



UPPSALA
UNIVERSITET

Hur kan växter rena tungmetallsförorenad mark?

Anna Broberg

Independent Project in Biology
Självständigt arbete i biologi, 15 hp, vårterminen 2016
Institutionen för biologisk grundutbildning, Uppsala universitet

Hur kan växter rena tungmetallsförorenad mark?

Anna Broberg

Självständigt arbete i biologi 2016

Sammandrag

Bra markförhållande är essentiellt för många organismer då det dels är en förutsättning för en välmående växtlighet som många organismer lever utav. Föroreningar kan påverka markförhållande negativt och utgör därför ett stort hot för många levande organismer. Tungmetallsföroreningar medför ytterligare komplikationer kontra organiska föroreningar då tungmetaller inte kan brytas ner. Eftersom tungmetaller inte kan brytas ner måste de läggas på deponi vilket ofta kräver dyra och komplicerade saneringsmetoder. En av de miljövänligaste och kostnadseffektiva metoderna för att sanera tungmetallsförorenad mark utgår från användning av växters förmåga att ackumulera eller immobilisera denna typ av föroreningar. Detta går under samlingsnamnet fytoremediering som inkorporerar ett flertal tillvägagångssätt.

Fytoextraktion och fytostabilisering är två av de mest lovande metoderna inom fytoremediering av tungmetallsförorenad mark. Växterna som används för respektive metod bygger på två helt skilda fysiologiska processer där vi fortfarande inte förstår alla mekanismer. Strategierna utgår från att växterna antingen ackumulerar tungmetaller i växtens ovanjordiska delar eller genom att immobilisera och adsorbera tungmetallerna vid växternas rotsystem. De olika strategierna kan sedan användas på lämpliga områden där målet är att så få organismer som möjligt skadas av tungmetallernas toxicitet eller av alternativa mer ”brutala” saneringsmetoder.

I agrikulturer kan fytoextraktion användas för att tillgängliggöra förorenad mark som sedan kan utnyttjas som odlingsmark. Växterna som ackumulerar tungmetallerna skördas och läggs på deponi och förflyttas på så sätt från det drabbade odlingsområdet. Även fytostabilisering kan användas i agrikultur vid odling av exempelvis biobränslen där skörden helst inte ska inte innehålla höga halter av tungmetaller.

I stadsmiljöer är det viktigt att tänka på herbivoritrycket då man inte vill överföra tungmetallerna till högre trofnivåer. Därför är fytostabilisering ett alternativ om man inte kan se någon fara med att tungmetallerna finns kvar i immobiliserat tillstånd i marken.

Inledning

Problematik med tungmetallsföroreningar

Tungmetallsförorenad mark är ett allvarligt miljöproblem inte minst på grund av deras påverkan på viktiga markprocesser. Hur marken mår påverkar alla levande organismer direkt eller indirekt. Marken utgör ett habitat för otaliga levande organismer som utför viktiga biokemiska och biologiska processer som exempelvis bindandet av näringsämnen till marken. Snabba förändringar i markförhållandena bidrar till minskad biodiversitet och miljöförstöring. Tungmetaller som ackumuleras under markytan utgör även ett hot mot våra nedbrytare. Detta medför att cirkulationen av organiskt material påverkas vilket drastiskt förändrar markens egenskaper. Markförhållandena är direkt kopplade till dricksvattenkvalitet och tillväxt på grödor som i sin tur är livsviktig för alla som är konsumenter av dem. Då tungmetaller kan transporteras med vatten kan de dessutom påverka de som lever långt bort från det

kontaminerade området. Tungmetallsförorenad mark utgör, på så vis ett hot för vår och många andra organismers hälsa (Wyszkowska *et al.* 2016). De tungmetaller som sägs orsaka de allvarligaste skadorna på växter är kadmium (Cd), bly (Pb), koppar (Cu), krom (Cr) samt zink (Zn) i för höga koncentrationer (Guo *et al.* 2010). Den största källan till tungmetaller är antropogena aktiviteter så som transport, agrikulturer och överdriven användning av gödningsmedel (Kalubi *et al.* 2016; Salama *et al.* 2016).

Hur stor denna påverkan blir beror på vilken sorts tungmetall det är, vilken form de uppträder i och koncentrationen. De tungmetaller som uppträder som oxider är det generellt sätt inte särskilt skadliga för miljön (Placek *et al.* 2016). Många metaller är till och med essentiella för växter men vid för höga koncentrationer blir de skadliga. De höga toxiska koncentrationerna bildar fria radikaler som sedan kan orsaka oxidativ stress hos växterna (Lorestani *et al.* 2013). Metallerna kan även innehålla spårämnen som kan vara toxiska (Placek *et al.* 2016). Bland annat kan biomassaproduktionen hos växter störas, men tungmetallerna kan även få negativ påverkan på människor och andra djur (Kalubi *et al.* 2016; Musilova *et al.* 2016). Toxiska koncentrationer av Pb kan till exempel störa vår hemoglobinsyntes och på så vis orsaka anemi (Musilova *et al.* 2016).

Saneringsmetoder

För att få bukt på det allvarliga miljöproblem som tungmetallsföroreningar medför har många olika tekniker testats. Det har visat sig att flertalet av dem är både kostsamma och komplicerade. Vid användandet av kemiska metoder kan även essentiella jordkomponenter brytas ner eller förstöras. Andra metoder kräver kostsam och logistiskt krävande förflyttning av förorenad mark som sedan läggs på deponi. Denna deponeringsmetod kan uppfattas som ineffektiv då man bara flyttar föroreningen till en annan plats som i sin tur skapar lokala miljöproblem (Kalubi *et al.* 2016). Det finns dock en teknik som sticker ut ur mängden, nämligen fytoremediering (Antonkiewicz & Para. 2016). Fytoremediering är ett samlingsnamn för olika tillvägagångssätt för att sanera föroreningar från mark, luft eller vatten genom att använda växter (Kalubi *et al.* 2016). Detta är en GRO teknik (gentle remediation option) där syftet är att saneringen ska kunna ske på ett så skonsamt sätt som möjligt. Det kan inkludera användning av jordförbättringsmedel och/eller växter som kan samarbeta tillsammans med mikroorganismer (Pavel *et al.* 2014). Fytoremediering har visat sig vara en effektiv metod och en bra lösning för att även sanera tungmetallsförorenad jord (Kalubi *et al.* 2016). Fördelarna med fytoremediering är att den dels är ekonomisk hållbar och bidrar till att bibehålla markens struktur och växtlighet (Antonkiewicz & Para. 2016).

Syfte

I begreppet fytoremediering inkluderas ett flertal olika tillvägagångssätt för hur växten tar upp, inaktiverar eller bryter ner föroreningar. I detta arbete kommer en bredare överblick av dessa tillvägagångssätt presenteras för att sedan fokusera på dem som kan användas på tungmetallsförorenad mark. Anledningen till varför jag begränsat mitt arbete till tungmetallsföroreningar är för att de utgör medför en ytterligare komplikation i jämförelse med organiska föroreningar då tungmetaller inte kan brytas ner till ofarliga näringsämnen. Växterna måste istället ta upp, lagra eller immobilisera tungmetallerna.

I arbetet kommer jag att redogöra för vilka växtfysiologiska processer som ligger bakom saneringen och hur vissa växter kan vara mer toleranta mot tungmetaller än andra. Vidare vill jag ta reda på vilka av tillvägagångssätten inom fytoremediering som är relevanta när det kommer till sanering av just tungmetallsförorenad mark. Slutligen vill jag applicera detta på

hur man kan använda sig av den sortens fyto Remediering i urbana miljöer och agrikulturer.

Tungmetaller

Markpåverkan

Tungmetaller påverkar som sagt ett flertal olika markprocesser. Ett exempel på detta är mikroorganismers metabola processer som störs av tungmetallerna. Det blir framförallt problematiskt för de metabola processerna associerade till omsättning av makronäringsämnen som kväve (N), kol (C), fosfor (P) och svavel (S). Mikroorganismernas cellyta binder till tungmetallerna i marken vilket gör det möjligt för metallerna att penetrera in i mikroorganismens celler. Mikroorganismerna utsöndrar ämnen som bildar komplex med tungmetallernas spårämnen vilket minskar mikroorganismernas mobilitet. Konsekvensen av mikroorganismernas biodegradering leder till repetitiv utsöndring av tungmetallerna till miljön.

En bra indikator på markens välmående är mikroorganismernas enzymaktivitet som reflekterar omsättningen av organiskt material och associerade näringsämnen. Många av dessa enzymer påverkas negativt av tungmetallsföroreningar. Zn-föroreningar påverkar flertal olika enzymgrupper som exempelvis dehydrogenaser och katalaser som är centrala för oxidation och mineralisering av naturligt organiskt material och de ureaser som är viktiga komponenter i markens kvävecykel. Katalaser är dock inte en lika bra indikator som dehydrogenaser då de utgör mindre än 2 % av den totala aktiviteten. En av förklaringarna till detta är att katalaser endast finns i celler hos anaeroba mikroorganismer medan dehydrogenaser även finns hos aeroba mikroorganismer (Wyszkowska *et al.* 2016).

Påverkan på växter

Tungmetallerna kan ersätta andra essentiella metaller som behövs i pigment eller enzymer vilket stör växternas funktion (Lorestani *et al.* 2013). Ett exempel på detta är tungmetaller som påverkar syntesen av klorofyll genom att inducera järnbrist, vilket i sin tur leder till minskad tillväxt då fotosyntetiseringen inte kan fungera normalt (Placek *et al.* 2016). Tungmetaller kan även binda till sulfhydrylgrupper på proteiner och därmed undertrycka aktiviteten av enzymer (Kalubi *et al.* 2016).

Påverkan på människor

Tungmetallförorenad mark utgör även ett hot för oss människor och andra djur. Tungmetaller kan följa med från yt- till dricksvatten och kan även ansamlas i grödor som vi sedan konsumerar. Kadmium (Cd) är en av de tungmetallerna som anses ha störst negativ påverkan på vår hälsa. Den kan lagras i våra kroppar under en väldigt lång tid vilket, vid långvarig exponeringen resulterar i toxiska koncentrationer av Cd. Denna ansamling sker i flertal organ som exempelvis njurar och lever. Det finns även studier som visar på att Cd-exponering kan leda till kroniska sjukdomar som exempelvis diabetes (Musilova *et al.* 2016).

Bly är en annan vanlig och mycket toxisk tungmetall som länge har använts inom industrin. Då Pb kommer in i våra system kan det vid toxiska koncentrationer störa hemoglobinsyntes, påverka neurologiska system hos barn och även skapa kardiovaskulära dysfunktioner hos vuxna. Pb ansamlas mestadels inuti ben och dess halveringstid är 5-20 år (Musilova *et al.* 2016).

Zink är essentiellt för både växter och djur då det dels är ett viktigt element i flertal enzymer

men även främjar tillväxt och immunsystemet (Zhang *et al.* 2012;2011). I för höga koncentrationer kan det därimot bli toxiskt och påverka hälsan. För människor kan det uttrycka sig i form av magkramper, illamående, kräkning och anemi (Musilova *et al.* 2016). Långvarig exponering av toxiska koncentrationer av Zn kan även störa fertiliteten och kolesterolbalansen (Zhang *et al.* 2012;2011).

Fytoremediering

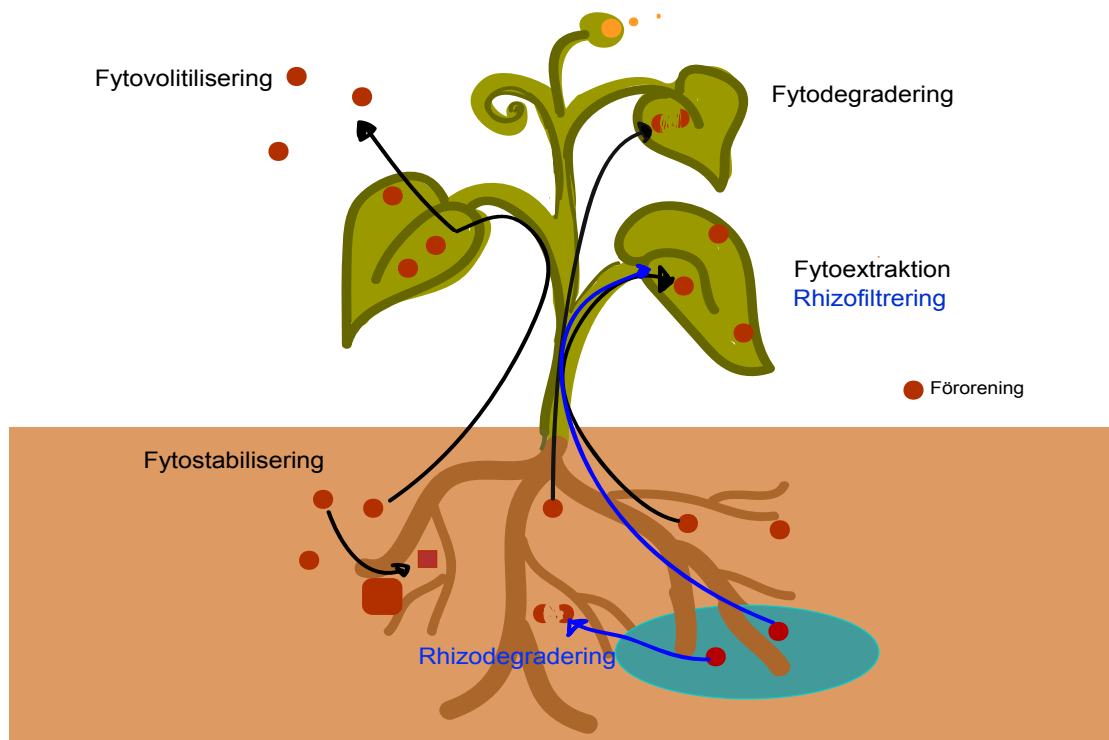
Fytoremediering är ett samlingsnamn för olika sätt att nyttja växter för att sanera förorenad mark, vatten eller luft där föroreningarna kan vara både organiska och icke organiska. Dessa olika tillvägagångssätt delas in i sex olika kategorier.

Fytovolatilisering innebär att växten tar upp instabila ämnen via rötterna som sedan evaporeras ut i atmosfären (Pilon-Smits. 2005). Denna metod kan ses som kontraproduktiv då föroreningen inte fixeras utan förflyttas från mark till atmosfären där de sedan kan återgå till mark igen (Mahar *et al.* 2016).

Rhizofiltrering är en metod som används på våtmarker eller i hydropona system. Växterna filtrerar då vattnet och absorberar föroreningarna. Träd med djupgående rötter används ofta inom denna metod för att skapa ett uppåtgående vattenflöde i rotzonen. På så sätt förebygger man att föroreningarna läcker ut till grundvattnet. I vissa fall har man till och med använt denna metod för att rena grundvatten. För att få bort föroreningarna skördas växterna och bryts ner eller läggs på deponi beroende på vilken slags förorening det handlar om. Motsvarande metod för att rena förorenade markmiljöer kallas för fytoextraktion och innebär att växterna tar upp föroreningar från marken och ansamlar dem i ovanjordiska delar som sedan kan skördas och avlägsnas (Pilon-Smits. 2005).

Fytostimulation även kallad för rhizodegradering och är en metod där växterna underlättar mikroorganismers nedbrytning av organiska föroreningar (Pilon-Smits. 2005). Denna metod används ofta i akvatiska miljöer för sanering av bland annat avloppsvatten. Kombinationen av mikroorganismer och växter utgör ett biokemiskt filter som effektivt bryter ner föroreningarna. Vissa av växterna som används kan även ta upp vissa tungmetaller men de är inte nedbrytbara och metoden liknar då rhizofiltrering (Mahar *et al.* 2016). Rhizodegradering påminner även om fytodegradering men då är det växterna som själva bryter ner de organiska föroreningarna med hjälp av egna enzymatiska processer (Pilon-Smits. 2005).

Slutligen finns det en metod som kallas för fytostabilisering som jämfört med de andra modellerna inte sanerar det förorenade området. Växterna immobiliserar istället föroreningarna eller ansamlar dem i eller på rötterna. På så sätt begränsas föroreningarna till ett område i marken vilket hindrar migration till andra områden så som grundvatten (Pilon-Smits. 2005). Dessa tillvägagångssätt sammanfattas i figur 1.



Figur 1. Tillvägagångssätt inom fytoremediering. De röda runda- och fyrkantiga prickarna representerar mobila respektive immobiliserade föroreningar. Tillvägagångssätten som är skrivna med svart text representerar sanering av föroreningar i markmiljö det vill säga, fytovolatilisering, fytodegradering, fytoextraktion och fytostabilisering. De tillvägagångssätt som är skrivna i blått representerar sanering av föroreningar i akvatiska miljöer det vill säga, rhizofiltrering och rhizodegradering.

Fytoremediering och tungmetaller

Vissa växter har anpassats till att överleva och reproducera sig på tungmetallsförorenad mark. De kan delas in i två olika grupper, pseudometallofiter som kan växa på tungmetallsförorenad- eller icke metallförorenad mark, och absoluta metallofiter som endast kan växa på tungmetallförorenad- eller metallrik mark (Dahmani-Muller *et al.* 2000). Dessa växter kan sedan delas in i två olika strategier, ackumulerare och exkluderare. De växter som ackumulerar föroreningarna (ackumulerare) har förmågan att ansamla tungmetaller i höga koncentrationer utan att själva påverkas av det. Föroreningarna inaktiveras genom biotransformering och ansamlas sedan i skotten och löven på växterna. En växt som exkluderar (exkluderare) tar upp föroreningen via rötterna eller adsorberar dem på rötterna. Föroreningen begränsas till rotsystem och transporteras således inte vidare till de ovanjordiska delarna (Kalubi *et al.* 2016).

En växts upptagsförmåga av tungmetaller beror på biotillgängligheten av metallen. Biotillgänglighet är ett mått på hur mycket av ämnet, i detta fall tungmetaller, som når växternas cirkulationssystem. Hur hög biotillgängligheten är varierar för de olika tillvägagångssätten. Då växter ska ackumulera tungmetallerna önskas en hög biotillgänglighet för att saneringen ska bli så effektiv som möjligt. Vid exkludering av tungmetaller önskas däremot en låg biotillgänglighet för att minimera risken för tungmetallstransport till ovanjordiska delar (Kalubi *et al.* 2016). Eftersom tungmetaller inte kan brytas ner så kan inte alla tillvägagångssätt appliceras på just den sortens sanering. Här kan därför de metoder som evaporerar eller bryter ner föroreningar uteslutas, det vill säga

fyto stimulation/rhizodegradering, fytodegradering och fytovolatilisering. Eftersom fokus är tungmetallsförorenad mark kan även metoder för akvatiska miljöer exkluderas, det vill säga rhizofiltrering. De som är relevanta när det kommer till sanering av tungmetallsförorenade marker är således fytoextraktion och fytostabilisering.

Upptag och transport av tungmetaller

Transport och upptag av tungmetaller är starkt reglerade fysiologiska processer vars exakta mekanismer fortfarande är delvis oklara. Själva transporten av tungmetallerna verkar ske på olika sätt beroende på vilken växtart och tungmetall det handlar om. Det finns dock ett flertal studier som är någorlunda samstämmiga om hur Backskärvfro (*Thlaspi caerulescens*), medlem i *Braassicaceae* familjen, tar upp och transporterar Zn och Cd. Upptaget sker via rötterna genom att rotcellernas membranpotential driver Cd, Zn och andra katjoner in i rotcellerna. Dessa två tungmetaller transporteras sedan med hjälp av aktiv transport från rötternas vakuoler till xylemet och vidare till skottet. Det mesta av tungmetallerna ansamlas sedan i lövens vakuoler (Dahmani-Muller *et al.* 2000).

Underlättat upptag av tungmetaller med komplexbildande ämnen

Vissa tungmetaller är essentiella för växter och därför är rotcellerna utrustade med jonkanaler som tillåter upptag av just dem tungmetallerna. För att underlätta upptaget av icke-essentiella tungmetaller binder tungmetallerna till komplexbildande ämnen (Peralta-Videa *et al.* 2009).

Upptag och transport av kadmium

Hos majsplantor orsakar Cd järnbrist vilket leder till att fytosideroforen 2'-deoxymugineisk syra utsöndras från rötterna. Denna syra bildar komplex med Cd och Fe som sedan kan tas upp effektivt av rötterna. Transporten av tungmetaller inuti växten verkar också variera men för vete är LCT1 (low affinity cation transporter) ansvarig för Cd transporten. Det är högst troligt att LCT1 står för denna typ av transport i flera växtarter (Peralta-Videa *et al.* 2009).

Upptag och transport av krom

Krom (Cr) tas upp genom reduktion och/eller genom att först bilda komplex tillsammans med ämnen som utsöndras från rötterna. Dessa komplexbildande medel kan exempelvis vara organiska syror som ökar Cr löslighet och mobilitet genom rotens xylem. Cr transporteras sällan till ovanjordiska delar men detta beror på vilken kemisk form de uppträder i. Genom symplastisk transport kommer Cr(VI) och Cr(III) in i rotcellerna. I cortex reduceras och ackumuleras Cr(VI) vilket leder till oxidativ stress som skadar rotcellsmembranen. Det har även rapporterats att Cr(VI) reducerar rotens upptagsförmåga för essentiella näringsämnen. Cr(III) har visat sig ersätta Fe(III) i heme proteiner och på så sätt minskar deras aktivitet. Anledningen till varför det är möjligt är på grund av att Cr(III) och Fe(III) har liknande jonradie. Cr(III) kan diffundera genom membran medan Cr(VI) transporteras genom liknande tetraediska jonkanaler (Peralta-Videa *et al.* 2009).

Upptag och transport av bly

Bly är inte essentiellt för växter, så därför finns det heller några Pb-jonkanaler för upptag av just denna metall. Pb binder istället till karboxylgrupper från uronsyror som finns i mucilago (slemliknande beståndsdelar som utsöndras av rötterna) på rötternas yta. Det är dock fortfarande oklart hur Pb tar sig in i rotvävnaden. Man vet att det mesta av Pb stannar kvar i rötterna och det har visat sig att vid låga Pb-koncentrationer så är Casparianbandet en av de viktigaste barriärerna för att förhindra vidare transport till de ovanjordiska delarna. I vissa

studier har man dock detekterat Pb i floemet vilket betyder att Pb har transporterats via xylemet till löven och sedan vidare till floemet som kan transportera Pb vidare till hela växtkroppen. För att denna transport ska vara möjligt krävs det att Pb bildar komplex som exempelvis Pb-acetat, Pb-nitrat eller Pb-sulfid (Peralta-Videa *et al.* 2009).

Fytoextraktion

Fytoextraktion är en av det mest lovande teknikerna för att sanera tungmetallsförorenad mark (Li *et al.* 2016b). Växten tar upp tungmetallerna via rötterna och transporterar dem sedan vidare till skott och löv genom mekanismerna beskrivna ovan. Växter som används för fytoextraktion kategoriseras därför som ackumulatörer. Detta är en otroligt viktig fysiologisk process som är noga reglerad av växten. I vilken utsträckning upptaget sker beror växtarten ifråga, koncentration av tungmetallen men även metallernas egenskaper vilket inkluderar såväl mobilitet som toxicitet. Det finns ett stort antal potentiella mekanismer som på cellnivå hjälper till att reglera metallernas toxicitet och ökar växtens tolerans för metallstress. De flesta av dessa mekanismer går ut på att begränsa tungmetallerna så att de vid toxiska nivåer inte når känsliga ställen inuti cellen där de kan göra skada (Kalubi *et al.* 2016).

För att fytoextraktion ska bli så effektiv som möjligt använder man sig av växter som klassas som hyperackumulatörer. Dessa växter kan ta upp tungmetallsjoner i tusentals ppm (parts per million) jämfört med i normalfall där det rör sig om 10 till 15 ppm (Kalubi *et al.* 2016). Förutom att dessa hyperackumulatörer ska ha en bra upptagsförmåga så krävs det även att växten kan producera stora mängder biomassa (Li *et al.* 2016a). Det är högst troligt att växter med denna sortens tolerans använder sig av homeostatiska mekanismer, som exempelvis osmoreglering för att reglera metalljonskoncentrationen inuti växtcellen. Detta medför att växten kan undvika potentiella skador från icke-essentiella metalljoner. Det är även troligt att fler intracellulära processer aktivt bidrar till tolerans. Exempel på denna typ av processer är reducerad tillströmning över cellmembran, aktivt utflöde till apoplaster, ett väl skyddat plasmamembran med effektiva reparationsmekanismer samt transport och lagring av tungmetaller inuti vakuoler (Kalubi *et al.* 2016).

Trots att dessa växter är hyperackumulatörer och därmed har noga reglerade toleransmekanismer så kan de påverkas av tungmetallerna. Visserligen är de mer tåliga än andra, men tillväxten blir ändå långsam och biomassan blir begränsad (Guo *et al.* 2010). Idag finns över 450 växtarter som klassas som hyperackumulatörer och flera av dem kan vara specialiserade på upptag av en specifik tungmetall (Li *et al.* 2016a). För kadmiumförorenad mark räknas exempelvis arterna gruvtrav och nattskatta (*Solanum nigrum*) som hyperackumulatörer (Guo *et al.* 2010).

Effektivisering av fytoextraktion

Vid fytoextraktion förändras växternas förmåga att ackumulera tungmetaller över tid. För att bibehålla den snabba upptagshastigheten skördas skotten på växterna där tungmetallerna ansamlats. Det har dock visat sig att efter ett visst antal skördar minskar upptagshastigheten vilket tros bero på att tungmetallernas biotillgänglighet minskat på grund av att deras inbindning till jordpartiklar ökar. Upptagsförmågan kan dock återställas om man sänker pH i marken. Sänkt pH leder till en omfördelning av tungmetallerna där de efter behandlingen inte är lika hårt bundna till jordpartiklarna (Li *et al.* 2016b). Jordpartiklar är negativt laddade och binder till positivt laddade metalljoner. Då pH sjunker kommer jordpartiklarna att i högre grad binda in vätejonerna (H^+) och metallerna frigörs och blir mer tillgängliga för upptag.

Ett ytterligare problem med fytoextraktion är att trots växterna är hyperackumulatörer så påverkas de fortfarande av tungmetallerna. Deras tillväxt sker långsammare med mindre biomassa och mer ytliga rötter. Det behövs även skörd och korrekt avfallshantering då tungmetallerna finns i skott och blad (Salama *et al.* 2016). För att effektivisera fytoextraktionen används assisterande behandlingar. Syftet med behandlingarna är att förbättra upptagsförmågan men även att stärka växten så att tungmetallernas toxicitet inte påverkar produktionen av biomassa (Keller & Hammer. 2004). De flesta av dessa assisterande behandlingar går ut på att öka tungmetallernas biotillgänglighet och mobilitet genom att tillsätta komplexbildande medel. Både syntetiska och organiska komplexbildande medel används. Etylendiamintetraättiksyra (EDTA) har visat sig vara ett av de effektivaste syntetiska komplexbildande medlen när det kommer till Pb-joner. I vissa studier har det dock visat sig att EDTA kan ha en negativ påverkan på biomassaproduktionen hos växterna (Tahmasbian & Safari Sinegani. 2016). EDTA kan inte heller brytas ner biologiskt och kan därför leda till förorening av grundvatten om det blir okontrollerad urlakning i marken (Afshan *et al.* 2015). Därför föredras användning av organiska komplexbildande medel som exempelvis ko- eller höns gödsel (Tahmasbian & Safari Sinegani. 2016).

Placek *et al* (2016) använde sig av avloppsslam från matindustrin som assisterande behandling till fytoextraktion. Avloppsslam, som är en bra källa till näringsämnen och mikroorganismer, gjorde att växterna kunde få en fortsatt normal tillväxt trots att de ansamlade tungmetaller. Det visade sig även att avloppsslammet sänkte pH i marken vilket gjorde metallerna mer tillgängliga (Placek *et al.* 2016). Alkalisk mark som är förorenad kan alltså vara svårare att sanera med denna metod på grund av att tungmetaller är hårt bundna till jordpartiklar. Upptagen av näringsämnen försvåras också vilket resulterar i defekter som till slut kan vara letala för växten.

För att få bukt på problemen med fytoextraktion på alkalisk mark så järnbehandlade Keller & Hammer (2004) backskärvröplantor, som var studiens modellorganism. Järn (Fe) är essentiellt för växter då det bland annat krävs för klorofyllsyntes. Resultatet visade att järnbehandlingen effektiviserade fytoextraktionen i alkalisk mark genom att öka backskärvröets produktion av biomassa och därmed möjliggjorde högre koncentrationer av tungmetaller (Cd och Zn) i skotten. Behandlingen ökade även backskärvröets tolerans mot koppar (Cu) som har en negativ effekt på tillväxt och som även inducerar järnbrist (Keller & Hammer. 2004).

I en annan studie undersökte Antonkiewicz & Para (2016) hur den organiska föreningen hydrazon kunde påverka fytoextraktion. Det visade sig att hydrazon immobiliserade de rörliga och biotillgängliga tungmetallerna vilket förhindrade deras migration till grundvattnet. På så sätt kunde tungmetallerna begränsas till ett område. I studien användes majs som modellorganism och resultatet visade att hydrazon även ökade majsens tungmetallupptag signifikant (Antonkiewicz & Para. 2016).

Fytostabilisering

Den största skillnaden mellan växter som används för fytostabilisering kontra fytoextraktion är att dessa växter inte tar upp några tungmetaller till ovanjordiska delar. Fytostabilisering innebär att växterna immobiliserar metallerna vid rotzonerna som i sin tur reducerar biotillgängligheten vilket även leder till minskad exponeringen för djur och människor (Shengxiang *et al.* 2014). Dessa växter klassas därför som exkluderare. Tungmetallerna immobiliseras antingen genom att de ackumuleras i rötterna, adsorberas på rötterna eller

genom att de fälls ut vid rotzonerna och stabiliseras (Wasilkowski *et al.* 2014). För att fytostabiliseringen ska bli så effektiv som möjligt måste växterna vara toleranta för tungmetaller och andra ogynnsamma förhållanden såsom torka och näringsfattig jord. Växterna ska inte heller kunna förflytta tungmetallerna från rötter till ovanjordiska delar som vid fytoextraktion. Detta är önskvärt för att undvika att blad eller skott som ansamlat tungmetaller ska konsumeras av djur (Shengxiang *et al.* 2014). Det är dock svårt att hitta en växt som inte ansamlar någon tungmetall i blad eller stam, men de koncentrationerna ska då vara så pass låga att de inte blir toxiska (Eissa. 2015).

Förutom att begränsa tungmetallernas transportmöjligheter ska fytostabiliseringsväxter ha god tillväxt med mycket biomassa och framförallt ha ett kompakt rotsystem (Shengxiang *et al.* 2014). Exkluderingen av tungmetaller sker genom att begränsa deras upptag till rotcellerna. De tungmetaller som tas upp av rötterna kan växten sedan exkludera från aktiva metabola platser inuti cellen. På grund av den höga stress som tungmetallerna orsakar, framförallt på växtens rötter, har olika toleransmekanismer etablerats. Sådan tolerans har upptäckts hos ett flertal örtartade växter som exempelvis tuvtåtel (*Deschampsia cespitosa*) (Kalubi *et al.* 2016). Utöver tuvtåtel så finns det många andra arter inom gräsfamiljen (*Poaceae*) som är väl lämpade för fytostabilisering (Wasilkowski *et al.* 2014). Arter inom amarantväxtfamiljen (*Amaranthaceae*) är också välanpassade till tungmetallsförorenad mark framförallt de inom släktet fetmollor (*Atriplex*) då de är halofyter. Halofyter har djupgående rotsystem och har hög tolerans för ogynnsamma förhållanden som exempelvis torka, höga eller låga temperaturer eller höga saltkoncentrationer (Eissa. 2015).

Effektivisering av fytostabilisering

Fytostabilisering har precis som fytoextraktion utvecklats och kombinerats med olika behandlingar för att ge bättre resultat. En av metoderna, som kallas för underlättad fytostabilisering, går ut på att fytostabiliseringen effektiviseras med assisterande kemiska behandlingar. Dessa kemiska behandlingar hjälper till att återskapa för fytostabiliseringsprocesses optimala biologiska och fysikalkemiska förhållanden i den förorenade marken. De kemiska behandlingarna sker i flertal steg med olika material som berikar jorden. Liksom för fytoextraktion tillsätter man näring såsom P och N för att växten ska kunna producera mycket biomassa. För att immobilisera tungmetallerna och minska biotillgängligheten applicerar man även organiskt material. Detta organiska material, exempelvis kompost, medför även en hög sorptionskapacitet. Om pH är för lågt neutraliseras jorden med exempelvis kalk. Till skillnad från fytoextraktion vill man inte att tungmetallerna ska vara biotillgängliga för upptag i skott och blad och därför krävs ett balanserat/ neutralt pH. Flertal studier visar att en kombination av brunkol och kalk förbättrar fytostabilisering. Brunkolet immobiliserar tungmetallerna men har dock en försurande effekt på jorden. Som tidigare nämnt medför ett surare pH att tungmetallerna blir mer lättillgängliga, vilket man i detta fall löser genom att tillsätta kalk (Wasilkowski *et al.* 2014).

Eissas (2015) använde sig av kompost som assisterande behandling för att undersöka fytostabilisering med hjälp av halofyta plantor från *Atriplex* släktet. Experimentet började med att frön från samma *Atriplex* art såddes på tvättad sand. När stjälkarna hade vuxit till 15 cm höjd planterades de ut med jämna mellanrum på den tungmetallsförorenade marken. Innan utplanteringen skedde mättes tungmetallsnivån i marken. Plantorna behandlades med lika mycket kompost och vatten och inga oorganiska gödningsmedel användes. Efter 90 dagar skördades rot, stjälk och blad som sedan torkades och behandlades för att sedan kunna mäta tungmetallskoncentrationerna. Samma experiment upprepades två somrar i rad för att

säkerställa resultaten. Till skillnad från behandlingen med brunkol så förändrade komposten inte pH värdet i jorden och därför behövdes inte någon extra behandling. Resultaten visade även att tillväxten på rötterna ökade vilket möjliggjorde högre koncentrationer av P, Cl, Zn jämfört med plantor som inte behandlats med kompost (kontrollplantor).

Tungmetallskoncentrationen i växtens ovanjordiska delar minskade även för de som behandlats med kompost jämfört med kontrollplantorna. Exempelvis minskade Pb-koncentrationen i blad från *Atriplex undulata* (en art inom fetmollor) med 35.2 %. Resultaten visade också på signifikanta korrelationer mellan koncentrationer av fosfor (P) och tungmetallerna Pb och Zn. Korrelationen mellan P och Pb indikerade att det bildats blyfosfat vid rötterna. P har även visat sig minska förflyttningen av Pb från rot till skott då den, vid kontakt med rotytan, fälls ut till $Pb_{10}(PO_4)_6Cl_2$ (Eissa. 2015).

Sammanfattningsvis betyder detta att halofyter är väl anpassade för fytostabilisering på grund av deras tolerans för tungmetaller och andra ogynnsamma faktorer. Tillsammans med kompost kan dessutom tungmetallskoncentrationen i rötterna öka och ske i större utsträckning då växtens rötter växer bättre på grund av näringen från det organiska materialet. Ökat P-innehåll hjälpte även till att begränsa upptaget av tungmetallerna till ovanjordiska delar och på så sätt inte föra tungmetallerna vidare i näringsväven (Eissa. 2015).

Diskussion

Tungmetaller anses vara en av de mest vanligt förekommande markföroreningarna och saneringen av mark som påverkats av denna typ av föroreningar innebär en stor teknisk utmaning. Tungmetaller kan påverka flertal viktiga markprocesser som är kritiskt viktiga för att bibehålla hälsosamma markförhållanden och bidra till en frisk vegetation. Fixering av näringsämnen och nedbrytningen av organiskt material är exempel på sådana markprocesser. Tungmetaller påverkar även ett flertal växtprocesser som exempelvis klorofyllsyntes och näringsupptag vilket stör produktionen av biomassa och växtens välmående. Utöver detta är tungmetallsexponering dessutom ett hot för vår egen och andra djurs hälsa. För att få bukt på dessa problem kan fytoremediering vara en lämplig, kostnadseffektiv och miljövänlig metod. Fytoextraktion och fytostabilisering är de tillvägagångssätt som är applicerbara på just tungmetallsförorenad mark. Metoderna har både för och nackdelar och kan därför användas på olika sätt.

Användning av fytoextraktion

Problematiken inom fytoextraktion är att tungmetallerna lagras i skott och löv. Detta utgör ett potentiellt hot för alla som konsumerar växten. Därför måste växterna efter markbehandlingen skördas och läggas på deponi. Detta skulle kunna ses som en välanpassad metod för urbana miljöer. Där sker skötsel och skörd av växligheten flera gånger per år i form av nyplantering och vår- och höst beskärning av buskar och träd. Det skulle alltså inte vara några problem med att skörda dessa tungmetallsackumulerande växter för att sedan lägga dem på deponi. I stadsmiljöer har vi inte lika många vilda herbivorer som skulle komma till skada vid bete av tungmetallerna i växtligheten. Herbivoriproblematiken kan minimeras ytterligare då tungmetallsföroreningarna förekommer kring vägar. Herbivoritrycket på dessa tungmetallsackumulerande växter skulle näst på uteslutas, i alla fall den som utförs av däggdjur då de skräms av fordonstrafiken. I parker är herbivoritrycket oftast högre och därför inte lika anpassat för växter som kan användas inom fytoextraktion. Det finns dock flertal trädarter som kan användas inom fytoextraktion. På grund av bristen på stora herbivorer i stadsmiljön skulle hyperackumulerande träd inte utgöra någon fara för dem. Däremot blir det svårt att utesluta den herbivori som utförs av larver och andra insekter. I vilken grad tungmetallerna skulle påverka dessa djur är oklart, men de är i sin tur en viktig födokälla för

andra djur och tungmetallerna skulle på sätt kunna vandra vidare i näringsväven.

Användningen av fytoextraktion inom agrikulturer innebär fler komplikationer då exempelvis herbivoritrycket blir större och svårare att kontrollera. Det handlar då ofta om större arealer och en mer djurvänlig miljö jämfört med i en stad. Trots denna problematik kan fytoextraktion fortfarande vara ett alternativ för sanering av tungmetallsförorenade odlingsmarker. Då skulle man kunna odla hyperackumulerande växter tillsammans med associerande behandling som effektiviserar upptaget och transporten av tungmetallerna. Växterna skulle sedan sköras och läggas på deponi. Detta skulle kunna repeteras tills en låg och acceptabel tungmetallsnivå uppnåtts. Denna mark skulle sedan kunna användas för att odla grödor som kan konsumeras. Med tanke på den växande populationen kommer vi behöva utnyttja marker som idag inte uppnår måtten för odling.

Användning av fytostabilisering

Tungmetallerna förflyttar sig inte via fytostabilisering utan stannar kvar i marken. Detta kan ses som en kontraproduktiv saneringsmetod. Syftet med metoden är dock att immobilisera tungmetallerna så att de inte kan följa med vattnet till andra områden eller transporteras till växtens ovanjordiska delar. Vad gör tungmetallerna för skada i marken om de inte kan förflytta sig eller tas upp i växterna? Kan tungmetallerna inte påverka mikroorganismer, växter och andra organismer så gör det kanske inte något om de är kvar i marken.

Med tanke på att fytoextraktion kan vara en relativt långsam process kan fytostabilisering vara ett effektivt sätt att förhindra tungmetallsläckage till livsviktiga områden som exempelvis grundvattnet. Att förhindra migration till grundvatten är otroligt viktigt då rent dricksvatten är en begränsad resurs i många delar av världen. Därför skulle fytostabilisering kunna vara ett bra alternativ för att snabbt begränsa tungmetallernas rörlighet. En annan fördel med fytostabilisering är att tungmetallerna stannar i marken eller möjligtvis i rötterna. På så sätt kan skotten och bladen förtäras utan att konsumenterna utsätts för de risker som tungmetallerna medför. Detta gör att fytostabilisering passar bra i många olika typer av miljöer, exempelvis urbana miljöer, vid vägar och i parker. Föroreningarna försvinner dock inte men det kanske kan åtgärdas i ett senare skede om de fortfarande kan tänkas göra skada.

Växter som används för fytostabilisering tillhör ofta *poaceae* familjen där exempelvis alla våra sädeslag tillhör. Därför skulle det alltså vara möjligt att odla sädeslagen på tungmetallsförorenad mark utan att få med tungmetallerna i de ovanjordiska delarna som är de vi konsumerar. Däremot skulle det kanske inte vara att rekommendera då vissa studier påvisar att en viss transport av tungmetaller till skott och andra ovanjordiska delar. En annan möjlighet skulle därför kunna vara att odla växter på förorenad mark för produktion av biobränslen (Pavel *et al.* 2014). Utvecklingen för biobränslen inom transportmedel och dylikt är på frammarsch och om man då kan odla på förorenade marker för det ändamålet skulle det vara ett effektivt brukande av markytan. Denna sorts jordbruk skulle kunna bli en bra inkomstkälla för lokala jordbrukare närmare stadskärnan där trafikeringen och därmed tungmetallutsläppen sker i en större utsträckning. Även här borde växterna inte innehålla tungmetaller då de, vid förbränning, skulle återgå till naturen. För att sådan odling skulle tillämpas måste den sortens transport helt uteslutas.

Tolerans mot tungmetaller

De växter som kan tolerera tungmetaller verkar ha utvecklat dessa egenskaper till följd av kontinuerlig exponering. Hur vissa av dessa toleransmekanismer fungerar är fortfarande oklart. Många växter kan använda sig av vakuolerna för att lagra ämnen som de inte behöver

men det verkar som att de tungmetallstoleranta växterna har en exceptionell förmåga att lagra just tungmetaller där. Man tror att toleransmekanismerna som finns hos dessa växter inkorporerar effektiva reparationsmekanismer och aktivare utflöde till apoplaster. Hur upptaget och transporten av tungmetaller går till är viktigt att veta för att välja den optimala saneringsmetoden. Är tungmetallerna mobila inuti växten ska man använda sig av en växt som kan ackumulera (ackumulerare) tungmetallerna utan att biomassaproduktionen påverkas. När saneringen berör tungmetaller som inte är lika mobila kan exkluderare användas som kan begränsa upptaget när det exempelvis gäller Pb-föroreningar. Att få närmare förståelse för hur dessa mekanismer fungerar tror jag skulle kunna leda till optimering av fyto Remedieringsmetoderna.

Slutsats

Fyto Remediering är ett bra alternativ för sanering av tungmetallsförorenad mark. Växternas varierande förmåga att ackumulera eller exkludera tungmetaller kan utnyttjas i olika sorters miljöer. I stadsmiljöer och på de ställen där herbivori kan ske i större utsträckning är fytostabilisering att rekommendera medan fytoextraktion kan vara ett bättre alternativ för mark där betetrycket är lågt. Däremot finns det larver och andra insekter som också är herbivorer och som på så sätt kan utsättas för tungmetallernas toxicitet. Därför behövs det göras en övervägning på vart tungmetaller utgör minst skada. Tungmetaller som fixerats av växters rotsystem kanske inte utgör något större hot och då är fytostabilisering det bästa alternativet. Fytoextraktion skulle då sannolikt vara en bättre saneringsmetod för redan förorenade platser som man sedan vill kunna utnyttja till något annat, exempelvis odling av grödor. Att växterna skördas och läggs på deponi kan dock också ses som ett ytterligare problem då man förflyttar föroreningen till en annan plats. Frågan är dock hur man annars skulle hantera ämnen som inte går att bryta ner, vilket är fallet för tungmetaller.

Sammanfattningsvis finns det många möjligheter inom fyto Remediering. Genom denna typ av sanering utnyttjar vi växters kapacitet för att bibehålla eller restaurera bra markförhållanden på ett miljövänligt sätt. Detta är en förutsättning för en hållbar utveckling samt bevarande och återskapande av brukbar mark för kommande generationer.

Tack

Jag vill tacka min handledare Stefan Bertilsson, limnolog på Uppsalas universitet, för sin konstruktiva kritik och vägledning. Slutligen vill jag tacka mina medstudenter i handledargruppen för stöttning och vägledning genom hela uppsatsskrivandet.

Referenser

- Afshan S, Ali S, Bharwana S.A, Rizwan M, Farid M, Abbas, F, Ibrahim M, Mehmood M.A & Abbasi G.H. 2015. Citric acid enhances the phytoextraction of chromium, plant growth, and photosynthesis by alleviating the oxidative damages in *Brassica napus* L. *Environmental Science and Pollution Research* **22** : 11679-11689.
- Antonkiewicz J & Para A. 2016. The use of dialdehyde starch derivatives in the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. *International Journal of Phytoremediation* **18**: 245-250.
- Dahmani-Muller H, van Oort F, G elie B & Balabane M. 2000. Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter. *Environmental Pollution* **10**: 231-238.
- Eissa M.A. 2015. Impact of Compost on Metals Phytostabilization Potential of Two Halophytes Species. *International Journal of Phytoremediation* **17**:662-668.
- Guo H, Luo S, Chen J, Chen L, Xiao X, Xi Q, Wei W, Zeng G, Liu C, Wan Y & He Y. 2010. Bioremediation of heavy metals by growing hyperaccumulator endophytic bacterium *Bacillus* sp. L14. *Bioresource Technology* **101**: 8599-8605.
- Kalubi K.N, Mehes-Smith M & Omri A. 2016. Comparative analysis of metal translocation in red maple (*Acer rubrum*) and trembling aspen (*Populus tremuloides*) populations from stressed ecosystems contaminated with metals. *Chemistry and Ecology* **32**: 312-323.
- Keller C & Hammer D. 2004. Metal availability and soil toxicity after repeated croppings of *Thlaspi caerulescens* in metal contaminated soils. *Environmental Pollution* **131**:243-254.
- Li X, Cen H, Chen Y, Xu S, Peng L, Zhu H & Li Y. 2016a. Physiological analyses indicate superoxide dismutase, catalase, and phytochelatins play important roles in Pb tolerance in *Eremochloa ophiuroides*. *International Journal of Phytoremediation* **18**: 251-260.
- Li Z, Jia M, Wu L, Christie P & Luo Y. 2016b. Changes in metal availability, desorption kinetics and speciation in contaminated soils during repeated phytoextraction with the Zn/Cd hyperaccumulator *Sedum plumbizincicola*. *Environmental pollution* **209**: 123-131.
- Lorestani B, Yousefi N, Cheraghi M & Farmany A. 2013. Phytoextraction and phytostabilization potential of plants grown in the vicinity of heavy metal-contaminated soils: a case study at an industrial town site. *Environmental Monitoring and Assessment* **185**:10217-10223.
- Mahar A, Wang Q, Wang P, Ali A, Awasthi M.K, Lahori A.H, Li R. & Zhang Z. 2016. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **126**: 111-121.
- Musilova J, Bystricka J, Lachman J, Harangozo L, Trebichalsky P & Volnova B. 2016. Potatoes - A crop resistant against input of heavy metals from the metalically contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation* **18**: 547-552.
- Pavel P, Puschenreiter M, Wenzel W.W, Diacu E & Barbu C.H. 2014. Aided phytostabilization using *Miscanthus sinensis* × *giganteus* on heavy metal-contaminated soils. *The Science of the total environment* **479-480**: 125-131.
- Peralta-Videa J.R, Lopez M.L, Narayan M, Saupe G & Gardea-Torresdey J. 2009. The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology* **41**: 1665-1677.
- Pilon-Smits E. 2005. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology* **56**: 15-39.

- Placek A, Grobelak A & Kacprzak M. 2016. Improving the phytoremediation of heavy metals contaminated soil by use of sewage sludge. *International Journal of Phytoremediation* **18**:605.
- Salama A.K, Osman K.A & Gouda N.A. 2016. Remediation of lead and cadmium-contaminated soils. *International Journal of Phytoremediation* **18**: 364-367.
- Shengxiang Y, Shichu L, Langbo Y, Bibo X, Jianbing C, Yifeng G & Yu Z. 2014. Heavy metal accumulation and phytostabilization potential of dominant plant species growing on manganese mine tailings. *Frontiers of environmental science & engineering* **8**: 394-404.
- Tahmasbian I & Safari Sinegani A.A. 2016. Improving the efficiency of phytoremediation using electrically charged plant and chelating agents. *Environmental Science and Pollution Research* **23**:2479-2486.
- Wasilkowski D, Mrozik A, Piotrowska Seget Z, Krzyżak J, Pogrzeba M & Płaza G. 2014. Changes in Enzyme Activities and Microbial Community Structure in Heavy Metal Contaminated Soil under in Situ Aided Phytostabilization. *CLEAN – Soil, Air, Water* **42**: 1618-1625.
- Wyszkowska J, Boros-Lajszner E, Borowik A, Baćmaga M, Kucharski J & Tomkiel M. 2016. Implication of zinc excess on soil health. *Journal of Environmental Science and Health, Part B* **51**: 261-270.
- Zhang X, Yang L, Li Y, Li H, Wang W & Ye B. 2012;2011. Impacts of lead/zinc mining and smelting on the environment and human health in China. *Environmental Monitoring and Assessment* **184**: 2261-2273.

Hur kan växter rena tungmetallsförorenad mark?: Etisk bilaga

Anna Broberg

Självständigt arbete i biologi 2016

Forskningsetik

Inför denna litteraturstudie har jag försökt vara källkritisk inför alla artiklar jag läst. Jag har främst använt mig av databasen Web of science där jag sedan valt artiklar från tidskrifter som igenkänns som pålitliga. Vidare har jag, efter min förmåga, försökt värdera metoderna i studierna jag läst och jämfört resultaten med andra liknande studier för att minimera risken att presentera missledande resultat i mitt arbete. Det har varit svårt att hitta grundläggande växtfysiologiska processer som handlar om tungmetallsupptag och transport i primärartiklar och jag har då använt mig av reviewartiklar. De reviewartiklarna har dock blivit refererade till i ett flertal primärartiklar som jag använt mig av i mitt arbete.

Fytoremediering och etik

Jag anser att sanering med hjälp av fytoremedieringsmetoder är etiskt försvarbart då syftet är att uppnå en så miljövänlig sanering som möjligt med så lite påverkan på andra organismers liv. Då vi människor är ansvariga för majoriteten av föroreningarna är det också vår skyldighet att ställa saker till rätta. Detta ska göras med den bästa tänkbara teknik vilket sätter fytoremediering högt upp på kartan.

Det finns dock problematik inom fytoremediering framförallt när det kommer till avfallshantering av tungmetaller. Denna problematik uppkommer främst när det handlar om fytoextraktion då växterna som ackumulerat tungmetallerna måste skördas och läggas på deponi. Är det etiskt försvarbart att förflytta tungmetallerna och därmed deras negativa påverkan till en annan plats, det vill säga deponi? Idag är det kanske det bästa alternativet men det är något, som enligt mig, måste utvecklas.

Annan problematik som kan uppkomma med fytoextraktion, då växter tar upp och ansamlar tungmetaller i skott och blad, är att tungmetallerna riskerar att hamna högre upp i näringsväven. Det skulle kunna vara möjligt att, vid val av plats, kunna begränsa bete av de större herbivorer. Däremot när det handlar om larver och dylikt blir det svårare att begränsa den sortens betning. De är, i sin tur, en viktig födokälla för andra djur vilket kommer resultera i att tungmetallerna kan vandra uppåt till högre trofinivåer. Är det etiskt korrekt att utsätta andra organismer för tungmetallernas toxicitet för att vi ska kunna utnyttja den marken för vår egen vinning? Här anser jag att man får tänka konsekvensetiskt genom att väga de olika saneringsmetoderna mot varandra och se vilken som kommer att utgöra minst skada. Vi bör alla ta vårt eget ansvar för att upprätthålla en hållbar utveckling.