kristaleiwitten maken dan de andere. De combinatie van kristaleiwitten in een Bt stam bepaald tegen welke insecten deze stam werkzaam is. In de natuur komen niet alle combinaties van Cry-eiwitten voor. Door gerichte conjugaties te induceren is er een aantal nieuwe stammen gecreëerd, zoals b.v. het bestrijdingsmiddel Agree van Certis een Bt-aizawai is waaraan cry1Ac uit Bt-kurstaki is toegevoegd.

De cry genen worden onderscheiden op hun nucleotide sequenties (Crickmore *et al.*, 1998). Ze hebben een code bestaande uit een cijfer (grote verschillen in nucleotide sequentie), een hoofdletter (minder verschillen) en een kleine letter (kleine verschillen). Tabel 1 laat van een aantal Cry-eiwit groepen zien, in welke Bt subspecies ze voorkomen en tegen welke insecten ze werkzaam zijn.

De kleinere verschillen in sequenties (aangeduid met letters) veroorzaken verschillen in de Cry-eiwitten op een ander niveau. Zo binden Cry1A en Cry1C aan andere receptor-eiwitten. Wanneer een insect

resistent wordt tegen Cry1A door de Cry1A receptor te veranderen kan dit insect nog wel worden gedood door een stam met Cry1C eiwitten (zie ook deel resistentie).

Er zijn inmiddels meer dan 120 verschillende genen, onderverdeeld in 31 groepen (cry1 tot cry31). Een aantal van deze genen komt echter niet uit Bt (Crickmore *et al.*, 1998; de Maagd *et al.*, 2001; de Maagd *et al.*, 2003). Cry1 is de grootste groep met 66 genen (Cr1Aa t/m Cry1Ka).

De specificiteit van Bt producten is afhankelijk van welke Cry-eiwitten ze bevatten. Zo zijn *Spodoptera* soorten gevoeliger voor Cry1C dan voor Cry1A en dus gevoeliger voor Bta dan Btk (de Maagd *et al.*, 2000). Omdat bij de meeste producten op basis van Bt niet wordt vermeld welke Cry-eiwitten ze bevatten, is het niet goed mogelijk de specificiteit van ieder product te bepalen.

Tabel 1. Cry-eiwitten.

Cry-eiwitten	Bt subspecies waarin de eiwitten voorkomen	insecten waar tegen de eiwitten werkzaam zijn
Cry1, Cry2, Cry 9	Bt-kurstaki, Bt-aizawai, Bt-sotto	rupsen
Cry2	Bt-kurstaki	rupsen + muggen
Cry3, Cry7, Cry8, Cry14	Bt-japonensis, Bt-morisoni, Bt-tenebrionis	kevers
Cry4, Cry10, Cry11	Bt-israelensis	muggen + vliegjes

Resistentie

In het veld is alleen Bt resistentie gevonden bij de koolmot, *Plutella xylostella* (Shelton *et al.*, 1993; Tabashnik, 1994). In lab-toetsen zijn bij verschillende insectensoorten resistentie tegen Bt gevonden o.a.: *Ostrinia nubilalis*, *Leptinotarsa decemlineata*, *Choristoneura fumiferana*, *Chrysomela scripta*, *Culex quinquefasciatus*, *Heliothis virescens*, *Lymantria dispar*, *Plodia interpunctella*, *Spodoptera exigua* en *S. littoralis*, *Trichoplusia ni* (Van Rie & Ferré, 2000). Dit wil niet zeggen dat bij deze insecten ook in het veld resistentie zal optreden maar het betekent wel dat binnen deze soorten de mogelijkheid tot resistentie-ontwikkeling aanwezig is, in ieder geval in de getoetste populaties.

Resistentie ontstaat pas onder hoge selectie-druk, d.w.z. heel intensief spuiten met Bt, over een lange periode (tientallen jaren). In het lab kan een resistentie-ratio (LD50 van resistente stam/LD50 van vatbare stam) van meer dan 1500 gevonden worden (Van Rie en Ferré, 2000).

Op één geval na worden alle resistenties veroorzaakt door veranderingen in de binding site, de receptor, in de darm van het insect (Van Rie en Ferré, 2000). Bij een resistente stam van *P. interpunctella*, geselecteerd met Btk (product Dipel), bleek dat een groot deel van de receptoren voor Cry1A was omgezet in receptoren voor Cry1C. De Btk stam in Dipel bevat verschillende Cry-eiwitten maar geen Cry1C. De resistentie is dus veroorzaakt doordat geen van de Cry-eiwitten in Dipel nog kan binden aan de receptoren in de resistente insecten. Doordat een aantal andere Cry-eiwitten (Cry1A, 1F, 1J) aan dezelfde receptoren binden zijn de insecten ook resistent voor deze Cry-eiwitten (Van Rie en Ferré, 2000; Tang *et al.*, 1995). Maar omdat er nu meer receptoren zijn voor Cry1C, zijn de resistente insecten gevoeliger geworden voor Bt stammen die Cry1C bevatten, zoals Bt-aizawai.

Ook bij veldresistenties van *Plutella xylostella*, na intensief spuiten met producten op basis van Btk, was het mogelijk om de insecten effectief te bestrijden met een product op basis van Bta, b.v. Xentari (Tang *et al.*, 1995).

Deze vorm van resistentie is reversibel. Door een tijd lang geen Bt meer te spuiten (4 generaties) bleek de resistentie sterk te verminderen. Echter, na spuiten met Bta bleek de resistentie tegen Btk niet te verminderen. Dit komt doordat Bta ook Cry1A bevat, waardoor de resistentie aanwezig blijft. Als werd gespoten met puur Cry1C dan nam de resistentie tegen Cry1A wel af (Tang *et al.*, 1995).

Doordat na resistentie van *P. xylostella* tegen Btk intensief is gespoten met Bta, is er nu ook veld resistentie tegen Bta ontstaan (Cao *et al.*, 1999; Liu & Tabashnik, 1997).

Resistentie voorkómen

Hoe kun je nu voorkómen dat er resistentie tegen Bt ontstaat? De belangrijkste regel is: voorkom intensief gebruik over een lange periode. Eigenlijk gelden voor Bt dezelfde regels als voor chemische bestrijdingsmiddelen: reduceer het aantal bespuitingen en het areaal van toepassing, voorkom excessief hoge doses, voorkom persistentie en residuen, integreer met andere bestrijdingstactieken, wees voorzichtig met mengsels, ontwerp goede rotatieschema's d.w.z. geen mozaïek, altijd roteren tussen verschillende generaties van het insect.

In een rotatie schema is het mogelijk om verschillende Bt stammen af te wisselen. Daarbij moet er wel voor gezorgd worden dat de verschillende stammen ook echt verschillende Cry-eiwitten bevatten. Het afwisselen van Btk en Bta is dus niet mogelijk omdat dan de selectie voor Cry1A eiwitten gehandhaafd blijft. Afwisselen van Btk met een middel dat alleen Cry1C bevat kan wel, b.v. M/C van Mycogen (niet toegelaten in Nederland).

Veiligheid

Effect van Bt op de mens

Bt komt van nature over de hele wereld voor. Bt is aangetroffen in grond, op blad en ander plantmateriaal, in insecten en in voedsel zoals pasta, meel en kruiden (Damgaard, 2000). De mens komt dus regelmatig in contact met Bt, zonder problemen. Het feit dat Bt al sinds 1930 als bestrijdingsmiddel in gebruik is zonder spraakmakende gevolgen voor de gebruikers geeft al aan dat Bt een veilig middel is. Verschillende overzichtsartikelen benadrukken de veiligheid van Bt (Damgaard, 2000; Siegel, 2001; Lacey & Siegel, 2000).

Er zijn drie gevallen bekend waarbij mensen geïnfecteerd werden met Bt (Lacey & Siegel, 2000). In het eerste geval werd een boer per ongeluk in het gezicht gespoten met een commercieel Btk product. Uit zijn ontstoken oog kon Bt geïsoleerd worden. In het tweede geval stak een laborant zichzelf met een naald waarmee Bti en *Acinetobacter calcoaceticus* var *anitratu*s geresuspendeerd waren. In het laatste geval kon Bt subsp. *konkukian* geïsoleerd worden uit een beenwond van een soldaat die op een landmijn was gaan staan. In de eerste twee gevallen is het niet zeker dat de infectie door Bt werd veroorzaakt. Het kan heel goed zijn dat de Bt sporen achtergebleven zijn in de wond terwijl een andere bacterie de infectie veroorzaakte.

Sinds kort wordt er onderzoek gedaan naar mogelijke allergische reacties op Bt pesticiden (Berstein *et al.*, 1999; Petrie *et al.*, 2003) en Bt transgene gewassen (Berstein *et al.*, 2003; Bucchini & Goldman, 2002). In Nieuw Zeeland werd Btk gespoten m.b.v. vliegtuigen over een gebied waar ook buitenwijken van Auckland in vielen. Hier is in 1996 en in 2001-2002 onderzoek gedaan naar de gevolgen voor de volksgezondheid (Petrie *et al.*, 2003). In 1996 werden tot twee jaar na het spuiten artsbezoeken gevolgd en hieruit werd geen negatief effect van de Bt bespuiting gevonden. In 2001 werd via een vragenlijst, zowel voor als na bespuiting, gekeken naar veranderingen in de gezondheid van mensen in de bespoten buitenwijken. Hieruit bleek dat men in de periode na de bespuitingen meer last had van geïrriteerde luchtwegen, slaap- en concentratie problemen en darmproblemen vergeleken met de periode voor de bespuiting. Mensen met astma of allergieën ondervonden geen verergering van hun conditie, mensen met hooikoorts wel. Het is echter niet duidelijk of deze problemen ook werkelijk door Bt worden veroorzaakt. De onderzoekers geven aan dat slaap- en concentratie problemen ook veroorzaakt kunnen zijn door de laag overvliegende spuitvliegtuigen vroeg in de ochtend en de angst voor het spuiten zelf. De toegenomen problemen met de luchtwegen kunnen ook het gevolg zijn van het 'hooikoorts

seizoen' dat tegelijk met de bespuitingen viel. Van de ondervraagde mensen antwoordde het merendeel dat ze geen negatief effect hadden ondervonden van de bespuitingen (Petrie *et al.*, 2003).

Bernstein *et al.* (1999) hebben een onderzoek gedaan bij arbeiders die met Bt bespoten groenten plukken. Van de drie groepen met hoge, middelmatige en lage blootstelling aan Bt bleek de groep met hoge blootstelling significant meer IgG en IgE antilichamen tegen Bt in hun bloed te hebben en verhoogd te reageren op een huidtest. Echter, in de groep met hoge blootstelling kwamen niet meer gevallen van astma of andere beroepsgerelateerde ziekten voor dan in de andere twee groepen. Ook in onderzoek naar genetisch gemodificeerde gewassen met een Bt eiwit konden geen allergische reacties worden aangetoond (Bernstein, 2003).

Effect van Bt op non-target organismen

Er is veel onderzoek gedaan naar het effect van Bt op non-target organismen (NTO). Het grootste deel van de NTO ondervindt geen direct effect van de commerciële producten. Btk en Bta hebben geen effect op predatoren (Cloutier & Jean, 1998; Hough-Goldstein & Keil, 1991) of op insecten in aquatische habitats (Eidt, 1985). Wel kan Btk non-target rupsen doden zoals b.v. van vlinders in bossen. Door drift kan tot 3km in de omtrek van een bespoten veld nog doding gevonden worden (Whaley *et al.*, 1998).

Er is minder onderzoek gedaan naar het effect van Bt tegen kevers (Btt) op NTO, maar er zijn geen negatieve effecten gevonden. Btt heeft geen effect op de predator *Perillus bioculatus* of op predatore Hemiptera. Btt vertraagt wel de ontwikkeling van *Coleomegilla maculata* maar is niet dodelijk voor deze predator (Giroux *et al.*, 1994).

Bti doodt wel insecten in verwante families in de sub-orde Nematocera (chironomiden, tipuliden, blepharoceriden) maar geen andere insecten (Lacey & Siegel, 2000).

Indirect kan Bt wel effect hebben op NTO. Zo komen parasitoiden in de problemen als het insect dood gaat voordat de larve zich volledig ontwikkeld heeft in het insect (Brooks, 1993). Ei-parasieten als *Trichogramma* hebben geen last van Bt omdat Bt geen effect heeft op het ei. Of predatoren indirect effect ondervinden van het doden van hun prooi door Bt hangt af van hun specificiteit en de aanwezigheid van alternatieve prooien. Sommige predatoren eten net zo goed van dode prooi als van levende dus zij ondervinden geen last.

Toepassing van Bt

Hoe goed Bt werkt na toepassing in het veld is afhankelijk van verschillende factoren zoals (1) larvale stadium van het insect, (2) voedingsgedrag van het insect, (3) tijdstip van toepassing, (4) formulering en (5) covering van het areaal (Navon, 2000).

Voor de meeste insectensoorten is het eerste larvale stadium het meest gevoelig. Dit stadium heeft voldoende aan een kleine hoeveelheid Bt om voedingsarrest te geven. Dit heeft twee voordelen: er wordt maar weinig van de plant gegeten dus de schade blijft beperkt en de opname van Bt vindt in korte tijd plaats, vóórdat Bt is afgebroken door UV of weggespoeld door regen.

Ook het voedingsgedrag is van belang omdat het insect voldoende Bt binnen moet krijgen. Voor blad etende insecten is dit geen probleem maar bollwormen, boorders en insecten die ondergrondse plantendelen eten komen vaak te weinig in contact met bespoten plantmateriaal. Dus kennis van het voedingsgedrag is noodzakelijk voor het ontwikkelen van nieuwe formuleringen en het optimaliseren van biopesticiden.

Het toevoegen van voedingsstimulantia als COAX of gistextract kunnen helpen bij toepassing tegen bollwormen of boorders. Deze toevoegingen zorgen ervoor dat het insect van het Bt-product blijft eten waardoor het meer Bt binnen krijgt en minder van de plant eet.

Het is het beste om zo vroeg mogelijk in het seizoen met Bt te beginnen. Via monitoring (bv feromoonvallen, vangplaten) kan bepaald worden wanneer de eerste eieren uitkomen. Van een aantal

insecten is precies bekend wanneer Bt het beste kan worden toegepast, b.v. Colorado kever kan het best bestreden worden 4 dagen nadat 30% van de eieren is uitgekomen (Ghidiu, 1993).

De persistentie van Bt is niet zo hoog, in slechte formulering vaak maar 48 uur. De persistentie is afhankelijk van de formulering. Door toevoeging van uitvloeiers, 'stickers' (hechters), UV beschermers en voedingsstimulantia kan de werking van Bt verbeterd worden.

De belangrijkste persistentie-beperkende factor is de inactivatie van het toxinekristal door UV. Helaas bevatten de meeste commerciële producten geen UV beschermers. Een aantal UV beschermers is milieu-onvriendelijk waardoor ze ongeschikt zijn. De meest veelbelovende aanpak is het inkapselen van Bt in zetmeel of een formulering op basis van tarwemeel.

De tweede persistentie-beperkende factor is het wegspoelen van Bt door regen of beregening. Hiervoor lijkt het inkapselen van Bt in biopolymeren een goede oplossing.

Het is belangrijk om milieu-vriendelijke en kosten effectieve formuleringen te selecteren om de persistentie van Bt te verhogen.

Bt kan het best gespoten worden na zonsondergang, om afbraak door UV te voorkomen. Indien mogelijk moet voorkomen worden dat het regent (of beregend wordt) direct na bespuiting.

Bt kan verspoten worden met dezelfde apparatuur als gebruikt wordt voor het verspuiten van chemische middelen. Om een goede bladbedekking te krijgen is het nodig veel te spuiten waardoor de kosten kunnen oplopen. Uit onderzoek blijkt dat ULV (Ultra Low Volume) toepassingen ook mogelijkheden bieden (Roltsch *et al.*, 1994).

Bt in Nederland

Bijlage IA geeft een lijst met Bt producten die in Nederland toegelaten zijn. De meeste producten zijn op basis van Bt-kurstaki en één op basis van Bt-aizawai. Bt-israelensis is ooit toegelaten geweest maar is dat nu niet meer. Dit komt er op neer dat op dit moment in Nederland Bt alleen gebruikt kan worden tegen rupsen en niet tegen muggen, vliegen en kevers.

In het buitenland (Bijlage IB) is een veel groter spectrum aan producten beschikbaar. Dit komt voor een deel doordat de markt in een aantal landen groter is, maar ook doordat de toelating in sommige landen veel soepeler is. In de USA bijvoorbeeld is geen uitgebreid veiligheidsonderzoek nodig voor Bt producten omdat gesteld wordt dat Bt overal in het milieu al voorkomt en dus niet schadelijk kan zijn.

Mogelijkheden voor de toekomst

Hoewel Bt het meest gebruikte microbiële insecticide is zijn er nog veel mogelijkheden onbenut. Van de 70 bekende Bt subspecies zijn er maar enkele op de markt. Veel Btk producten zijn op basis van dezelfde stam, HD1 (Dipel, Javelin). Andere stammen hebben overlappende Cry-eiwitten waardoor afwisselen van Bt producten, ter voorkoming van resistentie, geen zin heeft. Uitbreiding van het aantal producten met stammen met afwijkende Cry-eiwitten zou resistentie kunnen voorkomen.

De Bti producten zijn vooral ontwikkeld tegen (malaria-) muggen e.d.. Voor toepassing tegen *Delia* en *Tipula* spp. zal moeten worden uitgezocht welke stammen het best werkzaam zijn en hoe Bt moet worden toegepast. Om emelten (*Tipula* spp.), die vooral ondergronds zitten, voldoende Bt te laten eten zal een andere formulering en manier van spuiten nodig zijn dan voor muggenlarven.

Tegen kevers zijn twee stammen op de markt: Btj tegen ondergrondse kevers en Btm tegen Colorado kever. Een aantal keversoorten zoals b.v. de taxuskever (*Othiorhynchus*, een belangrijke plaag in de boomteelt), is niet erg gevoelig voor deze stammen (Blackshaw, 1984; Kaya *et al.*, 1995). Door het screenen van een groot aantal 'kever-Bt stammen' zou het mogelijk zijn om een geschikte stam voor deze plaag te vinden.

Van een aanzienlijk aantal plagen in Nederland is nog niet bekend of er Bt stammen zijn die deze insecten kunnen doden (Bijlage II). Voor deze plagen zouden de bestaande producten en meer onbekende stammen gescreend kunnen worden.

Er worden nog steeds nieuwe Bt stammen en Cry-eiwitten ontdekt. Zo bleek dat 40% van de onderzochte *Acromyrmex* stammen Bt te bevatten (Pinto *et al.*, 2003). *Acromyrmex*, 'leaf-cutting ants', behoort tot de orde Hymenoptera, waarin nog niet eerder Bt stammen gevonden waren. Asano *et al.* (2003) ontdekten een nieuw Cry8 gen in een kever. De onlangs ontdekte Bt subsp. *jordanica* is werkzaam tegen *Drosophila* maar ook tegen de nematoden *Meloidogyne javanica* en *M. incognita* (Khyami, 2003). Een zoektocht naar nieuwe Bt stammen of nieuwe combinaties van Cry-eiwitten, die beter geschikt zijn als bio-insecticide of geschikt voor tot nog toe ongevoelige insecten, kan dus zeker wat opleveren.

Een andere mogelijkheid voor het verbeteren van Bt producten is het maken van nieuwe combinaties van Cry-eiwitten. Door het combineren van Cry-eiwitten kan de oplosbaarheid van het eiwit-complex veranderen waardoor het opeens wel werkzaam is tegen andere insectensoorten (de Maagd *et al.*, 2001). Hiervoor hoeft geen genetische manipulatie plaats te vinden. Het combineren kan gebeuren door conjugatie, een proces dat ook in de natuur plaatsvindt.

Het screenen van minder bekende Bt subspecies voor specifieke plagen en het maken van nieuwe Cry-eiwit-combinaties kan het spectrum van Bt sterk uitbreiden en mogelijk de bestaande producten verbeteren.

Referenties

- (1) Asano, S., C. Yamashita, T. Iizuka, K. Takeuchi, S. Yamanaka, D. Cerf & T. Yamamoto, 2003. A strain of *Bacillus thuringiensis* subsp. *galleriae* containing a novel cry8 gene highly toxic to *Anomala cuperea* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Biological Control*, 28 : 191-196.
- (2) Bai, C., D. Degheele, S. Jansens & B. Lambert, 1993. Activity of insecticidal crystal proteins and strains of *Bacillus thuringiensis* against *Spodoptera exempta*. *J. Invert. Pathol.*, 62: 211-215.
- (3) Bernard, K., P. Jarret, M. Meadows, J. Butt, D.J. Ellis, G.M. Roberts, S. Pauli, P. Rodgers & H.D. Burges, 1997. Natural isolates of *Bacillus thuringiensis*: worldwide distribution, characterization and activity against insect pests. *J. Invert. Pathol.*, 70 (1): 59-68.
- (4) Bernstein, I.L., J.A. Bernstein, M. Miller, S. Tierzieva, D.I. Bernstein, Z. Lummus, M.K. Selgrade, D. Doerfler & V.L. Seligy, 1999. Immune responses in farm workers after exposure to *Bacillus thuringiensis* pesticides. *Environmental Health Perspectives*, 107 (7) : 575-582.
- (5) Bernstein, J.A., I.L. Bernstein, L. Bucchini, L.R. Goldman, R.G. Hamilton, S. Lehrer, C. Rubin & H.A. Sampson, 2003. Clinical and laboratory investigations of allergy to genetically modified foods. *Environmental Health Perspectives*, 111 (8) : 1114-1121.
- (6) Blackshaw, R.P., 1984. An evaluation of 3 insecticides as compost treatments for the control of vine weevil *Otiorynchus sulcatus* larvae in hardy-annual nursery stock. *J. Horticultural Science*, 59, (4): 559-562.
- (7) Brooks, W.M., 1993. Host – parasitoid – pathogen interactions, p. 231-272. *In*: Beckage, N.E., S.N. Thompson & B.A. Federici (ed.), *Parasites and pathogens of insects*, Vol 2: Pathogens. Academic Press.
- (8) Bucchini, L. & L.R. Goldman, 2002. Starlink corn: a risk analysis. *Environmental Health Perspectives*, 110 (1) : 5-13.
- (9) Cane, J.H., H.E. Cox & W.J. Moar, 1995. Susceptibility of *Ips calligraphus* en *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera, Scolytidae) to coleopteran-active *Bacillus thuringiensis*, a *Bacillus* metabolite and avermectin B-1. *Canadian Entomologist*, 127 (6): 831-837.
- (10) Cao, J., J.D. Tang, N. Strizhov, A.M. Shelton & E.D. Earle, 1999. Transgenic broccoli with high levels of *Bacillus thuringiensis* Cry1C protein control diamondback moth larvae resistant to Cry1A or Cry1C. *Molecular breeding* 5 : 131-141.
- (11) Cloutier, C. & C. Jean, 1998. Synergism between natural enemies and biopesticides: a test case using the stinkbug *Perillus bioculatus* and *Bacillus thuringiensis tenebrionis* against Colorado potato beetle. *J. Econ. Entomol.* 91 : 1096-1108.
- (12) Copping, L.G. (editor), 2001. *The Biopesticide Manual*, second edition. British Crop protection Council, Surrey, UK.

- (13) Crickmore, N., D.R. Ziegler, J. Feitelson, E. Schnepf, J. Van Rie, D. Lereclus, J. Baum & H. Dean, 1998. Revision of the nomenclature of the *Bacillus thuringiensis* pesticidal crystal proteins. *Microbiol. Molec. Biol. Reviews*, 62 : 807-813.
- (14) Crickmore, N., 2000. The diversity of *Bacillus thuringiensis* δ -toxins. *In*: Charles, J.-F., A. Delécluse, C. Nielsen- LeRoux (editors), 2000. *Entomopathogenic bacteria: from laboratory to field application*. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, The Netherlands.
- (15) Damgaard, P.H., 2000. Natural occurrence and dispersal of *Bacillus thuringiensis* in the environment. *In*: Charles, J.-F., A. Delécluse, C. Nielsen- LeRoux (editors), 2000. *Entomopathogenic bacteria: from laboratory to field application*. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, The Netherlands.
- (16) Damgaard, P.H., H.D. Larsen, B.M. Hansen, J. Bresciani & K. Jorgensen, 1996. Enterotoxin production strains of *Bacillus thuringiensis* isolated from food. *Letters in Appl. Microbiol.*, 23 : 146-150.
- (17) Damgaard, P.H., B.M. Hansen, J.C. Pedersen & J. Eilenberg, 1997. Natural occurrence of *Bacillus thuringiensis* on cabbage foliage and in insects associated with cabbage crops. *J. Appl. Microbiol.*, 82 (2): 253-258.
- (18) Damgaard, P.H., A. Abdel-Hameed, J. Eilenberg & P.H. Smits, 1998. Natural occurrence of *Bacillus thuringiensis* on grass foliage. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 14 (2): 239-242.
- (19) Eidt, D.C., 1985. Toxicity of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* to aquatic insects. *Can. Entomol.* 117 : 829-837.
- (20) Eilenberg, J., P.H. Damgaard, B.M. Hansen, J.C. Pedersen, J. Bresciani & R. Larsson, 2000. Natural coprevalence of *Strongyloides castrans*, *Cystosporogenes deliaradicae* and *Bacillus thuringiensis* in the host, *Delia radicum*. *J. Invert. Pathol.*, 75 (1): 69-75.
- (21) Ghidui, G.M. & G.W. Zehnder, 1993. Timing of the initial spray application of *Bacillus thuringiensis* for control of the Colorado potato beetle in potatoes. *Biological Control*, 3: 348-352.
- (22) Gilliland, A., C.E. Chambers, E.J. Bone & D.J. Ellar, 2002. Role of *Bacillus thuringiensis* Cry1 delta endotoxin binding determining potency during lepidopteran larval development. *Appl. Environ. Microbiol.*, 68 (4) : 1509-1515.
- (23) Giroux, S., D. Coderre, C. Vincent & J.C. Cote, 1994. Effects of *Bacillus thuringiensis* var. *san diego* on predation effectiveness, development and mortality of *Coleomegilla maculata lengi* larvae. *Entomophaga*, 39: 61-69.
- (24) Havukkala, I., 1982. Natural control methods against cabbage flies. *Vaxtskyddsnotiser*, 46: 90-93.
- (25) Havukkala, I., 1988. Non-chemical control methods against cabbage flies *Delia radicum* and *Delia floralis*. *Annales Agricult. Fenniae.*, 27 (4) :271-279.
- (26) Höfte, H. & H. R. Whiteley, 1989. Insecticidal Crystal Proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiological Reviews*, 53 : 242-255.
- (27) Hough-Goldstein, J. & C.B. Keil, 1991. Prospects for integrated control of the Colorado potato beetle using *Perillus bioculatus* and various pesticides. *J. Econ. Entomol.* 84 : 1645-1651.
- (28) Iriarte, J., M. Porcar, M.M. Lecadet & P. Caballero, 2000. Isolation and characterisation of *Bacillus thuringiensis* strains from aquatic environments in Spain. *Current Microbiology*, 40 (6): 402-408.
- (29) Kaya, K.H., T.M. Burlando, H.Y. Choo & G.S. Thurston, 1995. Integration of entomopathogenic nematodes and *Bacillus thuringiensis* or pesticidal soap for control of insect pests. *Biological Control*, 5 (3): 432-441.
- (30) Khyami, H.H., M. Hajaj & J.F. Charles, 2003. Characterization of *Bacillus thuringiensis* ser. *Jordanica* (serotype H71), a novel serovariety isolated in Jordan. *Current Microbiology*, 47 (1): 26-31.
- (31) Koziel, M.G., N.B. Carrozzini, T.C. Currier, G.W. Warren & S.V. Evola, 1993. The insecticidal crystal protein of *Bacillus thuringiensis*: past, present and future uses. *Biotech. Genetic Engineering Reviews*, 11: 171-228.
- (32) Lacey, L.A. & J.P. Siegel, 2000. Safety and ecotoxicology of entomopathogenic bacteria. *In*: Charles, J.-F., A. Delécluse, C. Nielsen- LeRoux (editors), 2000. *Entomopathogenic bacteria: from laboratory to field application*. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, The Netherlands.

- (33) Lin, K.C., Y.H. Chen, S.A. Peng, H.M. Zu & Z. N. Yu, 1990. Applications of 'Shachongjin' in the control of pests of horticulture II. The effect of 'Shachongjin' against larvae of *Contarinia citri*. Proc. Vth Int. Coll. Invert. Pathol. Microbial control, Adelaide, Australia, 1990.
- (34) Liu, Y.B. & B.E. Tabashnik, 1997. Inheritance of resistance to the *Bacillus thuringiensis* toxin Cry1C in the Diamondback moth. Appl. Environ. Microbiol. 63 : 2218-2223.
- (35) de Maagd, R.A., M. Weemen-Hendriks, W. Stiekema & D. Bosch, 2000. *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin Cry1C domain III can function as a specific determinant for *Spodoptera exigua* in different, but not all, Cry1-Cry1C hybrids. Appl. Environ. Microbiol., 66: 1559-1563.
- (36) de Maagd, R.A., A. Bravo & N. Crickmore, 2001. How *Bacillus thuringiensis* has evolved specific toxins to colonize the insect world. Trends in Genetics, 17 (4) : 193-199.
- (37) de Maagd R.A., A. Bravo, C. Berry, N. Crickmore, H.E. Schnepf, 2003. Structure, diversity and evolution of protein toxins from spore-forming entomopathogenic bacteria. Annual Review of Genetics, 37:409-433
- (38) de Maagd, R.A., M. Weemen-Hendriks, J.M. Molthoff & S. Naimov, 2003. Activity of wild-type and hybrid *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxins against *Agrotis ipsilon*. Archives of Microbiology, 179 (5) :363-367.
- (39) McCravy, K.W. , M.J. Dalusky & C.W. Berisford, 2001. Effects of a broad spectrum and biorational insecticides on parasitoids of the Nantucket pine tip moth. J. Econ. Entomol., 94 (1): 112-115.
- (40) Navon, A., 2000. *Bacillus thuringiensis* application in agriculture. In: Charles, J.-F., A. Delécluse, C. Nielsen- LeRoux (editors), 2000. Entomopathogenic bacteria: from laboratory to field application. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, The Netherlands.
- (41) Petrie, K., M. Thomas & E. Broadbent, 2003. Symptom complaints following aerial spraying with biological insecticide Foray 48B. New Zealand Medical Journal, March 14 : 116.
- (42) Pinto, L.M.N., A.O. Azambuja, E. Diehl & L.M. Fiuza, 2003. Pathogenicity of *Bacillus thuringiensis* isolated from two species of *Acromyrmex* (Hymenoptera, Formicidae). Brazilian Journal of Biology, 63: 301-306.
- (43) Roltsch, W.J., F.G. Zalom, J.W. Barry, G.W. Kirfman & J.P. Edstrom, 1994. Ultra-low volume aerial application of *Bacillus thuringiensis* variety *kurstaki* for the control of peach twig borer in almond trees. Appl. Eng. Agric. 11: 25-30.
- (44) Shamseldean, M.M.M. & A.A. Ismail, 1997. Effect of nematode *Heterorhabditis bacteriophora* and the bacterium *Bacillus thuringiensis* as integrated biocontrol agents of the black cutworm. Anzeiger für Schaedlingskunde Pflanzenschutz Umweltschutz, 70 (4): 77-79.
- (45) Shelton, A.M., J.L. Robertson, J.D. Tang, C. Perez, S.D. Eigenbrode, H.K. Priestler, W.T. Wilsey & R.J. Cooley, 1993. Resistance of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) to *Bacillus thuringiensis* subspecies in the field. J. Econ. Entom. 86 : 697-705.
- (46) Siegel, J.P., 2001. The mammalian safety of *Bacillus thuringiensis*-based insecticides. J. Invert. Pathol., 77 : 13-21.
- (47) Tabashnik, B.E., 1994. Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. Ann. Rev. Entomol., 39 : 47-79.
- (48) Tang, J.D., A.M. Shelton, R.T. Roush & W.J. Moar, 1995. Consequences of shared toxins in strains of *Bacillus thuringiensis* for resistance in Diamondback moth. Resistant pest Management, Newsletter Web Edition, 7: 8-10.
- (49) Van Rie, J. & J. Ferré, 2000. Insect resistance to *Bacillus thuringiensis* insecticidal crystal proteins. In: Charles, J.-F., A. Delécluse, C. Nielsen- LeRoux (editors), 2000. Entomopathogenic bacteria : from laboratory to field application. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, The Netherlands.
- (50) Waalwijk, C., A. Dullemans, G. Wiegiers & P. Smits, 1992. Toxicity of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* against tipulid larvae. J. Appl. Entomol., 114, (4): 415-420.
- (51) Waley, W.H., J. Anhold & G.B. Schaalje, 1998. Canyon drift and dispersion of *Bacillus thuringiensis* and its effects on select nontarget lepidopterans in Utah. Environ. Entomol., 27 : 539-548.
- (52) Yeu, C., Z. Liu, X. Zeng, Z. Shao & Z. Yu, 2000. Expression and insecticidal characteristics of cry3A in lepidoptera-specific *Bacillus thuringiensis*. Weishengwu Xuebao, 40 (2): 139-142.

- (53) Zhong, C.H., D.J. Ellar, A. Bishop, C. Johnson, S.S. Lin & E.R.Hart, 2000. Characterisation of a *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin which is toxic to insects in three orders. J. Invert. Pathol., 76: 131-139.

Bijlage I. Bestrijdingsmiddelen gebaseerd op Bt.

A) Bt producten met een toelating in Nederland:

Bron: CTB www.ctb-wageningen.nl

Bacillus thuringiensis subsp. aizawai

Werkt tegen Lepidoptera rupsen, speciaal voor wasmot, *Spodoptera* spp. en andere noctuiden die weinig gevoelig zijn voor of resistent zijn tegen Bt-kurstaki.

Toegestaan als insectenbestrijdingsmiddel:

- in de teelt van appels, peren, kersen en pruimen
- in de teelt van rode-, zwarte-, witte- en blauwe bessen, kruisbessen, bramen, frambozen en druiven
- in de teelt van aardbeien
- in de teelt van sla, andijvie, krulandijvie, veldsla en spinazie
- in de teelt van stam- en stokslabonen, stam- en stoksnijsbonen, kouseband
- in de teelt onder glas van aubergines, komkommer, paprika's, spaanse peper en tomaten
- in de teelt van augurken, courgettes, meloenen, pattison
- in de vollegrondsteelt van rode-, witte-, savooie-, spruit- en boerenkool, koolraap
- in de teelt van bloemkool, Chinese kool, amsoi, paksoi, koolrabi, krotten, rammenas
- in de teelt van bleek-, snij- en knolselderij, peterselie en cichorei
- in de pennenteelt van witlof
- in de teelt van kruiden
- in de teelt van bloemisterijgewassen, boomkwekerijgewassen en vaste planten
- in openbaargroen
- in de bosbouw

Middelen op basis van Bta:

PRODUCT NAAM	PRODUCENT	TOEGELATEN SINDS	FORMULERING
XenTari (bevat Cry1Aa, 1Ab, 1C en 1D)	Valent Bioscience	mei 2003	water dispergeerbaar granulaat

Bacillus thuringiensis subsp. israelensis

Werkt tegen Diptera (muggen en vliegjes).

Toegestaan als insectenbestrijdingsmiddel:

- tegen steekmuggen in kruipruimten.

Middelen op basis van Bti:

PRODUCT NAAM	PRODUCENT	TOEGELATEN SINDS
Bactimos spuitpoeder	Abbott België	9-1989 tot 8-1999 nu geen toelating meer

Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki

Werkt tegen rupsen van vlinders en motten (Lepidoptera). Enkele stammen werken ook tegen Colorado kever (Copping, 2001).

Toegestaan als insectenbestrijdingsmiddel:

- in de teelt in de vollegrond van appels en peren*
- in de teelt in de vollegrond van boerenkool, rode kool, savooie kool, spitskool, spruitkool en witte kool
- in de teelt van bloemkool, broccoli en chinese kool
- in de teelt onder glas van aubergines, augurken, courgettes, komkommers, meloenen, paprika's en tomaten*
- in de teelt onder glas van bloemisterij-gewassen**
- in openbaar groen*
- in de bosbouw*

* Turex 50WP heeft geen toelating voor de teelten met *

** Turex 50WP heeft alleen toelating voor teelt van rozen onder glas, geen andere bloemisterij-gewassen

Middelen op basis van Btk:

PRODUCT NAAM	PRODUCENT	TOEGELATEN SINDS	FORMULERING
Delfin	Agrisense-BCS GB	november 1991	granulaat of korrel
Dipel (bevat Cry1Aa, 1Ab, 1Ac, 2Aa, 2Ab, 1Ia)	Valent Bioscience	maart 1992	sputpoeder
Dipel Es	Valent Bioscience	mei 1994	vloeistof
Scutello	Valent Bioscience	maart 1994	sputpoeder
Scutello L	Valent Bioscience	april 1996	suspensie concentraat
Turex 50WP	Ciba-Geigy Agro BV NL	december 1994	sputpoeder

Enkele andere middelen op basis van Btk zijn inmiddels niet meer toegelaten op aanvraag van de toelatinghouder.

B) Bt producten in het buitenland:

Bron: UK: The BioPesticide Manual, 2nd edition, 2001. British Crop Protection Council
 USA: www.epa.gov/pesticides/biopesticides/product_list
 Europa: www.oecd.org

Bacillus thuringiensis subsp. aizawai

Werkt tegen Lepidoptera rupsen in de *Spodoptera* groep. Speciaal ontwikkeld voor *Spodoptera* spp. en andere noctuiden die weinig gevoelig zijn voor of resistent zijn tegen Bt-kurstaki.

Gebruikt als insectenbestrijdingsmiddel:

In groenten-, fruit- en boomteelt en katoen

Middelen op basis van Bta:

PRODUCT NAAM	PRODUCENT
XenTari, Florbac	Valent Bioscience
Agree, Design, Turex	Certis
Lepinox	Ecogen
ABG-6346 Biological Insecticide	? USA
ABG-6406 Biological Insecticide	? USA
Technical CGA-237218	? USA

Bacillus thuringiensis subsp. israelensis

Werkt tegen Diptera (muggen en vliegjes).

Gebruikt als insectenbestrijdingsmiddel:

In stilstaand water, rioolzuivering en kassen tegen steekmuggen, blackfly en varenrouwmuggen. Werkt mogelijk ook tegen emelten.

Middelen op basis van Bti:

PRODUCT NAAM	PRODUCENT
Bactimos, Gnatrol, Skeetal, Vectobac	Valent Bioscience
Aquabac	Becker Underwood
Vectocide	Sanex
Teknar	Certis
Acrobe	BASF
Bactis	Caffaro

Bacillus thuringiensis subsp. japonensis stam buibui

Werkt tegen bodemkevers.

Gebruikt als insectenbestrijdingsmiddel:

In grasland, openbaar groen en siergewassen

Middelen op basis van Btj:

PRODUCT NAAM	PRODUCENT
M-Press	Mycogen

Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki

Werkzaam tegen Lepidoptera larven van de Plutella groep

Gebruikt als insectenbestrijdingsmiddel:

In groenten, mais, granen, bossen en fruit- en boomteelt

Middelen op basis van Btk:

Tientallen middelen van verschillende bedrijven.

Bacillus thuringiensis subsp. morrisoni (tenebrionis)

Werkzaam tegen Coleoptera kevers, speciaal Colorado kever.

Gebruikt als insectenbestrijdingsmiddel:

In Solanaceae, speciaal aardappel.

Middelen op basis van Btm:

PRODUCT NAAM	PRODUCENT
Novodor	Abbott
Trident Biological Insecticide	? USA

***Bacillus thuringiensis* mengsels**

Door conjugatie van verschillende Bt stammen zijn nieuwe stammen gevormd die kristallen maken bestaande uit meerdere kristaleiwitten. Werkzaam tegen Colleoptera en Lepidoptera insecten die weinig gevoelig zijn voor of resistent zijn tegen Bt-kurstaki.

Gebruikt als insectenbestrijdingsmiddel:

In groenten, solanaceae, katoen, en fruit- en boomteelt.

Middelen:

PRODUCT NAAM	PRODUCENT
Raven (EG7673: Bt kurstaki+morrison+kumamotoensis)	Ecogen
Lepinox (EG7826)	Ecogen
Crymax (EG7841: Bt kurstaki+aizawai)	Ecogen
Jackpot (EG2424: Bt kurstaki+morrison+kumamotoensis)	Ecogen

Ingekapselde delta-endotxines

Dit product bestaat uit Bt kristallen die gemaakt zijn in een getransformeerde *Pseudomonas fluorescens* stam. De in een fermentor geproduceerde cellen worden gedood en vervolgens wordt de celwand versterkt zodat een ingekapseld toxine ontstaat.

Middelen:

PRODUCT NAAM	PRODUCENT
Maatch (bevat aizawai Cry1C en kurstaki Cry1Ac kristaleiwitten)	Mycogen
MVP, MVP II en M-Peril (bevatten kustaki Cry1Ac)	Ecogen
M-Trak (bevat Bt-morrisoni Cry3A)	Mycogen
M/C (bevat aizawai Cry1C)	Mycogen
Guardjet (bevat kustaki Cry1Ac)	Mycogen/Kubota

Bijlage II. Mogelijkheden om plagen in Nederland met Bt te bestrijden

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Schadelijk in	Effectieve Bt stam	Bron ¹
Lepidoptera				
Aardrupsen	<i>Agrotis</i> spp.	groenten, boomteelt	Cry9Ca, Cry1Aa, CryFb ²	3, 22, 38, 44
Anjerbladroller	<i>Cacoecimorpha pronubana</i>	groenten, bloemisterij	onbekend ³	
Azaleamot	<i>Caloptilia azaleella</i>	azalea	onbekend	
Bananenvlinder	<i>Opogona sacchari</i>	potplanten (palmen)	onbekend	
Bastaardsatijnvlinder	<i>Euproctis chrysorrhoea</i>	boomteelt	Bta	CTB
Dennenlotrups	<i>Rhyacionia buoliana</i>	pinus	onbekend ⁴	39
Duponchelia	<i>Duponchelia fovealis</i>	bloemisterij	onbekend	
Floridamot	<i>Spodoptera exigua</i>	groenten en bloemisterij	Bta: Cry1C, Cry1E	2, 35
Fruitmot	<i>Cydia pomonella</i>	fruitteelt	Btk, Bta	CTB
Gamma-uil	<i>Autographa gamma</i>	groenten en bloemisterij	Bta	CTB
Groente-uil	<i>Lacanobia (Mamestra) oleracea</i>	groenten	Bta	CTB
Koolbladroller	<i>Clepsis spectrana</i>	groenten, bloemisterij	onbekend	
Koolmot	<i>Plutella xylostella</i>	kool	Btk, Bta	CTB
Kooluil	<i>Mamestra brassicae</i>	groenten, chrysant en anjer	Btk, Bta ⁵	CTB, 22
Koolwitje	<i>Pieris brassicae</i>	kool	Btk, Bta : Cry1A	CTB, 16, 17
Plakker	<i>Lymantria dispar</i>	boomteelt, bosbouw	Bta	CTB
Preimot	<i>Acrolepiopsis assectella</i>	prei	onbekend	
Ringelrupsen	<i>Malacosoma neustria</i>		Btk, Bta	CTB
Satijnvlinder	<i>Leucoma salicis</i>	boomteelt, bosbouw	Bta	CTB
Slawortelboorder	<i>Hepialis lupulinus</i>	zomerbloemen	onbekend	
Spinselmotten	<i>Yponomeuta</i> spp.	boomteelt	Btk, Bta	CTB
Turkse mot	<i>Chrysodeixis chalcites</i>	groenten en bloemisterij	Btk, Bta	CTB
Voorjaarsuilen	<i>Orthosia</i> spp.	loofbomen	Btk, Bta	CTB
Wintervlinder	<i>Operophtera brumata</i>		Btk, Bta	CTB
Diptera				
Eikentopgalmug	<i>Arnoldiola quercus</i>	eik	onbekend	
Emelten	<i>Tipula</i> spp.	sla, gras, coniferen	Bti	18, 28, 50
Grote narcisvlieg	<i>Merodon equestris</i>	bollenteelt	onbekend	
Kool-, bonenvlieg	<i>Delia</i> spp.	kool, radijs, fresia	Bti	20, 24, 25
Koolgalmug	<i>Contarinia nasturtii</i>	kool	Bti	32
Varenrouwmug	<i>Sciara</i> spp.	stekgoed boomteelt	onbekend	
Coleoptera				
Bastkevers	<i>Xyleborus</i> spp.	palmen, yucca's	onbekend	
Bladsnuitkevers	<i>Phyllobius</i> spp., <i>Polydrusus</i> spp.	roos, eik, beuk	onbekend	
Taxuskever	<i>Otiorhynchus sulcatus</i>	rhododendron, taxus etc.	Geen ⁶	6, 29
Wilgenhaantjes	<i>Phyllodecta</i> spp.	populus, salix	Cry3A	52
Zaadkevers	<i>Scolytidae</i> , <i>Coccotrypes</i> spp.	palmen, yucca's	onbekend ⁷	9

¹ nummers verwijzen naar 'Referenties', CTB = genoemd in toelating voor Bt producten door CTB

² Cry1AC, Cry1Ba, Cry1Ca en Cry1J werken niet tegen *Agrotis* (Gilliland *et al.*, 2002); verschillende stammen zijn getest met matig resultaat (Shamseldaeen & Ismail, 1997; Bernard *et al.*, 1997), alleen Cry9Ca, Cry1Aa, CryFb geven een goed resultaat (Maagd *et al.*, 2003)

³ onbekend= niet in de literatuur te vinden

⁴ Btk werkt niet tegen *Rhyacionia frustrana* (McCrary, 2001)

⁵ alleen eerste larvale stadium van *M. brassicae* is gevoelig voor Bta (Gilliland *et al.*, 2002)

⁶ bestaande producten zijn in het verleden door PPO-bomen getest en bleken niet werkzaam tegen *O. sulcatus* (pers. comm. Rob van Tol); in het buitenland zijn ook enkele studies met taxuskever verricht (Blackshaw, 1984; Kaya *et al.*, 1995).

⁷ *Ips calligraphus* en *Dendroctonus frontalis*, beide Scolytidae, zijn ongevoelig voor kever-Bt stammen (Cane *et al.*, 1995).