



Poluzio-jaleak

Ana Galarraga Aiestaran

Elhuyar



ARTXIBOKOA

1989an, Exxon Valdez petrolio-ontziak istripua izan zuen Alaskan. 40 milioi litro petrolio isuri ziren itsasora, 1.600 km kosta poluitu ziren eta 1.500 milioi dolar gastatu zituzten garbiketa-lanetan. Marea beltza garbitzeko, hainbat teknika erabili ziren; tartean, bakterio petrolio-jaleen laguntza ere izan zuten. Orduetik, bizidunen garbitzeko ahalmenean oinarritutako teknikek dezenteko aurrerakada izan dute.

Zenbat eta aberatsagoa izan ekosistema, orduan eta ahalmen handiagoa du berritzeko.

EXXON VALDEZ-EN HONDAMENDIA GERTATU ARTE, INORK GUTXIK ZEKIEN ZER ZEN BIOERREMEDIAZIOA. Baina, ordurako, ikertzaileek urteak zeramatzen poluitzaileak garbitzeko ahalmena duten bizidunak aztertzen. Hain zuzen, horretan oinarritzen da bioerremediazioa: poluitutako lurra edota urak bere onera ekartzeko, poluitzaileak degradatzeko gai diren bizidunak erabiltzean.

Naturak berez du berritzeko ahalmena; adibidez, baso batean zuhaitz-mozketa handi bat egiten bada, lurzoruan materia organiko ugari gelditzen da. Orduan,

usteltzen ari den materia organikoaren gainean bizi diren organismo saprofitoak ugaritu egiten dira, eta eroritako materiala degradatzen dute. Haien lanaren ondorioz, basoak oreka berreskuratzen du.

Gizakiak naturan gertatzen dena bere mesedetan erabiltzen ikasi du; esaterako, aspalditik erabiltzen dira putzu beltzak hondakin-urak arazteko. Garai batean, ez zituzten han gertatzen ziren prozesuen oinarri zientifikoak ezagutzen, emaitzak agerikoak izan arren. Gero jakin zen putzu beltzen hondoan

dauden bakterio anaerobioek –bizitzeko oxigenoa behar ez dutenek– deskonposatzen dutela hondoratutako materia organikoa; azalean gelditzen dena, berriz, bakterio aerobioek –oxigenoaren beharra dutenek– degradatzen dute. Gaur egun, prozesu horiek berak hirietako eta industrietako araztegiatan erabiltzen dira.

Putzu beltzetik marea beltzera

Urte askoan, industria-jardueretan, meatzeetan, nekazaritzan... sortutako poluitzaileak besterik gabe igorri dira ingurumenera, eta naturaren berritzeko ahalmena gainditu egin da. Orain, ingurumena babesteko lege eta arau zehatzak daude, hondakinei tratamendu berezia ematera behartzen dutenak. Baina beti gerta daitezke istripuak. Esate baterako, iazko azaroan Galizia-ko uretan *Prestige* petrolio-ontzia urperatu zen, eta ingurumenaren aurkako bonba bihurtu zen.

Hala gertatu zen *Exxon Valdez* petrolio-ontziaren kasuan ere. Orduan sortutako marea beltzari aurre egiteko, besteak beste, mikroorganismoen baliatu ziren. Itsasoko mikroorganismo batzuk hidrokarburoak degradatzeko gaitasuna dutela ikusi zuten: *Pseudomonas*, *Corynebacterium* eta *Mycobacterium* generoetako bakterioek, legamia batzuek



ARTXIBOKOA

Petrolio-ontziak ingurumenaren aurkako bonbak bihurtzen dira istripuz hondoratzen direnean.

“*itsasoko mikroorganismo batzuek hidrokarburoak degradatzeko gaitasuna dute*”

eta alga berdeek, adibidez. Gainera, haien eraginkortasuna handitzeko, nitrogenoa, fosforoa eta potasioa eman zizkieten, mikroorganismoentzat mantengai garrantzitsuak baitira.

Bestalde, haizeak eta olatuek ere laguntzen dute marea beltza desagerrazten. Haizearen eta olatuen eraginez, emulsio bat sortzen da, hau da, erregai-molekulak partikula txikitan sakanatzen dira. Horri esker, itsasoko mikroorganismo petrolio-jaleak errazago heltzen dira petrolio-geruzaren barnealdera.

Itsasoan bezala, lurrean

Isurketa lurzoruan gertatuz gero, prozesua desberdina da. Degradazioa onddoen eta bakterioen esku gelditzen da, baina uretan baino zailagoa da. Izan ere, batetik, erregaia azpiko geruzetara iragazten da, eta, bestetik, harrapatuta gelditzen da humusa sortzeko prozesuetan. Uretan gertatzen diren isurketekiko beste diferentzia bat ere badago: lurzoruan, onddoen eta bakterioen ugalketa mugatzen duena ez da mantengaien urritasuna, baizik eta oxigeno-gabezia. Mikroorganismoek ugaltzeko behar adina oxigeno izan dezaten, lurzorua aireztatzen da edota peroxidoak (H_2O_2) gehitzen dira.

Erregaietz gain, beste poluitzaile organiko asko ere degradatzen dituzte mikroorganismoek; esaterako, hidrokarburo aromatiko poliziklikoak (PAH), bifenilo polikloratuak (PCB), lehergaiak, pestizidak... ➔



ARTXIBOKOA

Araztegiatan, mikroorganismoak erabiltzen dira hondakin-urak garbitzeko.

Lurzorua polui dezaketen jarduerak eta instalazioak

1. Metal-mineralen erauzketa
2. Ehun-zuntzen lakatzea, koipe-kentzea eta akabera
3. Larrua prestatzea, ontzea eta akabera
4. Zuraren prestaketa industrial
5. Petrolio finntzea
6. Auto-fabrikak
7. Asfalto-planta
8. Industria kimikoa
9. Metalurgia
10. Produktu metalikoen, makineriaren eta ekipamendu mekanikoaren ekoizpena, metalen forjaketa, estanpazioa, enbutizioa, tratamendua eta gainestaldura barne
11. Arma- eta munizio-fabrikazioa
12. Material eta makineria elektrikoaren eta elektronikoaren ekoizpena
13. Garraio-materialaren ekoizpena
14. Garraio-elementuen mantenimendua eta konponketa
15. Gasolindegia
16. Ingurumena kudeatzeko instalazioak, hondakindegia barne
17. Mineralen, metalen, produktu kimikoen, txatarraren eta hondakinen handizkako salmenta.
18. Salgai arrisksuen biltegiatzea eta metatzea
19. Energia-sorkuntza. Zentral termikoa

ITURRIA: HOBE

Poluitzaile organiko horietako batzuk bizidunetan ere badauden molekulak dira; horregatik, nahiko erraza izan daiteke horiek degradatzen dituen mikro-organismoren bat aurkitzea. Alabaina, molekula berriak direnean, biziarentzat arrotzak, askoz zailagoa da hura deskonposatzeko gai den mikroorganismoa topatzea.

Espainiako Zientzia Ikerketarako Kontseilu Nagusiko (CSIC) ZAIDIN zentroko esperimendu-estazioan zuzendari-lanetan diharduen Juan Luis Ramos-en hitzetan, "ez da substantzia arrotz horiek deuseztatzen dituzten entzimak sortzeko behar adina denbora pasatu oraindik; horregatik metatzen dira". Eta are zailagoa da metal astunez (kadmioa, beruna, berilioa, merkurioa...) poluituta-lurzorua garbitzeko aproposak diren mikroorganismoak aurkitzea.

Landare garbitzaileak

Landare batzuek, berriz, ez diete muzin egiten gainontzeko organismoentzat toxikoak diren metal astun horiei. Hori dela eta, landareez baliatzen den fitoerremediazioan erabiltzeko egokiak dira. Arlo horretan, Leioako EHUren Zientzia Fakultatea eta NEIKER elkarrekin ari dira lanean.

"meatzaritza dela eta, Euskal Herriko lurzoru asko gelditu da poluituta metal astunekin"

Landare-biologia eta Ekologia saileko Jose Maria Becerrilek azaldu duenez, metal astunak ezabatzeko gai diren landareak lortu nahian dabilta orain. Hain zuzen, meatzaritzak indar handia izan du Euskal Herriko zenbait tokitan, eta lurzoru asko metal astunekin poluituta gelditu da. Denborarekin, metal horiek bizidunetara pasatzeko arriskua dago, eta, toxikoak direnez, osasun-arazo larriak eragin ditzakete.

Metalak erauzteko metodo fisiko-kimikoak erabiltzen dira, baina oso eragin kaltegarria dute lurzoruan, tratamendu-tokira eraman behar baitira, eta lurzoria erabat aldatzen da. Aldiz, metal astunak xurgatzeko eta metatzeko gaitasuna duten landareak tokian bertan landatzen dira. Horri esker, paisaia mortu bat berreskura daiteke.

Landare berezi horiek arruntek baino 10-1.000 aldiz metal gehiago metatzen dute; hortaz, metatutako metal-kantitatea landare lehorraren pisuaren % 1-5 izatera irits daiteke. Landarea errez gero, metalak jaso daitezke, eta, bide batez, erraustean askatutako energia ere aprobeitatu daiteke.

Meatzeetako landareak

Zoritxarrez, landare metal-metatzaile horiek txikiak eta bakanak izaten dira; beraz, metal-kontzentrazio handiak erazi arren, kantitate txikiak lortzen dira azkenean. Arazo hori gainditzeko asmoz, Zientzia Fakultateak eta NEIKERek bi bidetatik jo dute: batetik, metal astunak metatzeko gaitasun handiena duten landareak aztertzen ari dira, eta, bestetik, sorotetan erabiltzen diren landareak metal-eruzgailu on bihurtu nahi dituzte.



Euskal Herrian, meatzaritza aspaldiko jardura izan da. Baina, batez ere, aurrerapen teknologikoen ondorioz jardura areagotu zenetik poluitu dira hainbeste lurzorua.

ARTXIBOKO

GALARRAGA



Rumex acetosa landareak metalak xurgatzen ditu. Metatutako metalak kolore iluna ematen die hostoei.

Nahiz eta soroetako espezieak ez diren oso onak metal astunak xurgatzen, landare metatzaileek baino askoz ere biomasa handiagoa dute, askoz ere materia organiko gehiago. Horregatik, soroetako landare batzuen metalekiko tolerantzia eta xurgatzeko ahalmena handitzea lortu nahi dute, metal-kantitate handiak erazteko gai diren landareak sortzeko asmoz. Oraingoan, kardoarekin lortu dituzte emaitza onenak.

Landare metal-metatzaileei dagokienez, meatzeetako hondakindegietan hazten diren landareetan jarri dute arreta. Hasieran, meatzeetako landareak bildu zituzten eta, horietatik, metalak metatzeko gai zirenak aukeratu zituzte. Gero, beste faktore batzuk hartu zituzten kontuan: zenbateko biomasa zuten, erabilerrazak ziren ala ez, belarjaleentzat erakargarriak ziren... Izan ere, landarea erakargarria balitz, belarjaleek poluitzailea zabaltzen lagunduko bailukete.

Irizpide horiei jarraituta, hasieran bildu zituzten 60 bat landareetatik bi edo hiru aukeratu zituzte. Horietako bat *Rumex acetosa* da, eta orain erazketa eraginkortasuna nola handitu ari dira ikertzen. Batetik, landarearen biomasa handitzeko egoera aproposak

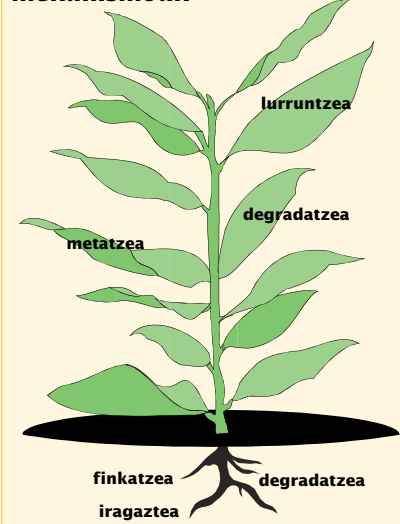
zein diren jakin nahi dute (pH-a, temperatura, hezetasuna...). Bestetik, metalak landarearentzat eskuragarriagoak bihurtzeko modua ari dira bilatzen. Lurzoruan estekatzaileak gehituz gero, estekatzaile-metal konposatuak sortzen dira, eta landareek askoz errazago xurgatzen dituzte konposatu horiek. Metalak eskuragarriagoak bihurtzeak, ordea, badu arrisku bat, gainontzeko bizidunek ere errazago har ditzakete, alegia.

“lurzoruan estekatzaileak gehituz gero, metalak eskuragarriagoak bihurtzen dira; horrek, ordea, badu arrisku bat”

Elkarlanean, hobeto

Metalak erazte eta metatzea albo batera utzita, landareen beste mekanismo batzuk ere baliagarriak dira fitoerremediazioan. Adibidez, landareek poluitzaile lurrunkorak kanpora ditzakete arnasketarekin batera. Eta, besterik ez bada, poluitzaileak sustraien inguruan finkatzen laguntzen dute landareek. Izan ere, landareak eguzki-izarrez funtzionatzen duten ur-ponpak dira; esate baterako, makalak

Fitoerremediazioaren mekanismoak



115 litro ur xurgatzeko gai dira egunean, eta, gainera, azkar hazten dira. Horregatik, poluitzaileak azpiko geruzetara pasatzea eragozteko erabiltzen dira makalak hainbat tokitan.

Horretaz guztiaz gain, landareek ekoizten duten materia organikoaren % 20 sustraietatik jariatzen dute. Materia organiko hori energia-iturri paregabea da bakterio eta onddoentzat. Ondorioz, mikroorganismoak sustraien inguruan biltzen dira. Hori kontuan izanda, poluitzaileak degradatzen dituzten mikroorganismoak lurzoruan txertatzeko eta barreiatzeko erabil daitezke landareak.

Landareen xurgatze-indarra eta mikroorganismoen degradatzeko gaitasuna elkartuz gero, erremediazioaren eraginkortasuna asko handitzen da. Landareek ez



AEBetan, makalak erabiltzen dituzte poluitzaileak inguruan finkatzeko. Izan ere, makalak egunean 115 litro ur xurgatzeko gai dira.

ARTIBOKUA

Bioteknologia eta bakterio 'suizidak'

Bioteknologia natura hobetzen saiatzen da. Poluitzaileak degradatzen dituzten entzimak zein diren jakinda, haien ekoizpena kontrolatzen duten geneak identifikatzen saiatzen dira ikertzaileak. Ondoren, gene horiek komenduen organismoaren kode genetikoa sar daitezke. Horrela, naturan mikroorganismo batzuek dituzten ezaugarriak bakterio bakar batean bil daitezke, edo landare batean txerta daitezke bakterioen geneak.

Adibidez, CSIC-eko ZAIDIN zentroan, bizidunek degradatu ezin duten TNT (2,4,6 trinitrotoluenoa) lehergaia mineralizatzeke gai den bakterioa egin zuten. TNTa munduan gehien erabiltzen den lehergaia da, eta oso poluitzailea da. *Pseudomonas* generoko bakterio batzuk TNTa tolueno-

ra arte degradatzeko gai direla ikusi zuten, eta toluenoa degradatzen duten entzimak, berriz, WWO plasmidoan daude kodetuta. Plasmidoa bakterioaren genomari sartu eta TNTa deuseztatzen duen

lkerketa-zentro askotan ari dira egiten antzeko saiakerak, baina oraingoz Europan ez dago landa-azterketak egiteko baimenik, genetikoki eraldatutako organismoen gene arrotzek naturan zein eragin



ARTXIBOKOA

bakterioa lortu zuten. Gero, beste pauso bat eman dute: TNTaren degradazioarekin lotutako geneak tabako-landarean sartuz, lehergailua guztiz deskonposatzen duen tabako transgenikoa egin dute.

izango duten ez baitakite. Orain, genetikoki eraldatutako organismoak kontrolatzeko moduak bilatzen ari dira, eta, besteak beste, poluitzailea degradatutakoan deuseztatzen diren bakterio 'suizidak' sortu dituzte.

Bakterio 'suizidek' beren burua hiltzen dute degradatzen duten poluitzailea bukatzen denean. Hori lortzeko, proteina berezi bat kodetzen duen genea sartzen da bakterio errekonbinanteen genomari. Proteina horrek bakterioaren paretan zelularra zulatzen du; ondorioz, bakterioa hil egiten da.

Poluitzailea dagoen artean, gene 'hiltzailea' inhibituta dago; hain zuzen, poluitzailea bera da inhibitzailea. Bakterioek poluitzaile guztia degradatu orduko, ordea, genea espresatu eta proteina ekoizten da; proteinak, orduan, paretan zelularra zulatzen du, eta bakterioa hil egiten da. Mechanismo horri esker, gene arrotzak naturara pasatzea eragotzi nahi da.

dituzte poluitzaileak degradatzen; asko jota, eraldatu egiten dituzte beraientzat toxikoak izan ez daitezkeen. Landareak jaten duenarentzat, ordea, toxiko izaten jarrai dezake, edo, landareak hil eta gero, poluitzailea lurzorura itzul daitezke. Horregatik da hain interesgarria mikroorganismoak eta landareak konbinatzea, bien artean, poluitzailea erabat degradatzea eta desagerraraztea

lor baitaiteke. Eta landare horien sustriaiek luzera desberdinak badituzte, hainbat hobe, sakonera desberdinetan egingo baitute lan.


"bioerremediazioan, emaitza onenak landareak eta mikroorganismoak konbinatuz lortzen dira"

Argi-ilunak

Bioerremediazioak ageriko onurak ditu: metodo fisiko-kimikoak baino merkeagoa da, ez du hondakin asko sortzen, naturan gertatzen diren prozesuak azkartzen ditu, tokian bertan aplikatzen da, eguzki-energia erabiltzen du, gizarteak begi onez ikusten du (bioteknologiaren baliatuz sortutako organismoen kasuan izan ezik)...

Hala ere, dena ez da aldekoa. Hasteko, bertako ekologia aldatu egiten da, lehendik ez zeuden bizidunak sartzen direlako. Gainera, batzuetan, poluitzaileak elika-katera sartzeko arriskua handitu egiten da; lehen lurzoruan zeuden substantzia kaltegarriak mikroorganismoetara zein landareetara pasatzen dira, eta horietatik elikatzen diren animalietara pasatzea errazten da. Katearen azken muturrean gizakia legoke.

Ingurumenean izan ditzaketen eraginez gain, bioerremediazioko teknikek muga asko ditu gaintzeko. Oro har, ez dira oso eraginkorrak: poluitzaile batzuekin bakarrik erabili ahal dira, lurzoruen edo uraren azalean egon behar dute poluitzaileak, eta, batez ere, denbora asko behar dute, hilabeteak edo urteak.

Dena dela, oraingoz ez dago erabateko irtenbiderik poluitutako lurrak garbitzeko; beraz, bioerremediazioa ere kontuan hartzea komeni dela uste dute adituek. 



ARTXIBOKOA

Fitoerremediazioan, luzera desberdineko sustriaiek dituzten landareak erabiltzea komeni da; hartara, sakonera desberdinetan egin dezakete lan.