

Magnus Land  
Matilda Miljand

## Biologisk bekämpning av mygg med *Bti*: effekter på målorganismer, icke-målorganismer och människor



M. Land och M. Miljand (2015): **Biologisk bekämpning av mygg med *Bti*: effekter på målorganismer, icke-målorganismer och människor. En kunskapsöversikt.** EviEM, Stockholm.

Omslagsfoto: Claes Bernes

# **Biologisk bekämpning av mygg med *Bti*: effekter på målorganismer, icke-målorganismer och människor**

En kunskapsöversikt

**Magnus Land**

**Matilda Miljand**

## Sammanfattning

Naturvårdsverket fick 2013 ett regeringsuppdrag att utvärdera olika effekter av biologisk bekämpning av översvämningsmyggor med VectoBac G. VectoBac G är en granulär form av bakterien *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* (*Bti*). Den potentiella effektiviteten hos *Bti* har undersökts noggrant i många studier, och dödligheten hos larver av mygg och knott är mycket hög. Däremot har ett relativt stort antal studier av hur effektiva *Bti*-behandlingar är i större skala visat varierande resultat, och därför kan en systematisk utvärdering av den frågan ge ett bättre underlag. Detsamma gäller troligen även för frågan om hur persistent *Bti* är i naturen. Direkta effekter på icke-målorganismer har studerats i relativt stor utsträckning, och den största gruppen av icke-målorganismer som är mottagliga för *Bti* är olika fjädermygglarver (Chironomidae). Mot bakgrund av hur toxiciteten hos *Bti* fungerar anses en väl avvägd användning av *Bti* inte ha några direkta effekter på fåglar, fiskar och däggdjur, inklusive boskap och husdjur. Indirekta effekter på icke-målorganismer genom förändringar i näringsväven är mycket sparsamt studerade, liksom huruvida *Bti* indirekt kan orsaka eutrofiering. Mer forskning, speciellt långtidsstudier, inom detta område är önskvärd. Trots ett flertal studier har inga säkra indikationer på resistens mot *Bti* kunnat visas hos myggor ute i naturen. Studier av effekten av myggförekomster på människors välbefinnande, friluftsliv, turism och ekonomi saknas i stor utsträckning, och även här behövs ny forskning.

## Bakgrund

Naturvårdsverket fick 2013 i uppdrag av regeringen att utvärdera olika effekter av biologisk bekämpning av översvämningsmyggor med VectoBac G. VectoBac G är en granulär form av bakterien *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* (*Bti*). Uppdraget innebar att utvärdera bekämpningens såväl kortsiktiga som långsiktiga effekter på

- målorganismer,
- biologisk mångfald, inklusive skyddade naturtyper och arter,
- lokalbefolkning,
- husdjur och boskap,
- friluftsliv,
- turism.

Naturvårdsverket fick även i uppdrag att utreda risken för och följer av att målorganismerna blir resistent mot bekämpningsmedlet, och att bekämpningen leder till övergödning. I uppdraget ingick också att utreda eventuella kumulativa effekter av att bekämpningen upprepas under flera år. Uppdraget skulle redovisas till Regeringskansliet (Miljödepartementet) senast den 1 november 2015. En delredovisning skulle lämnas senast den 1 mars 2014.

I december 2013 diskuterade Mistra EviEM och Naturvårdsverkets projektledning hur en litteraturstudie skulle kunna utformas. Uppdraget från regeringen är tydligt och väldefinierat, men under mötet gjordes några ytterligare klargöranden:

- Både svenska och utländska studier är av intresse.
- Om studier av effekter på biodiversitet saknas är studier av effekter på enskilda icke-målorganismer av intresse.
- När effekter på lokalbefolkning, friluftsliv och turism ska utvärderas, är det inte i första hand effekter specifikt av *Bti*-behandling som avses, utan snarare effekter av massförekomster av mygg (eller avsaknaden därav).
- Effekter på lokalbefolkningen avser i första hand psykologiska effekter såsom mentalt välbefinnande eller platsanknytning. Det är inte aktuellt att granska smittspridning via mygg, men däremot fysiologiska effekter som har ett samband med långvarig och frekvent användning av myggmedel. Ekonomiska effekter avser exempelvis sjunkande bostadspriser.
- Effekter på boskap och husdjur avser i första hand *Bti*-användning, men effekter av myggförekomster kan också vara av intresse.

## ***Bti* som bekämpningsmedel**

Många myggarter är vektorer för sjukdomar, vilket innebär att smitta kan spridas via myggorna (Boisvert, 2007). Myggor kan också upplevas som ett stort irritationsmoment för människor och djur. Det har därför gjorts många försök att bekämpa myggförekomster med olika metoder. År 1976 isolerades för första gången bakterien *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* (*Bti*), och det visade sig

då att den var mycket giftig för mygglarver (Goldberg och Margalit, 1977). Sedan tidigt 1980-tal har *Bti*-baserade insekticider funnits kommersiellt (Boisvert, 2007), och 2011 inkluderades *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* Serotype H-14, Strain AM65-52 i Annex I till EU-direktiv 98/8/EC om utsläppande av biocidprodukter på marknaden.

*Bti* anses i allmänhet vara både effektivt och målspecifikt. Specificiteten har förklarats av hur de giftiga substanserna i *Bti* verkar, vilket kan beskrivas som en flerstegsprocess (Ramírez-Lepe och Ramírez-Suero, 2012). De toxiska egenskaperna hos *Bti* har sitt ursprung i de mycket små kristaller som produceras när *Bti* bildar sporer. Kristallerna och deras beståndsdelar är inerta protoxiner (förstadier till toxiska ämnen) som inte i sig är biologiskt aktiva. De kan däremot bli aktiverade när de äts upp av mygglarver, och verknings sättet kan beskrivas enligt följande: (i) Mygglarven sväljer kristaller. (ii) Upplösning av kristallerna i larvens basiska tarmkanal (pH>10). (iii) Proteolytisk aktivering (spjälkning) av lösta proteiner. (iv) Toxinerna binds till receptorer på cellmembran i tarmkanalen. (v) Toxinerna tränger igenom membranen. (vi) Toxinerna bildar porer i cellmembranen och orsakar en osmotisk obalans, vilket leder till att cellerna sväller. (vii) Mellantarmen blir paralyserad och insekten slutar att äta. De flesta mygglarverna dör inom några timmar efter förtäring av kristallerna. *Bti* har ingen effekt på myggägg, puppor eller fullbildade myggor.

*Bti*-baserade produkter har använts på alla kontinenter, och totalt i över 25 länder (Boisvert, 2007). I Sverige har storskalig användning av *Bti* i huvudsak förekommit i våtmarker vid nedre Dalälven, där bekämpningen startade 2002. Från det att bekämpningen inleddes har Naturvårdsverket finansierat ett kontrollprogram för att undersöka eventuella miljöeffekter, och efter sju års verksamhet granskades kontrollprogrammet av Nilsson och Renöfält (2009). De var kritiska till kontrollprogrammet i flera avseenden och påpekade en rad problem med de metoder som användes (t.ex. låg statistisk styrka), liksom det faktum att myggbekämpningen och kontrollprogrammet genomfördes av samma personer.

Användningen av *Bti* som bekämpningsmedel är inte helt okontroversiell i Sverige. En anledning till det är att massförekomsten av översvämningsmyggor kan vara orsakad av mänsklig aktivitet (älvreglering, eutrofiering av vattendrag m.m.), och att det i så fall kan vara bättre att vidta åtgärder mot denna (Nilsson och Renöfält, 2009). En annan anledning är att behandlade områden vid nedre Dalälven ligger nära skyddade Natura 2000-områden, i vissa fall även inom dem. Frågor har lyfts om huruvida *Bti* kan orsaka negativa effekter på miljön och ekosystemen i dessa områden (Karlsson och Terstad, 2012).

## Formulering av utvärderingsfrågor

Baserat på regeringsuppdraget och diskussionerna med Naturvårdsverket formulerades ett antal utvärderingsbara frågor (utvärderingsbara frågor bör helst specificera en population/studieobjekt, en intervention/exponering och någon typ av utfall). När det gäller effekten på målorganismerna, det vill säga hur effektivt *Bti* är som bekämpningsmedel, behöver man egentligen ställa två separata frågor. Den ena frågan avser den *potentiella* effektiviteten, som brukar mätas i strikt kontrollerade laborieförsök eller i småskaliga fältförsök. Den andra frågan gäller hur stor den *praktiska* effektiviteten är när bekämpningsmedlet appliceras i större skala. I engelskt språkbruk används begreppen *efficacy* respektive *effectiveness* för att skilja de olika måtten. En rad olika faktorer kan göra att den praktiska effektiviteten blir lägre än den potentiella effektiviteten. De första frågorna blir alltså:

**1a.** Hur stor är den potentiella effektiviteten hos *Bti* som bekämpningsmedel mot översvämningsmygg?

**1b.** Hur effektivt kan *Bti*-behandling minska förekomsten av översvämningsmyggor i stor skala (landskap/samhälle)?

I fråga 1b utgörs den studerade populationen av områden med översvämningsmygg. Interventionen är *Bti*-behandling, och utfallet är ändrad myggförekomst.

Frågan om effekter på biologisk mångfald och skyddade arter bör också delas upp i två separata delar, där den ena handlar om *direkta* effekter av själva bekämpningsmedlet (*Bti*) och den andra om mer *indirekta* effekter som exempelvis kan vara relaterade till förändringar i näringsväven:

**2a.** Vad är den direkta effekten av *Bti*-behandling på icke-målorganismer?

**2b.** Hur stora är de indirekta effekterna av *Bti*-behandling på olika nivåer i ett ekosystem?

I fråga 2b är populationen och interventionen samma som i fråga 1b, men utfallet är annorlunda, och det kan behöva definieras bättre (t.ex. i termer av artrikedom, artsammansättning eller specifika icke-målorganismers förekomst eller dödlighet).

Ytterligare frågor var

**3.** I vilken utsträckning leder behandling med *Bti* till resistens hos myggor?

**4.** Leder behandling med *Bti* till eutrofiering av vattnet?

**5.** Hur persistent är *Bti* i miljön?

Frågan avseende boskap och husdjur kan formuleras som följer:

**6.** Vad är den direkta effekten av *Bti*-behandling på boskap och husdjur?

Fråga 6 blir i så fall i princip en del av fråga 2a, eftersom boskap och husdjur kan räknas som icke-målorganismer. Om vi tittar på exponeringen för myggor snarare än interventionen (*Bti*-behandling) kan frågan i stället formuleras som

**7.** Vad är effekten av extrema myggförekomster på boskap och husdjur?

Frågor relaterade till människor och samhälle kan lyda som följer:

**8.** Hur påverkar förekomsten av myggor människors välbefinnande och fritidsaktiviteter?

**9.** Hur påverkar förekomsten av myggor turismen?

**10.** Hur påverkar förekomsten av myggor bostadspriserna?

I flera av frågorna ovan behöver utfallet definieras mer detaljerat. Fråga 9 skulle exempelvis kunna avse antalet gästnätter på hotell och campingplatser eller hur dessa sprids över året.

Någon specifik fråga angående kumulativa effekter av att bekämpning upprepas under flera år har inte formulerats. Även om sådana effekter skulle visa sig först i långtidsstudier antas de vara identiska med dem som redan nämnts.

## Vetenskapligt stöd

Sökningar efter vetenskaplig litteratur har gjorts i litteraturlösningsdatabaserna Web of Knowledge och EBSCOhost, samt i Google och Google Scholar. Olika söksträngar och databaser har använts för de olika frågorna (se Tabell 1). Notera att söktermen "*Bacillus thuringiensis israelensis*" inte är att rekommendera eftersom det är vanligt att någon typ av notation för underart eller serotyp skrivs före *israelensis*. Söktermen "*Bacillus thuringiensis*" genererar ett stort antal träffar. Det finns dock många insekticider som är baserade på den bakterien men andra underarter än *israelensis*. Därför har söktermen "*israelensis*" använts.

**Tabell 1.** Söksträngar som använts i Web of Knowledge (field=topic) och i EBSCOhost

Fråga	Söksträng	Träffar
1	Web of Knowledge: (mosquito* OR Anopheles OR Aedes OR Culex OR Culiseta OR Limatus OR Uranotaenia OR Psorophora OR Mansonia OR Armigeres OR Trichoprospon OR Coquillettia OR Tripteroides OR larv*) AND (bti OR israelensis OR vectobac)	1510 (282)
2	Web of Knowledge: (Non*target OR indirect OR vertebrate OR invertebrate OR bird OR fish OR diptera OR amphibian\$ OR crustacean\$ OR *worm\$ OR nematoda* OR mollus* OR insect\$) AND (bti OR israelensis OR vectobac)	1079 (235)
3	Web of Knowledge: 1 AND (resistan* OR "positive selection")	335 (87)
4	Web of Knowledge: 1 AND (eutroph* OR nutrient* OR "water quality")	28 (5)
5	Web of Knowledge: (bti OR israelensis OR vectobac) AND (persisten* OR "residual effect" OR fate)	138 (37)
6	Web of Knowledge: (bti OR israelensis OR vectobac) AND (pet OR dog OR cat OR livestock OR cattle OR bovine OR cow OR sheep OR goat OR horse OR pig OR swine)	81 (17)
7	Web of Knowledge: (mosquito* OR Anopheles OR Aedes OR Culex OR Culiseta OR Limatus OR Uranotaenia OR Psorophora OR Mansonia OR Armigeres OR Trichoprospon OR Coquillettia OR Tripteroides) AND (pet OR dog OR cat OR livestock OR cattle OR bovine OR cow OR sheep OR goat OR horse OR pig OR swine) AND (stress* OR annoy* OR nuisance)	78 (26)
8	EBSCOhost: (mosquito* AND public health)	5555
8	EBSCOhost: (mosquito* AND outdoor activit*)	144
8	Web of Knowledge: ((mosquito* OR Anopheles OR Aedes OR Culex OR Culiseta OR Limatus OR Uranotaenia OR Psorophora OR Mansonia OR Armigeres OR Trichoprospon OR Coquillettia OR Tripteroides) AND outdoor activit*)	62
8	Web of Knowledge: ((mosquito* OR Anopheles OR Aedes OR Culex OR Culiseta OR Limatus OR Uranotaenia OR Psorophora OR Mansonia OR Armigeres OR Trichoprospon OR Coquillettia OR Tripteroides) AND public health)	1321
9	EBSCOhost: (mosquito* AND tourism)	76
9	Web of Knowledge: ((mosquito* OR Anopheles OR Aedes OR Culex OR Culiseta OR Limatus OR Uranotaenia OR Psorophora OR Mansonia OR Armigeres OR Trichoprospon OR Coquillettia OR Tripteroides) AND tourism)	29

Antalet träffar inom parentes anger artiklar publicerade 2010-2014.

## Fråga 1 och 2

- Hur stor är den potentiella effektiviteten hos *Bti* som bekämpningsmedel mot översvämningsmygg?
- Hur effektivt kan *Bti*-behandling minska förekomsten av översvämningsmyggor i stor skala (landskap/samhälle)?
- Vad är den direkta effekten av *Bti*-behandling på icke-målorganismer?
- Hur stora är de indirekta effekterna av *Bti*-behandling på olika nivåer i ett ekosystem?

### Sökning efter studier

Söksträng 1 i Tabell 1 innehåller två söktermer. Den första relaterar till utfallet i fråga 1 (målorganismer), och den andra relaterar till interventionen (*Bti*-behandling). Den första termen är förhållandevis icke-specifik, vilket gör sökningen bred och användbar för flera av frågorna. I söksträng 2 relaterar den första termen till icke-målorganismer istället för målorganismen. Söksträng 1 gav 1510 träffar, av vilka 71 var översiktsartiklar (review-artiklar).

### Översiktsartiklar

En av översiktsartiklarna (Boyce et al., 2013) är en systematisk utvärdering (systematic review), där riktlinjer för systematiska utvärderingar och meta-analys enligt PRISMA (Liberati et al., 2009) har följts. Författarna inkluderade studier som (i) hade utförts i fält där denguefeber förekommer, (ii) avsåg fall där *Bti* hade använts som enda bekämpningsmedel, (iii) tydligt rapporterade vilken *Bti*-produkt och vilken dosering som använts, (iv) rapporterade resultatet i form av index som beskriver icke utvecklade myggor (*Stegomyia*-index, ägglägningsindex och/eller närvaro/frånvaro av icke utvecklade myggor inom släktet *Aedes*) och (v) hade en minsta uppföljningsperiod på 20 dagar. Fjorton studier (utförda i Sydostasien, Sydamerika och Karibien, dvs. i varmare klimat än i Sverige) uppfyllde kriterierna. Boyce et al. (2013) sammanfattade att det finns evidens för stora effekter där *Bti* har applicerats, att verkan är snabb (<24 timmar) och att den insektsdödande effekten dröjde kvar mellan 2 och 4 veckor. Dock var resultaten mer blandade i studier som mätte effektiviteten på samhällsnivå (community setting). De studierna gav inte något entydigt stöd för att *Bti* medförde signifikanta minskningar av entomologiska index när det användes som enda bekämpningsmedel. En orsak till detta skulle kunna vara att de som utförde studierna kan ha misslyckats med att identifiera och behandla alla potentiella kläckningsplatser.

Den kanske mest citerade artikeln inom detta ämne är en utvärdering av Boisvert och Boisvert (2000), i vilken författarna sammanställde effekter av *Bti* på både målorganismer och icke-målorganismer. I artikeln analyserades resultaten av 75 studier som tillsammans täckte ungefär 125 familjer, 300 släkten och 400 arter. Boisvert och Boisvert (2000) beskriver också olika faktorer som påverkar effekterna. De påpekar att den dosering som krävs för bekämpning av målorganismerna, eller för att effekter på icke-målorganismer ska uppstå, beror av vilka arter det gäller, vilken *Bti*-produkt som används och/eller olika miljöfaktorer i de behandlade områdena. Den största gruppen av icke-målorganismer i myggområden utgörs enligt artikeln av chironomider (fjädermyggor).

I en annan review-artikel granskade Lacey (2007) 20 års erfarenheter av *Bti*-användning och drog slutsatsen att *Bti*, tack vare sin stora potentiella effektivitet och relativt stora specificitet, kan vara det bästa bekämpningsmedlet i integrerade program, speciellt där andra biologiska bekämpningsmedel, miljöstyrning, personligt skydd och omdömesgillt användande av insekticider kombineras.

Ytterligare review-artiklar av generellt slag inom detta område, om än ganska kortfattade, har skrivits av Nilsson och Renöfält (2009) och Levanoni och McKie (2010). Levanoni och McKie (2010) har sammanställt en lista över icke-målorganismer som påverkas av *Bti* samt en över icke-målorganismer som *inte* påverkas av *Bti*. Med tanke på att ingen av referenserna är publicerad efter 1999 verkar listorna i stort sett bygga på sammanställningen av Boisvert och Boisvert (2000).

### Indirekta effekter på icke-målorganismer

Med undantag för vissa insekter av underordningen Nematocera (t.ex. fjädermyggor och knott) undgår icke-målorganismer direkt påverkan av *Bti* eftersom de i allmänhet saknar (i) den basiska magtrakt som krävs för att lösa upp *Bti*-kristallerna, (ii) de enzymer som krävs för att aktivera protoxinerna, och (iii) de receptorer som krävs för att binda toxinerna till cellmembranen (Lacey, 2007). Det kan dock uppstå indirekta effekter till exempel som en följd av förändringar i näringsväven, även om det finns mycket få studier som undersökt detta. Förändringar i insektstäthet och insektsrikedom har observerats i våtmarker i Minnesota, USA (Hershey et al., 1998; Niemi et al., 1999). I uppföljande studier kunde dock inga skillnader mellan behandlade och obehandlade ytor i samma våtmarker påvisas (Balcer et al., 1999). Indirekta effekter på insektsätande fåglar har rapporterats från Camargue i Frankrike, där hussvalor inte lyckades föda upp lika många ungar i behandlade områden som i obehandlade områden (Poulin, 2012; Poulin et al., 2010). I andra studier, där knott har varit målorganism, har inga indirekta effekter på icke-målorganismer kunnat påvisas (Boisvert och Boisvert, 2000; Jackson et al., 2002), även om långtidsstudier saknas.

Få studier har undersökt effekter av störningar i näringsväven där *Bti* har använts, men sådana effekter har påvisats i andra studier där näringsväven förändrats av andra orsaker. Baserat på egna studier av hur fladdermöss (*Vespadelus vulturnus*) jagar mygg (*Aedes vigilax*) i träskmarker i Australien rekommenderade Gonsalves et al. (2013) att storskalig myggbekämpning undviks under de perioder då fladdermössen föder upp ungar, åtminstone tills man har undersökt eventuella effekter bättre.

### Fråga 3

- *I vilken utsträckning leder behandling med Bti till resistens hos myggor?*

För att mer specifikt täcka det aktuella utfallet (resistens) har en tredje term lagts till i söksträng 3. I en nyligen publicerad review-artikel (Ferreira och Neves Lobo Silva-Filha, 2013) drogs slutsatsen att resistens mot *Bti* inte säkert har kunnat påvisas hos myggor i fält, möjligen tack vare att *Bti*-kristallerna innehåller fyra olika protoxiner (Cry4Aa, Cry4Ba, Cry11Aa och Cyt1Aa) som interagerar med flera olika receptorer på tarmkanalens cellmembran.

Nilsson och Renöfält (2009) refererar till tre studier där resistens uppmätts i fält; en i Frankrike (Boyer et al., 2007), en i USA (Paul et al., 2005) och en i Kina (Hongyu et al., 2004). Observera att

Nilsson och Renöfält (2009) felaktigt kallar Paul et al. för Ayesa et al., och att Hongyu et al. i vissa andra källor kallas för Zhang et al.

Tetreau et al. (2013) skriver att det finns svagheter med de tre undersökningarna. Den kinesiska och den amerikanska studien har jämfört larver från *Bti*-behandlade områden med larver från en referenspopulation som varken är från samma område eller är provtagen ungefär samtidigt, vilket gör att skillnaderna i resistens kan vara naturliga. Ferreira och Neves Lobo Silva-Filha (2013) har sammanställt uppmätta variationer i resistens (Resistance Ratios) i olika populationer av några olika arter från obehandlade områden, och de konstaterar att variationerna i den kinesiska studien är i nivå med variationerna i obehandlade områden. Den amerikanska studien visar högre grad av resistens, men eftersom det inte finns några data från perioden före behandlingen eller från obehandlade områden i närheten måste resultaten betraktas med stor försiktighet.

Den franska studien (Boyer et al., 2007) jämförde larver provtagna i fält, på behandlade och obehandlade ytor inom samma område. I denna studie rapporterades inte resistensen i form av "Resistance Ratio", utan i stället utgående från hur snabbt larverna dog. Tetreau et al. (2013) menar att skillnaden även i detta fall kan förklaras av naturliga variationer, och enligt senare studier av Boyer et al. (2012) i samma område var den uppmätta resistensen (Resistance Ratio) i behandlade delområden inte signifikant högre än i obehandlade delområden (Ferreira och Neves Lobo Silva-Filha, 2013).

Även om beläggen för utveckling av resistens mot *Bti* hos myggor i fält verkar vara ganska svaga, har laboratorieförsök visat att resistens kan utvecklas mot enskilda protoxiner (Paris et al., 2011; Tetreau et al., 2012b; Tetreau et al., 2013).

#### Fråga 4

- *Leder behandling med Bti till eutrofiering av vattnet?*

Söksträng 4 gav relativt få träffar, och ännu färre visade sig ha någon relevans för frågan (de flesta artiklarna handlade om olika sätt att producera *Bti*). Ingen studie har hittats där författarna faktiskt har beräknat en massbalans för näringsämnen eller undersökt flöden av näringsämnen efter *Bti*-behandling. Parkes et al. (2004) visade i fältförsök att behandling mot knottlarver resulterade i en ökad biomassa av växtplankton. Su och Mulla (1999) visade i mikrokosmstudier tvärtom att *Bti* orsakade minskad algproduktion och fotosyntes, vilket resulterade i lägre grumlighet och syrehalt i behandlade volymer än i kontrollvolymerna, speciellt under den varma årstiden. Detta sågs som ett slags gynnsam bieffekt. I en australiensisk studie (Brown et al., 1999) rapporterades att *Bti* inte hade någon effekt på vattenkvaliteten.

#### Fråga 5

- *Hur persistent är Bti i miljön?*

I denna sökning (söksträng 5) är vi bara intresserade av själva interventionen (*Bti*-behandling) och utfallet, vilket i detta fall är relaterat till persistensen, dvs. hur länge effekten dröjer kvar i miljön. Termen som relaterar till målorganismen har tagits bort.

Vad som händer med *Bti* i miljön kan övervakas med hjälp av tre olika metoder (Tetreau et al., 2012a). För det första kan den insektsdödande effekten testas genom analys av prover från tidigare behandlade områden. För det andra kan *Bti*-sporer, som oftast finns kvar längre än den insektsdödande effekten, påvisas i fältprover genom odling i petriskålar. Slutligen kan man följa vad som händer med själva toxinerna, som ofta studeras med hjälp av enzymkopplade immunadsorberande analyser (ELISA). Tetreau et al. (2012a) menar att endast en kombination av dessa tre metoder möjliggör en noggrann övervakning av *Bti*-effekternas varaktighet i fält. På detta sätt kan det vara möjligt att avgöra om recirkulering av sporer leder till kristallproduktion eller inte.

I allmänhet anses persistensen hos *Bti* vara ganska låg (Lacey, 2007). Vissa studier har dock visat att *Bti* kan bestå under lång tid och att sporererna kan recirkuleras under vissa specifika (men dåligt kända) förhållanden i miljön (Boisvert och Boisvert, 1999; Tilquin et al., 2008; Varjal de Melo-Santos et al., 2009). Att resultaten är något motsägelsefulla kan möjligen förklaras av att olika studier har mätt persistensen på olika sätt. En systematisk utvärdering av denna fråga skulle kunna ge ett bättre underlag.

## Fråga 6 och 7

- Vad är den direkta effekten av *Bti*-behandling på boskap och husdjur?
- Vad är effekten av extrema myggförekomster på boskap och husdjur?

Med tanke på hur *Bti* verkar förväntar man sig inte att *Bti* ska vara giftigt för boskap eller husdjur (eller människor). *Bti* har tvärtom setts som en möjlighet att utveckla en integrerad biologisk bekämpning av zooparasitiska nematoder, det vill säga parasitära maskar i magtarmkanalen (Sinott et al., 2012).

Hälsorisker för däggdjur vid användning av *Bacillus thuringiensis*-baserade insekticider har sammanfattats i en review-artikel av Siegel (2001), som skriver att ett stort antal laboratoriestudier har visat att *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) och *Bt*-produkter inte är infekterande och att de är giftiga för däggdjur endast vid doser över  $10^8$  kolonibildande enheter (cfu) per mus (vilket på viktbasis motsvarar  $>10^{11}$  cfu för människor). I några laboratoriestudier har extremt höga doser som tilldelats invasivt (intranasalt, intracerebralt, eller intraperitonealt) resulterat i dödlighet. Några forskare har framkastat att individer med nedsatt immunförsvar kan vara utsatta för ökad risk för *Bt*-infektioner (Damgaard et al., 1997; Hernandez et al., 1998), men det finns inga publicerade laboratedata eller epidemiologiska studier som stöder detta (Siegel, 2001).

Det har också uttryckts oro över att *B. cereus*-enterotoxiner skulle kunna produceras av isolerad *Bt*. Ingen studie har dock lyckats påvisa någon relaterad sjukdom hos råttor eller får som matats med *Bt*-produkter. (Siegel, 2001).

I fråga 7 är vi egentligen inte intresserade av *Bti*-användning som sådan, och därför har interventionstermen i söksträng 7 ersatts med en exponeringsterm (exponering för målorganismerna). Om den tredje termen, som är relaterad till utfallet, tas bort blir antalet träffar relativt stort (4792). En mycket betydande del av dessa handlar dock om överföring av vektorburna sjukdomar som vanligen inte förekommer i Sverige. I Sverige är det upplevda problemet snarare knutet till det irritationsmoment som myggen utgör för boskapen.

Veterinären Mats Scharin har hävdade att både får och nötkreatur blir stressade och rastlösa av stor myggförekomst (2008-06-03, se Bilaga 2 i rapporten av Nilsson och Renöfalt (2009)). Får försvarar sig genom att lägga sig ner platt på marken och skaka på huvudet för att på så sätt skydda de mindre pälsbeklädda kroppsdelarna. Detta kan hindra dem från att äta ordentligt. Nötkreatur blir angripna över större delen av kroppen och kan i svåra fall drabbas av blodförlust. De går ofta omkring och försöker gnida av sig insekterna mot träd och buskar. Därigenom kan de få mindre tid för ätande. En konsekvens av både blodförlust och för lite mat kan bli att mjölkproduktionen minskar.

I Web of Knowledge påträffades bara en studie som undersökte sambandet mellan myggförekomst och mjölkproduktion. Riha et al. (1979) rapporterade signifikant högre mjölkproduktion (6,2 %) och fettinnehåll i mjölken (11,8 %) hos kor som behandlats med myggmedel. Det ska dock påpekas att myggmedel även kan hålla borta andra irriterande insekter.

## Fråga 8, 9 och 10

- *Hur påverkar förekomsten av myggor människors välbefinnande och fritidsaktiviteter?*

Hälsoproblem orsakade av icke-sjukdomsspridande myggor hänger främst samman med stress och oro till följd av de obehag som myggen ger upphov till samt med att möjligheterna till utomhusrekreation begränsas. Det finns många studier som undersökt hur förekomsten av myggburna sjukdomar påverkar människors hälsa; däremot är det vetenskapliga underlaget tunt när det gäller hur närvaron av mygg i sig påverkar människors hälsa och välmående. I Johan Hallbergs rapport *Myggen som folkhälsoproblem* (Hallberg, 2013) ges en överblick över den tillgängliga litteraturen.

Sökningar i EBSCOhost, Web of Knowledge och Google Scholar har visat på ytterligare en studie som är värd att nämna. Worobey et al. (2013) studerade hur förekomsten av asiatisk tigermygga påverkar barns fysiska utomhusaktivitet. Syftet var att undersöka huruvida närvaro av mygg kan vara ett hinder för fysisk aktivitet. I studien jämfördes hur mycket tid barn spenderade utomhus i områden där myggbekämpning ägt rum och i områden där ingen myggbekämpning ägt rum. Studien konstaterar att i områden där myggbekämpning ägt rum – och förekomsten av mygg var betydligt lägre – är barn utomhus i genomsnitt 129 minuter mer per dag. Antalet barn i studien var dock litet. Vid det första mättillfället deltog 4 barn från området där myggbekämpning ägt rum och 8 barn från området där ingen bekämpning ägt rum, och vid det andra tillfället deltog 18 respektive 8 barn. En annan studie har funnit ett liknande resultat för vuxna. Shepard et al. (2012) studerade cirka 300 hushåll och fann att skillnaden mellan den faktiska tid som spenderades på utomhusaktiviteter i myggtäta områden och den tid som kunde ha tillbringats på det sättet om myggbekämpning hade utförts uppgick till 1,88 timmar/vecka (endast sammanfattning tillgänglig).

Det vetenskapliga underlaget om hur myggor påverkar människors välbefinnande är begränsat, men det finns otaliga rapporter från enskilda personer om de obehag myggen skapar. Det upplevda obehaget stöds av flera studier som har visat att betalningsviljan för myggbekämpning överstiger kostnaden (Hirsch och Becker, 2009; Ofiara och Allison, 1986). Dessutom har Dickinson och Paskewitz (2012) visat att bland husägare i Madison, Wisconsin, var "obehagsfaktorn" viktigare än "sjukdomsfaktorn" som skäl för respondenternas efterfrågan på myggbekämpning.

- *Hur påverkar förekomsten av myggor turismen?*

Det finns få studier som undersökt hur närvaron av mygg påverkar turismen. I rapporten *Samhällsekonomisk analys av myggproblemets kostnader* (Soutukorva et al., 2013) ges en heltäckande redogörelse för det lilla underlag som finns, samt den studie författarna själva genomfört. Vad man kan konstatera är att det behövs mer forskning på detta område, särskilt om hur turismen påverkas lokalt av förekomsten av myggor.

- *Hur påverkar förekomsten av myggor bostadspriser?*

Under förberedelsearbetet inför 2014 års fastighetstaxering gjorde Skatteverket en utvärdering av situationen kring nedre Dalälven. På grund av det begränsade antalet försäljningar i området ombads en värderare med god lokalkännedom att bedöma fastighetsvärdena i området. Utvärderingen resulterade i en betydande sänkning av fastigheternas taxeringsvärden. Riktvärdet för en normaltomt för friliggande småhus sänktes från 120 000 kronor till 80 000 kronor. Även om förekomsten av myggor inte pekades ut som orsak till de lägre fastighetsvärdena, var detta enligt Skatteverket den främsta anledningen till minskningen (Per Husberg, Skatteverket, personligt meddelande, 28 januari 2014).

## Svenska rapporter (grålitteratur)

Detta avsnitt ger en översikt över relevanta och aktuella svenska rapporter.

Nilsson och Renöfält (2009) granskade resultaten av det kontrollprogram som bedrivits vid nedre Dalälven i samband med myggbekämpningen där. Förutom att författarna har sammanställt de artiklar och rapporter som kommit ut inom ramen för kontrollprogrammet, har de också gjort en kortfattad och allmänt hållen litteraturöversikt över effekter på såväl målorganismer som icke-målorganismer.

År 2010 fick Naturvårdsverket i uppdrag av regeringen att redovisa hur verket inom sitt ansvarsområde arbetar för att hantera identifierade problem med massförekomst av stickmygg i nedre Dalälvsområdet på kort och lång sikt. Rapporten (Naturvårdsverket, 2010) ger en god bakgrund till problematiken och situationen vid nedre Daläven.

En forskargrupp vid Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) fick i uppdrag av Naturvårdsverket att utveckla alternativa metoder att övervaka effekterna av myggbekämpningen vid nedre Dalälven. I rapporten (McKie och Goedkoop, 2010) finns en allmän introduktion till *Bti*, icke-målorganismer och övervakning. I appendix I (Levanoni och McKie, 2010) finns en litteraturöversikt, och i appendix II finns ett frågeformulär angående erfarenheter av *Bti*-användning som fyllts i av myggbekämpningsansvariga i Kanada (City of Winnipeg) och Frankrike (EID).

Som underlag för godkännandet av VectoBac G som produkt utarbetade Kemikalieinspektionen en produktutvärderingsrapport (KEMI, 2010a, b) i vilken både svenska och internationella studier granskades. Här finns flera studier av icke-målorganismer sammanställda, även sådana som publicerats efter det att Boisvert och Boisvert (2000) gjorde sin utvärdering.

År 2010 fick Länsstyrelsen i Gävleborg ett uppdrag av regeringen att redovisa en plan för hur det pågående arbetet med regionala landskapsstrategier kan bidra till att begränsa massförekomsten av stickmygg samtidigt som den biologiska mångfalden bevaras, och 2013 redovisade Länsstyrelsen uppnådda resultat av arbetet enligt den planen. Till slutrapporten (Lundqvist et al., 2013) hörde 21 bilagor, däribland många forskningsrapporter som är relevanta för de frågor som diskuterats ovan:

- Bilaga 7 (Gerhard et al., 2013) rapporterar kortfattat om användningen av *Bti* i några länder i Europa och Nordamerika.
- Bilaga 8 (Soutukorva et al., 2013) rapporterar om samhällsekonomiska aspekter av myggproblematiken, till exempel betalningsviljan för att få bort myggen. Informationen är i huvudsak relevant för fråga 9.
- Bilaga 10 (Hallberg, 2013) diskuterade folkhälsoaspekter och är relevant för fråga 8.
- Bilaga 19 (Ojala och Lidskog, 2013) är en undersökning om människors syn på myggen runt sjön Björken. Relevant för fråga 8.

I en examensuppsats från Psykologiska institutionen vid Uppsala universitet undersöktes upplevelser av boendemiljö och psykisk hälsa hos boende i områden med förekomst av översvämningsmygg (Nordström, 2010). Uppsatsen är relevant för fråga 8.

## Slutsatser

*Bti*-baserade insekticider har använts sedan 1980-talet i många länder och på alla kontinenter. Det finns många studier av olika aspekter på *Bti*, och det har även gjorts åtskilliga litteratursammanställningar (review-artiklar) i ämnet. Det finns därmed en relativt stor samlad kunskap inom ämnet och många erfarenheter att ta lärdom av. Trots detta finns det vissa kunskapsluckor. Nedan redovisas (1) vad som har undersökts i åtskilliga studier med i stort sett samstämmiga resultat, (2) vad som endast har undersökts i ett fåtal studier och där mer forskning behövs för att förbättra kunskapsläget, och (3) vad som har undersökts i åtskilliga studier men där resultaten är blandade.

### Väl känt från åtskilliga studier

Det är väl etablerat att den potentiella effektiviteten hos *Bti*-baserade produkter för bekämpning av mygglarver är hög. Detta grundar sig på att *Bti* har visat sig vara effektivt för att döda mygglarver i laboratorieexperiment eller inom väl avgränsade kläckningsområden ute i naturen.

Det är också ganska väl etablerat att specificiteten hos *Bti* är hög. Specificiteten kan förklaras utifrån verknings sättet hos *Bti*, som är komplext men relativt väl känt. Den största gruppen av icke-målorganismer som har visat sig vara känsliga för direkt påverkan av *Bti* utgörs av olika chironomider (fjädermyggor). Knottlarver (*Simuliidae*) är också mycket känsliga för *Bti*, men dessa anses ofta vara målorganismer.

Trots många undersökningar har endast ett fåtal studier indikerat resistens mot *Bti* i naturen, och dessa studier har ifrågasatts bland annat på grund av brister i de metoder som använts. I laboratorieförsök har endast en liten grad av resistens mot *Bti* kunnat uppnås, medan en starkare resistens mot enskilda *Bti*-protoxiner har kunnat avlas fram.

Det verkar vara väl etablerat att *Bti*-produkter inte är infekterande och att de är giftiga för däggdjur (inklusive människan) endast vid mycket höga doser.

Svaren på följande frågor är således möjliga att hänföra till kategorin "väl känt från ett flertal studier":

- *Hur stor är den potentiella effektiviteten hos Bti som bekämpningsmedel mot översvämningsmygg?*
- *Vad är den direkta effekten av Bti-behandling på icke-målorganismer?*
- *I vilken utsträckning leder behandling med Bti till resistens hos myggor?*
- *Vad är den direkta effekten av Bti-behandling på boskap och husdjur?*

### **Få undersökningar och osäkrare underlag**

Utglesning eller avlägsnande av en viss art från ett system kan få negativa eller positiva effekter på andra arter, vilket i sin tur kan påverka t.ex. artrikedom eller artdominans i systemet. Det finns dock mycket få studier av sådana effekter där *Bti* använts. I synnerhet saknas långtidsstudier inom området. Det faktum att studierna är få innebär inte att frågorna är oviktiga. Tvärtom efterlyses mer forskning inom detta område i den aktuella litteraturen.

Några studier har berört sambanden mellan *Bti*-behandling och vattenkvalitet. I Web of Knowledge påträffades dock inte någon studie där näringsbudgeten undersökts i *Bti*-behandlade områden.

Det finns också relativt lite forskning om hur myggen påverkar människors friluftsliv och välbefinnande samt turism och samhällsekonomi. De svenska rapporter som tagits fram (Hallberg, 2013; Nordström, 2010; Ojala och Lidskog, 2013; Soutukorva et al., 2013) utgör ett betydande bidrag till kunskapsläget. Ytterligare några studier har visat att både barn och vuxna vistas utomhus i mindre utsträckning i myggtäta områden, och att betalningsviljan för att bekämpa myggen är relativt stor.

En studie har också visat att mjölkproduktionen kan bli lägre hos kor som inte behandlas med myggmedel. Den helt övervägande delen av litteraturen om myggors effekter på boskap handlar dock om överföring av vektorburna sjukdomar. Litteratur om stressrelaterade effekter förekommer betydligt mer sparsamt.

Frågor där ytterligare forskning behövs är:

- *Hur stora är de indirekta effekterna av Bti-behandling på olika nivåer i ett ekosystem?*
- *Leder behandling med Bti till eutrofiering av vattnet?*
- *Hur påverkar förekomsten av myggor människors välbefinnande och fritidsaktiviteter?*
- *Hur påverkar förekomsten av myggor turismen?*
- *Hur påverkar förekomsten av myggor bostadspriserna?*
- *Vad är (den stressrelaterade) effekten av extrema myggförekomster på boskap och husdjur?*

## Åtskilliga studier men blandade resultat

*Bti* har enligt kontrollerade och småskaliga försök hög effektivitet vid bekämpning av mygglarver, men effektiviteten har ifrågasatts när behandlingen tillämpats som enda metod på landskaps- eller samhällsnivå. Boyce et al. (2013) fann undersökningar med varierande resultat när de gjorde en systematisk utvärdering av studier utförda i områden där denguefeber förekommer. Internationellt finns dock även många studier av effektiviteten hos *Bti* i områden där denguefeber inte förekommer. Det borde vara möjligt att genomföra en systematisk utvärdering av litteraturen liknande den som gjordes av Boyce et al. (2013), men med ett bredare anslag eller tydligare anpassning till svenska förhållanden.

Den insektsdödande effekten hos *Bti* i miljön anses generellt dröja kvar under ganska kort tid (storleksordningen veckor-månader). Flera studier har dock visat att *Bti*-sporer kan bevaras betydligt längre och att bakterien vid vissa förhållanden kan återbildas (Tetreau et al., 2012a). De studier som specifikt har undersökt denna fråga är inte särskilt många, men de skulle kunna räcka för en systematisk utvärdering.

Två möjliga ämnen för kommande systematiska utvärderingar av den samlade litteraturen skulle enligt det ovan sagda kunna vara:

- *Hur effektivt kan Bti-behandling minska förekomsten av översvämningsmyggor i stor skala (landskap/samhälle)?*
- *Hur persistent är Bti i naturen?*

## Referenser

- Balcer, M.D., Schmude, K.L., Snitgen, J., 1999. *Long-term Effects of the Mosquito Control Agents Bti (Bacillus Thuringiensis Israelensis) and Methoprene on Non-target Macroinvertebrates in Wetlands in Wright County, Minnesota (1997-1998)*. LSRI, Wisconsin.
- Boisvert, M., 2007. Utilization of Bacillus thuringiensis var. israelensis (Bti)-Based Formulations for the Biological Control of Mosquitoes in Canada, i: Côté, J.C., Otvos, I.S., Schwartz, J.L., Vincent, C. (red.), *6th Pacific Rim Conference on the Biotechnology of Bacillus thuringiensis and its Environmental Impact, Victoria BC, Canada, Oct 30 - Nov 3, 2005*, pp. 87-93.
- Boisvert, M., Boisvert, J., 1999. Persistence of toxic activity and recycling of Bacillus thuringiensis var. israelensis in cold water: Field experiments using diffusion chambers in a pond. *Biocontrol Science and Technology* **9**, 507-522.
- Boisvert, M., Boisvert, J., 2000. Effects of Bacillus thuringiensis var. israelensis on target and nontarget organisms: a review of laboratory and field experiments. *Biocontrol Science and Technology* **10**, 517-561.
- Boyce, R., Lenhart, A., Kroeger, A., Velayudhan, R., Roberts, B., Horstick, O., 2013. Bacillus thuringiensis israelensis (Bti) for the control of dengue vectors: systematic literature review. *Tropical Medicine & International Health* **18**, 564-577.
- Boyer, S., Paris, M., Jegou, S., Lemperiere, G., Ravanel, P., 2012. Influence of insecticide Bacillus thuringiensis subsp israelensis treatments on resistance and enzyme activities in Aedes rusticus larvae (Diptera: Culicidae). *Biological Control* **62**, 75-81.
- Boyer, S., Tilquin, M., Ravanel, P., 2007. Differential sensitivity to Bacillus thuringiensis var. israelensis and temephos in field mosquito populations of Ochlerotatus cataphylla (Diptera: Culicidae): Toward resistance? *Environmental Toxicology and Chemistry* **26**, 157-162.
- Brown, M.D., Thomas, D., Mason, P., Greenwood, J.G., Kay, B.H., 1999. Laboratory and field evaluation of the efficacy of four insecticides for Aedes vigilax (Diptera: Culicidae) and toxicity to the nontarget shrimp Leander tenuicornis (Decapoda: Palaemonidae). *Journal of Economic Entomology* **92**, 1045-1051.
- Damgaard, P.H., Granum, P.E., Bresciani, J., Torregrossa, M.V., Eilenberg, J., Valentino, L., 1997. Characterization of Bacillus thuringiensis isolated from infections in burn wounds. *Fems Immunology and Medical Microbiology* **18**, 47-53.
- Dickinson, K., Paskewitz, S., 2012. Willingness to Pay for Mosquito Control: How Important Is West Nile Virus Risk Compared to the Nuisance of Mosquitoes? *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* **12**, 886-892.
- Ferreira, L.M., Neves Lobo Silva-Filha, M.H., 2013. Bacterial larvicides for vector control: mode of action of toxins and implications for resistance. *Biocontrol Science and Technology* **23**, 1137-1168.
- Gerhard, K., Iwarsson, M., Tunón, H., 2013. *Sammanställning och bedömning av myggbegränsningsmetoder i Sverige och andra länder*. Länsstyrelsen i Gävleborg, Rapport **2013:12**, Gävle.
- Goldberg, L.J., Margalit, J., 1977. Bacterial spore demonstrating rapid larvicidal activity against anopheles-sergentii, uranotaenia-unguiculata, culex-univitattus, aedes-aegypti and culex-pipiens. *Mosquito News* **37**, 355-361.
- Gonsalves, L., Law, B., Webb, C., Monamy, V., 2013. Foraging Ranges of Insectivorous Bats Shift Relative to Changes in Mosquito Abundance. *Plos One* **8**.
- Hallberg, J., 2013. *Myggen som folkhälsoproblem*. Länsstyrelsen i Gävleborg, Rapport **2013:23**, Gävle.
- Hernandez, E., Ramisse, F., Ducoureau, J.P., Cruel, T., Cavallo, J.D., 1998. Bacillus thuringiensis subsp. konkukian (serotype H34) superinfection: Case report and experimental evidence of pathogenicity in immunosuppressed mice. *Journal of Clinical Microbiology* **36**, 2138-2139.
- Hershey, A.E., Lima, A.R., Niemi, G.J., Regal, R.R., 1998. Effects of Bacillus thuringiensis israelensis (Bti) and methoprene on nontarget macroinvertebrates in Minnesota wetlands. *Ecological Applications* **8**, 41-60.
- Hirsch, H., Becker, N., 2009. Cost-benefit analysis of mosquito control operations based on microbial control agents in the upper Rhine valley (Germany). *European Mosquito Bulletin* **27**, 47-55.

- Hongyu, Z.Y., Yang, C.J., Huang, J.Y., Lu, L., 2004. Susceptibility of field populations of *Anopheles sinensis* (Diptera: Culicidae) to *Bacillus thuringiensis* subsp *israelensis*. *Biocontrol Science and Technology* **14**, 321-325.
- Jackson, J.K., Horwitz, R.J., Sweeney, B.W., 2002. Effects of *Bacillus thuringiensis israelensis* on black flies and nontarget macroinvertebrates and fish in a large river. *Transactions of the American Fisheries Society* **131**, 910-930.
- Karlsson, M., Terstad, J., 2012. *Naturskyddsföreningens svar på remiss rörande ansökan om spridning av bekämpningsmedel Vectobac G i Deje, Forshaga kommun respektive Nedre Dalälvsområdet*. Svenska Naturskyddsföreningen.
- KEMI, 2010a. *VectoBac G*. Product Assessment Report – Change of condition (F-3422-221-09), Stockholm.
- KEMI, 2010b. *VectoBac G*. Product Assessment Report (F-3422-221-09), Stockholm.
- Lacey, L.A., 2007. *Bacillus thuringiensis* serovariety *israelensis* and *Bacillus sphaericus* for mosquito control. *Journal of the American Mosquito Control Association* **23**, 133-163.
- Levanoni, O., McKie, B., 2010. Assessing the effects of the mosquito control agent Bti (*Bacillus thuringiensis* serovar *israelensis*): a literature review of Swedish and international studies, i: McKie, B., Goedkoop, W. (red.), *Final Report, Development of alternative approaches for monitoring the effects of the mosquito control agent Bti on ecosystems of the Dalälven catchment*. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Liberati, A., Altman, D.G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gotzsche, P.C., Ioannidis, J.P.A., Clarke, M., Devereaux, P.J., Kleijnen, J., Moher, D., 2009. The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. *Plos Medicine* **6**.
- Lundqvist, A.-C., Widemo, M., Lindquist, I., 2013. *Förslag till hur myggproblemet vid Nedre Dalälven kan hanteras på lång sikt*. Länsstyrelsen Gävleborg, Rapport 500-8033-13, Gävle.
- McKie, B., Goedkoop, W., 2010. *Development of alternative approaches for monitoring the effects of the mosquito control agent Bti on ecosystems of the Dalälven catchment*. Department of Aquatic Sciences & Assessment, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Naturvårdsverket, 2010. *Myggproblemen i Nedre Dalälvsområdet 2010 - Så arbetar Naturvårdsverket med frågan*. Naturvårdsverket Rapport NV-03659-10, Stockholm.
- Niemi, G.J., Hershey, A.E., Shannon, L., Hanowski, J.M., Lima, A., Axler, R.P., Regal, R.R., 1999. Ecological effects of mosquito control on zooplankton, insects, and birds. *Environmental Toxicology and Chemistry* **18**, 549-559.
- Nilsson, C., Renöfält, B., 2009. *Mygg och Bti i nedre Dalälven, Utvärdering av ett vetenskapligt uppföljningsprogram*. Naturvårdsverket, Rapport **6305**, Stockholm.
- Nordström, A., 2010. *Upplevelser av boendemiljö och psykisk hälsa hos boende i områden med förekomst av översvämningsmygg*. Psykologiska institutionen, Uppsala universitet.
- Ofiara, D.D., Allison, J.R., 1986. A comparison of alternative mosquito abatement methods using benefit-cost-analysis. *Journal of the American Mosquito Control Association* **2**, 522-528.
- Ojala, M., Lidskog, R., 2013. *Mygg och människor vid sjön Björken: Upplevelser av myggsituationen och attityder till bekämpningsåtgärder*. Länsstyrelsen i Gävleborg, Rapport **2013:19**, Gävle.
- Paris, M., Tetreau, G., Laurent, F., Lelu, M., Despres, L., David, J.-P., 2011. Persistence of *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) in the environment induces resistance to multiple Bti toxins in mosquitoes. *Pest Management Science* **67**, 122-128.
- Parkes, A.H., Kalf, J., Boisvert, J., Cabana, G., 2004. Feeding by black fly (Diptera: Simuliidae) larvae causes downstream losses in phytoplankton, but not bacteria. *Journal of the North American Benthological Society* **23**, 780-792.
- Paul, A., Harrington, L.C., Zhang, L., Scott, J.G., 2005. Insecticide resistance in *Culex pipiens* from New York. *Journal of the American Mosquito Control Association* **21**, 305-309.

- Poulin, B., 2012. Indirect effects of bioinsecticides on the nontarget fauna: The Camargue experiment calls for future research. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology* **44**, 28-32.
- Poulin, B., Lefebvre, G., Paz, L., 2010. Red flag for green spray: adverse trophic effects of Bti on breeding birds. *Journal of Applied Ecology* **47**, 884-889.
- Ramírez-Lepe, M., Ramírez-Suero, M., 2012. Biological Control of Mosquito Larvae by *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis*, i: Perveen, F. (red.), *Insecticides - Pest Engineering*. InTech, Rijeka, Croatia, pp. 239-264.
- Riha, J., Minar, J., Lamatova, Z., Matouskova, O., 1979. Economic importance of the prevention of losses caused by the blood-sucking diptera in grazing cattle. *Veterinarni Medicina* **24**, 275-283.
- Shepard, D., Halasa, Y., Wittenberg, E., Fonseca, D., Farajollah, A., Healy, S., Gaugler, R., Bartlett-Healy, K., Strickman, D., Clark, G., 2012. *Cost-benefit analysis of an area-wide pest management program to control Asian tiger mosquito in New Jersey*. USDA, [http://www.ars.usda.gov/research/publications/Publications.htm?seq\\_no\\_115=288175](http://www.ars.usda.gov/research/publications/Publications.htm?seq_no_115=288175).
- Siegel, J.P., 2001. The mammalian safety of *Bacillus thuringiensis*-based insecticides. *Journal of Invertebrate Pathology* **77**, 13-21.
- Sinott, M.C., Cunha Filho, N.A., Castro, L.L.D., Lorenzon, L.B., Pinto, N.B., Capella, G.A., Leite, F.P.L., 2012. *Bacillus* spp. toxicity against *Haemonchus contortus* larvae in sheep fecal cultures. *Experimental Parasitology* **132**, 103-108.
- Soutukorva, Å., Johansson, K., Hasselström, L., Cole, S., Remvig, H., Kriström, B., 2013. *Samhällsekonomisk analys av myggproblemetets kostnader*. Länsstyrelsen i Gävleborg, Rapport 2013:16, Gävle.
- Su, T.Y., Mulla, M.S., 1999. Microbial agents *Bacillus thuringiensis* ssp *israelensis* and *Bacillus sphaericus* suppress eutrophication, enhance water quality, and control mosquitoes in microcosms. *Environmental Entomology* **28**, 761-767.
- Tetreau, G., Alessi, M., Veyrenc, S., Perigon, S., David, J.-P., Reynaud, S., Despres, L., 2012a. Fate of *Bacillus thuringiensis* subsp *israelensis* in the Field: Evidence for Spore Recycling and Differential Persistence of Toxins in Leaf Litter. *Applied and Environmental Microbiology* **78**, 8362-8367.
- Tetreau, G., Bayyareddy, K., Jones, C.M., Stalinski, R., Riaz, M.A., Paris, M., David, J.-P., Adang, M.J., Despres, L., 2012b. Larval midgut modifications associated with Bti resistance in the yellow fever mosquito using proteomic and transcriptomic approaches. *BMC Genomics* **13**.
- Tetreau, G., Stalinski, R., David, J.-P., Despres, L., 2013. Monitoring resistance to *Bacillus thuringiensis* subsp *israelensis* in the field by performing bioassays with each Cry toxin separately. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz* **108**, 894-900.
- Tilquin, M., Paris, M., Reynaud, S., Despres, L., Ravel, P., Geremia, R.A., Gury, J., 2008. Long Lasting Persistence of *Bacillus thuringiensis* Subsp *israelensis* (Bti) in Mosquito Natural Habitats. *Plos One* **3**.
- Varjal de Melo-Santos, M.A., de Araujo, A.P., Maranhao Rios, E.M., Regis, L., 2009. Long lasting persistence of *Bacillus thuringiensis* serovar. *israelensis* larvicidal activity in *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) breeding places is associated to bacteria recycling. *Biological Control* **49**, 186-191.
- Worobey, J., Fonseca, D.M., Espinosa, C., Healy, S., Gaugler, R., 2013. Child outdoor physical activity is reduced by prevalence of the asian tiger mosquito, *aedes albopictus*. *Journal of the American Mosquito Control Association* **29**, 78-80.



Stickmyggor kan orsaka problem både som överförare av sjukdomar och som irritationsmoment. En vanlig metod att begränsa myggförekomst är att använda biologiska bekämpningsmedel som innehåller Bti. Men vilka konsekvenser får detta för människor och för miljön? EviEM:s kunskapsöversikt redogör för den forskning som har bedrivits inom området.

[www.eviem.se](http://www.eviem.se)

En EviEM Kunskapsöversikt ger en översiktlig bild av kunskapsläget inom en viss miljöfråga. Den baseras på en begränsad litteratursökning och gör därför inte anspråk på att vara heltäckande. Ett av syftena är att undersöka om det finns underlag för en systematisk utvärdering av frågan och om det finns anledning att genomföra en sådan.

Mistra EviEM  
Kungl. Vetenskapsakademien  
Box 50005, 104 05 Stockholm

*Besök*

Lilla Frescativägen 4A, 114 18 Stockholm

*Telefon* 08-673 95 00

*E-mail* [info@eviem.se](mailto:info@eviem.se)