

PM

2018-06-04

Handläggare:
Magnus Land

Indirekta effekter av myggbekämpning med Bti på icke-målorganismer

Förstudie inför beslut om systematisk översikt

Bakgrund

Extrema förekomster av översvämningsmygg är ett återkommande problem i delar av Sverige, framförallt i vissa områden runt nedre Dalälven. I Sverige består problemet kopplat till mygg i huvudsak av att de är ett stort irritationsmoment för människor som bor och vistas i området. Myggförekomsterna kan bli så stora att de hindrar både människor och husdjur från att vistas utomhus. I många länder är flera myggarter även vektorer för sjukdomar, vilket innebär att de kan sprida smitta från en individ till en annan (Boisvert, 2007). Ett exempel på en sådan myggart är *Aedes albopictus* som kan sprida flera olika sjukdomar, bland annat dengue, och i Italien har den orsakat utbrott av chikungunya (Rezza et al., 2007). *Ae. albopictus* har även spridit sig till Tyskland (Becker et al., 2017) men den förväntas inte kunna överleva i Sverige (Mohlmann et al., 2017). Däremot finns flera andra myggarter som potentiellt kan sprida sjukdomar i Sverige, exempelvis *Culex pipiens* (West Nile Virus), *Ae. caspius* (harpest), och *Ae. cinereus* (sindbis). De vanligaste arterna av översvämningsmygg i Sverige är dock *Ae. sticticus*, som potentiellt kan sprida harpest (Lundström et al., 2011) och Rift Valley fever virus (Iranpour et al., 2011), och *Ae. vexans* som kan sprida ett flertal olika virus (Gendernalik et al., 2017; Sebesta and Gelbic, 2016).

Runt om i världen har det gjorts många försök att bekämpa mygg med olika metoder, bland annat med hjälp av kemiska bekämpningsmedel. En nackdel med sådana bekämpningsmedel är att de ofta inte bara angriper myggen utan även har en betydande effekt på icke-målorganismer. Ett alternativ till kemiska bekämpningsmedel är biologiska bekämpningsmedel, det vill säga biotekniska organismer (produkter som består av eller innehåller levande organismer och som har framställts i bekämpningssyfte eller annat tekniskt syfte). År 1976 isolerades för första gången den naturligt förekommande bakterien *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* (Bti), och det visade sig då att den var mycket giftig för myggelarver (Goldberg and Margalit, 1977). Sedan tidigt 1980-tal har Bti-baserade bekämpningsmedel funnits kommersiellt (Boisvert, 2007), och 2011 inkluderades *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* Serotype H-14, Strain AM65-52 i förteckningen över verksamma ämnen som får ingå i biocidprodukter med krav som beslutats på gemenskapsnivå (bilaga I till EU-direktiv 98/8/EC om utsläppande av biocidprodukter på marknaden, numera ersatt av förordning (EU) nr 528/2012).

Bti anses i allmänhet vara både effektivt och målspecifikt, och Bti-baserade produkter har använts på alla kontinenter utom Antarktis, i totalt fler än 25 länder (Boisvert, 2007). Specificiteten har förklarats av hur de giftiga substanserna i *Bti* verkar, vilket kan beskrivas som en flerstegsprocess

(Ramírez-Lepe and 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 myggäggs, puppor eller fullbildade myggor.

I Sverige har storskalig användning av *Bti* i huvudsak förekommit i våtmarker vid nedre Dalälven där bekämpningen startade 2002. Användningen av *Bti* som bekämpningsmedel är dock 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 orsakerna till de extrema myggförekomsterna än att använda *Bti* (Nilsson and 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 and Terstad, 2012). Även internationellt har frågan om negativa konsekvenser för miljön lyfts (Kastel et al., 2017; Poulin, 2012).

Frågeställningens ursprung och identifierade intressenter

Naturvårdsverket fick 2013 ett uppdrag av regeringen (M2013/1584/Nm) att utvärdera olika effekter av biologisk bekämpning av översvämningsmyggor med VectoBac G. VectoBac G är en granulär form av *Bti* som har godkänts av Kemikalieinspektionen (KEMI, 2010). 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.

I uppdraget ingick även att utreda risken för och följderna av att målorganismerna blir resistent mot bekämpningsmedlet, och att *Bti*-användningen leder till övergödning. Myndigheten skulle vidare utreda eventuella kumulativa effekter av att bekämpningen upprepas under flera år. Uppdraget redovisades till Regeringskansliet (Miljödepartementet) den 1 november 2015.

I samband med Naturvårdsverkets regeringsuppdrag gjorde Mistras råd för evidensbaserad miljövard (EviEM) en kunskapsöversikt där det vetenskapliga underlaget för ovanstående frågeställningar undersöktes (Land and Miljand, 2014). Undersökningen visade att det för många av frågorna finns relativt få vetenskapliga studier publicerade som ger svar. Och för många av

frågeställningarna där flera studier finns att tillgå har resultaten varierat, vilket kan göra det svårt att enkelt dra generella slutsatser. De flesta av frågorna som Naturvårdsverket hade i uppdrag att utreda är därför inte helt besvarade, och Naturvårdsverket har nu ett nytt uppdrag (M2016/01366/Nm) att bevaka forskningsläget vad gäller bekämpning av översvämningsmygg och sprida information om långsiktiga åtgärder (<http://www.naturvardsverket.se/oversvamningsmygg>).

Övriga myndigheter som varit involverade i frågor kring myggbekämpning med Bti är Länsstyrelsen i Gävleborgs län, Länsstyrelsen i Värmlands län, Socialstyrelsen, Skogsstyrelsen, Statens jordbruksverk, Statens veterinärmedicinska anstalt, Havs- och vattenmyndigheten, Kemikalieinspektionen och ArtDatabanken.

Förutom nämnda myndigheter är Nedre Dalälvens intresseförening och dess dotterbolag Nedre Dalälvens Utveckling AB, som gemensamt benämns NeDa, viktiga intressenter. NeDa ägs av medlemmar som utgörs av företag, lokala myndigheter och övriga organisationer. NeDa bedriver genom Biologisk Myggkontroll bekämpning av översvämningsmygg i Avesta, Gävle, Heby, Sala, Sandviken, Tierp och Älvkarleby kommun. Finansieringen av myggbekämpningen delas mellan berörda kommuner och staten, delvis genom landsbygdsprogrammet (<http://mygg.se/>).

Till övriga intressenter hör bland annat miljöorganisationer, aktörer inom besöksnäringen, och inte minst de boende inom berörda områden.

Relativt få forskare verksamma i Sverige har arbetat med frågor kring Bti. Vid Uppsala universitet finns en grupp som arbetat med ämnet sedan många år (Lundstrom et al., 2010a; Lundstrom et al., 2010b; Ostman et al., 2008; Vinnersten et al., 2015; Vinnersten et al., 2009; Vinnersten et al., 2010). Flera personer därifrån arbetar också aktivt med myggbekämpning inom Biologisk Myggkontroll. Enstaka studier har också publicerats av forskare verksamma vid SLU Alnarp (Schorkopf et al., 2016) respektive Ultuna (McKie et al., 2015; Schneider et al., 2017), Linköpings universitet (Lundstrom et al., 2010b; Vinnersten et al., 2009; Vinnersten et al., 2010), och Umeå universitet (Malmqvist et al., 2004).

Formulering av fråga för en systematisk översikt

I kunskapsöversikten som genomfördes av Mistra Eviem (Land and Miljand, 2014) identifierades två frågor som kunde vara tänkbara för en systematisk översikt. Den ena var ”*Hur effektivt kan Bti-behandling minska förekomsten av översvämningsmyggor i stor skala (landskap/sambälle)?*”, och den andra var ”*Hur persistent är Bti i naturen?*”. För båda dessa frågor finns relativt många studier samtidigt som de har visat varierande resultat. En systematisk översikt skulle därför kunna hjälpa till att sammanställa och syntetisera den tillgängliga kunskapen inom dessa frågor. Den första frågan är dock inte särskilt angelägen att svara på ur ett svenskt perspektiv. Även om resultaten har varierat globalt sett så har bekämpningen i Sverige visat sig vara tillräckligt effektiv för att det ska vara intressant att fortsätta använda Bti. Den andra frågan är egentligen inte meningsfullt formulerad, och det är det som är orsaken till att resultaten till synes har varierat. Olika studier har använt olika metoder och har undersökt olika saker.

Vid en förnyad kontakt med Naturvårdsverket i mars 2018 framkom att den fråga angående Bti-behandling som är viktigast att besvara nu är hur hela ekosystem påverkas av Bti-behandlingar. Det är klarlagt att relativt få arter av icke-målorganismer påverkas direkt av Bti. De som gör det är i

huvudsak fjädermyggselarver (Chironomidae) och knottlarver (Simuliidae). Men frågan är hur andra icke-målorganismer påverkas indirekt genom förändringar i näringsväven.

Den fråga som föreslås för en systematisk utvärdering är *"Hur påverkas icke-målorganismer indirekt av myggbekämpning med Bti?"*. Frågan kan brytas ned i följande komponenter:

Population: Organismer som inte påverkas av de kristaller som produceras då Bti bildar sporer.

Intervention: Bti-behandling av våtmarksområden

Jämförelseobjekt: Våtmarksområden utan Bti-behandling

Utfall: Artrikedom, abundans, reproduktionsförmåga.

Både population och utfall är relativt vagt definierade, och dessa delar av frågan kommer att behöva preciseras i samarbete med ämnesexperter och intressenter.

Vetenskapligt underlag

Vid EviEMs kunskapssammanställning bedömdes att det fanns för få studier av den föreslagna frågan för att det skulle vara meningsfullt att genomföra en systematisk översikt. Sedan dess har det dock tillkommit en rad mycket relevanta studier, och nya litteratursökningar visar att underlaget kan vara fullt tillräckligt. Antalet träffar vid relativt snäva sökningar (stor andel relevanta artiklar bland sökresultaten, men också stor risk att relevanta artiklar förbises) visas i tabell 1. Med individuell anpassning för varje databas användes följande söksträng:

(mosquito* OR Anopheles OR Aedes OR Culex OR Culiseta OR Limatus OR Uranotaenia OR Psorophora OR Mansonia OR Armigeres OR Trichoprospon OR Coquillettidia OR Tripteroides OR larv*) **AND** (bti OR israelensis OR vectobac*) **AND** (biodiversity OR abundance OR "species richness" OR reproduction OR "food web" OR ecosystem OR indirect)

Tabell 1. Preliminära sökresultat.

Databas/Plattform	Publikationsår	Antal träffar	Antal utan dubletter	Datum
Web of Science	Alla år	257	257	2018-04-25
Scopus	Alla år	133	19	2018-04-26
Academic Search Premier	Alla år	44	4	2018-04-26
Proquest	Alla år	171 (297)	49	2018-04-26
Pubmed	Alla år	9	0	2018-04-26
DOAJ	Alla år	89	*	2018-04-26
Summa		532	329	

*Ej utvärderat

Förutom den vetenskapliga litteraturen finns en hel del grå litteratur att tillgå, det vill säga rapporter av olika slag som inte har genomgått ett oberoende granskningsförfarande.

Från det att användningen av Bti inleddes vid nedre Dalälven har Naturvårdsverket finansierat ett kontrollprogram för att undersöka eventuella miljöeffekter, och efter sju års verksamhet granskades kontrollprogrammet av Nilsson and Renöfalt (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. Även i Tyskland har kontrollprogram bedrivits, framförallt i övre Rehdalen där myggbekämpning bedrivits i stor skala under lång tid. Där har en stor mängd rapporter producerats (<http://www.kabsev.de/>), men även denna litteratur har kritiserats (Carsten Brühl, personligt samtal, 2018-03-27). Betydande mängder grå litteratur finns också att hämta från t ex Frankrike och Kanada.

Det är inte bara den grå litteraturen som har kritiserats för bristande kvalitet. Även delar av den vetenskapliga litteraturen har blivit kritiserad (Jacques Boisvert, personligt samtal, 2014-10-27). En samlad analys av samtliga studier av frågan, där både vetenskaplig litteratur och grå litteratur bedöms efter samma kvalitetskriterier, kan bidra till att klargöra vilka osäkerheter som finns och hur stark evidensen är för indirekta effekter av Bti.

Bedömning av frågans angelägenhet

Som ett stöd vid bedömning av hur angeläget det är att besvara en fråga genom en systematisk översikt har ett antal kriterier formulerats. En bedömning av om den föreslagna frågan uppfyller respektive kriterium visas i tabell 2.

Tabell 2. Uppfyllelse av kriterier för bedömning av frågans angelägenhet.

Kriterium	J/N	Kommentar
Behandlar förhållanden i naturmiljön	J	
Relevant för svenska förhållanden	J	Myggbekämpning med Bti har skett i Sverige sedan 2002.
Väldefinierad, konceptuellt definierad och relativt avgränsat omfång	J	Population och utfall kan behöva preciseras.
Behandlar problemformuleringar eller åtgärder där det vetenskapliga stödet är omtvistat eller otillräckligt känt.	J	Resultaten har varierat mellan olika studier.
Avhandlat i den vetenskapliga litteraturen (eller genom andra undersökningar) i sådan omfattning att en systematisk översikt kan genomföras.	J	Flera studier har tillkommit de senaste åren. Grå litteraturen är relativt riklig.

Kriterium	J/N	Kommentar
Är kontroversiellt och eller föremål för stort allmänt intresse.	J	Detta är en fråga som engagerar många. Det finns både starka förespråkare och starka motståndare. Ett flertal debattartiklar har publicerats i dagspressen.
Betraktas som en angelägen fråga för miljöpolitiken.	J	Myggbekämpning och användning av Bti har behandlats i flera regeringsuppdrag (M2016/01366/Nm, M2013/1584/Nm,). Prövning av dispens från förbud att sprida bekämpningsmedel från helikopter eller i Natura 2000-områden görs av Naturvårdsverket och i vissa fall av regeringen.
Behandlar nya former av miljöpåverkan, miljöförändringar eller miljöåtgärder.	Nej	Sedan 2002 i Sverige, sedan sent 1970-tal internationellt.
Behandlar miljöstörningar eller åtgärder som påverkar stora naturvärden och/eller stora delar av landet.	J	Berör Färnebofjärdens nationalpark och andra skyddade områden (Natura 2000).
Behandlar åtgärder som är särskilt kostsamma eller på annat sätt resurskrävande.	N	Verksamheten bedrivs av ett fåtal personer och kostar relativt lite. För 2017 var budgeten för myggbekämpning med Bti i nedre Dalälven ca 3,2 MSEK (http://mygg.se/).
Behandlar åtgärder som i ett visst avseende är bra för miljön men som i ett annat avseende kan vara mindre fördelaktigt.	?	Förbättrar utemiljön för människor, husdjur och boskap men kan ha negativa effekter på naturmiljön.
Behandlar miljöproblem som för närvarande åtgärdas med flera alternativa metoder.	J	Naturvårdsverket och andra aktörer utreder alternativa metoder såsom hävd av gräsmarker, buskröjning, dikesrensning, ändrad vattenreglering och sterilisering av mygghannar (https://www.naturvardsverket.se/oversvaminsmygg). Dessa metoder tros dock inte vara lika effektiva som Bti-behandling (Lundström and Schäfer, 2016).

Slutsatser

Bekämpning av översvänningsmygg är en fråga som berör och engagerar många intressenter. Bti-baserade insekticider har använts sedan 1980-talet och det finns många studier av olika aspekter på

användning av Bti. Utglesning eller avlägsnande av en viss art från ett system kan orsaka negativa eller positiva effekter på andra arter, vilket i sin tur kan påverka t.ex. artrikedom eller artdominans i systemet. Under senare år har det publicerats flera studier som undersökt sådana indirekta effekter av myggbekämpning med Bti. Resultaten har dock varierat mellan studierna, och det finns olika åsikter om kvaliteten på de studier som gjorts. En systematisk översikt där samtliga relevanta studier granskas utifrån samma kvalitetskriterier skulle kunna klargöra hur stark evidensen är för indirekta effekter på icke-målorganismer.

Referenser

- Becker, N. et al., 2017. First mass development of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae)-its surveillance and control in Germany. *Parasitology Research*, 116(3): 847-858.
- Boisvert, M., 2007. Utilization of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (Bti)-Based Formulations for the Biological Control of Mosquitoes in Canada. In: Côté, J.C., Otvos, I.S., Schwartz, J.L., Vincent, C. (Editors), 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.
- Gendernalik, A. et al., 2017. American *Aedes vexans* Mosquitoes are Competent Vectors of Zika Virus. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 96(6): 1338-1340.
- Goldberg, L.J., Margalit, J., 1977. Bacterial spore demonstrating rapid larvicidal activity against *Anopheles sergentii*, *Uranotaenia unguiculata*, *Culex univittatus*, *Aedes aegypti* and *Culex pipiens*. *Mosquito News*, 37(3): 355-361.
- Iranpour, M., Turell, M.J., Lindsay, L.R., 2011. Potential for Canadian mosquitoes to transmit rift valley fever virus. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 27(4): 363-369.
- Karlsson, M., Terstad, J., 2012. Naturskyddsföreningens svar på remiss rörande ansökan om spridning av bekämpningsmedel Vectobac G i Deje, Forshaga kommun respektive Nedre Dalälvsområdet (in Swedish), Swedish Society for Nature Conservation.
- Kastel, A., Allgeier, S., Bruhl, C.A., 2017. Decreasing *Bacillus thuringiensis israelensis* sensitivity of *Chironomus riparius* larvae with age indicates potential environmental risk for mosquito control. *Scientific Reports*, 7.
- KEMI, 2010. VectoBac G. Product Assessment Report – Change of condition (F-3422-221-09), Stockholm, Sweden.
- Land, M., Miljand, M., 2014. Biological control of mosquitoes using *Bacillus thuringiensis israelensis*: a pilot study of effects on target organisms, non-target organisms and humans. Mistra EviEM Pilot Study PS4. EviEM. 2014. <http://www.eviem.se/en/publications/pilot-studies/biological-control-of-mosquitoes/>. Accessed 16 Jan 2017.
- Lundstrom, J.O. et al., 2011. Transstadial Transmission of *Francisella tularensis holarctica* in Mosquitoes, Sweden. *Emerging Infectious Diseases*, 17(5): 794-799.
- Lundstrom, J.O., Brodin, Y., Schafer, M.L., Vinnersten, T.Z.P., Ostman, O., 2010a. High species richness of Chironomidae (Diptera) in temporary flooded wetlands associated with high species turn-over rates. *Bulletin of Entomological Research*, 100(4): 433-444.
- Lundstrom, J.O. et al., 2010b. Production of wetland Chironomidae (Diptera) and the effects of using *Bacillus thuringiensis israelensis* for mosquito control. *Bulletin of Entomological Research*, 100(1): 117-125.
- Lundström, J., Schäfer, M., 2016. Redogörelse över ”alternativa bekämpningsåtgärder” 2016. Biologisk Myggbekämpning (<http://mygg.se/rappporter>).

- Malmqvist, B., Adler, P.H., Kuusela, K., Merritt, R.W., Wotton, R.S., 2004. Black flies in the boreal biome, key organisms in both terrestrial and aquatic environments: A review. *Ecoscience*, 11(2): 187-200.
- McKie, B.G., Taylor, A., Nilsson, T., Goedkoop, W., 2015. Kvantifiering av ekosystemeffekter av Bti-användning i Nedre Dalälven. Rapport beställd av Naturvårdsverket (In Swedish), <https://www.naturvardsverket.se/oversvamningsmygg>.
- Mohlmann, T.W.R. et al., 2017. Community analysis of the abundance and diversity of mosquito species (Diptera: Culicidae) in three European countries at different latitudes. *Parasites & Vectors*, 10.
- Nilsson, C., Renöfält, B., 2009. Mygg och Bti i nedre Dalälven, Utvärdering av ett vetenskapligt uppföljningsprogram (in Swedish with English summary). 978-91-620-6305-4, Naturvårdsverket, Rapport 6305, Stockholm, Sweden.
- Ostman, O., Lundström, J.O., Vinnersten, T.Z.P., 2008. Effects of mosquito larvae removal with *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) on natural protozoan communities. *Hydrobiologia*, 607: 231-235.
- 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.
- Ramírez-Lepe, M., Ramírez-Suero, M., 2012. Biological Control of Mosquito Larvae by *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis*. In: Perveen, F. (Ed.), *Insecticides - Pest Engineering*. InTech, Rijeka, Croatia, pp. 239-264.
- Rezza, G. et al., 2007. Infection with chikungunya virus in Italy: an outbreak in a temperate region. *Lancet*, 370(9602): 1840-1846.
- Schneider, S. et al., 2017. Do Multi-year Applications of *Bacillus thuringiensis* subsp *israelensis* for Control of Mosquito Larvae Affect the Abundance of *B-cereus* Group Populations in Riparian Wetland Soils? *Microbial Ecology*, 74(4): 901-909.
- Schorkopf, D.L.P. et al., 2016. Combining Attractants and Larvicides in Biodegradable Matrices for Sustainable Mosquito Vector Control. *Plos Neglected Tropical Diseases*, 10(10).
- Sebesta, O., Gelbic, I., 2016. Late flooding combined with warm autumn - potential possibility for prolongation of transmission of mosquito-borne diseases. *Biologia*, 71(11): 1292-1297.
- Vinnersten, T.Z.P., Halvarsson, P., Lundström, J.O., 2015. Specific detection of the floodwater mosquitoes *Aedes sticticus* and *Aedes vexans* DNA in predatory diving beetles. *Insect Science*, 22(4): 549-559.
- Vinnersten, T.Z.P., Lundström, J.O., Petersson, E., Landin, J., 2009. Diving beetle assemblages of flooded wetlands in relation to time, wetland type and Bti-based mosquito control. *Hydrobiologia*, 635(1): 189-203.
- Vinnersten, T.Z.P., Lundström, J.O., Schafer, M.L., Petersson, E., Landin, J., 2010. A six-year study of insect emergence from temporary flooded wetlands in central Sweden, with and without Bti-based mosquito control. *Bulletin of Entomological Research*, 100(6): 715-725.