

Autor: **Joanna Stojak**

Bakterie i grzyby naprawiają błędy człowieka

Konserwanty, detergenty, pestycydy, metale ciężkie i inne ksenobiotyki (substancje nie występujące w środowisku naturalnym) – zanieczyszczenie naszej planety rośnie w zastraszającym tempie. Jak sobie z tym radzić?

Najczęściej ksenobiotyki usuwa się metodami drastycznymi, niszczącymi strukturę gleby (m.in. przez spopielenie, wymywanie zanieczyszczeń, przesiewanie). Można to jednak robić lepiej i taniej - wykorzystując naturalne szlaki metaboliczne organizmów żywych, czyli - posługując się niektórymi gatunkami roślin, grzybów i bakterii.

Dnia 24 marca 1989 roku ponad 3800 kilometrów południowego wybrzeża Alaski zamarło. W rejonie Zatoki Księcia Williama, tankowiec *Exxon Valdez* uległ kolizji (nieudolnie wymijając ławice kry lodowej) i uwolnił do morza olbrzymią plamę ropy naftowej (prawie 50 mln litrów). Oznaczało to śmierć żyjących tam ryb, ptaków, fok, uchatek, morsów i wielorybów. Oczyszczenie kosztowało koncern *Exxon* 200 mln dolarów – mimo to, dziesięć lat później odkryto, że większość ropy nadal znajdowało się na brzegach Alaski. Co więcej, nie była to jedyna tego typu historia (np. katastrofa tankowca *Erika* w 1999 roku, czy tankowca *Prestige* w 2002 roku, wyciek mazutu z cystern wykojonego pociągu w Swarzędzu k. Poznania w 2007 roku).

Człowiekowi wystarczyło zaledwie kilka godzin, by spowodować tak wielkie zniszczenia w przyrodzie. Ile czasu potrzebuje przyroda, aby naprawić szkody wyrządzone jej przez ludzi – wciąż nie wiadomo. Warto jednak przyjrzeć się, jakie mechanizmy wykorzystywane są przez mikroorganizmy i czego możemy się od nich nauczyć.

Sposób na plamę – bioremediacja

Degradacja zanieczyszczeń organicznych (takich jak ropa naftowa) przez mikroorganizmy (**bioremediacja**) możliwa jest dzięki wykorzystywaniu przez nie tych zanieczyszczeń jako źródło węgla i elektronów, uczestniczących w pozyskiwaniu energii do wzrostu czy reprodukcji – odbywa się to na drodze oddychania beztlenowego, fermentacji czy redukcyjnej dehalogenacji (eliminacji atomów np. fluoru, chloru, bromu czy jodu z cząsteczki związku chemicznego). Oczywiście, należy zapewnić im odpowiednie warunki, gdyż wielkie znaczenie mają tu takie czynniki jak kwasowość (pH), wilgotność, temperatura czy dostępność pierwiastków biogennych (azotu i fosforu). Często pomocne okazują się w tej metodzie także środki powierzchniowo czynne (detergenty), których cząsteczki obniżają napięcie powierzchniowe i międzyfazowe cieczy oraz emulgują zanieczyszczenia, poprawiając tym samym dostępność oraz transport związków do komórek mikroorganizmów. Detergenty mogą być produkowane przez wykorzystywane w bioremediacji zmodyfikowane genetycznie bakterie i grzyby (np. emulsan, surfaktyna) lub otrzymane syntetycznie (np. SDS czy Triton X-100).

W zależności od rodzaju użytych mikroorganizmów, wyróżnia się trzy typy bioremediacji, w tym – naturalną degradację zanieczyszczeń (**atenuacja**). Pozostałe to **biostymulacja** (wykorzystana przy oczyszczaniu wybrzeży Alaski po katastrofie *Exxon Valdez*), przyspieszająca biodegradację przez zwiększenie aktywności mikroorganizmów autochtonicznych (pochodzących z zanieczyszczonego środowiska) oraz **bioaugmentacja**. Ta ostatnia – polegająca na wprowadzeniu do zanieczyszczonego środowiska namnożonych autochtonicznych mikroorganizmów o selektywnie wzmocnionych cechach (np. powinowactwie do określonych związków) - sprawdza się najlepiej.

Rośliny metalolubne

Statystyki pokazują, że najbardziej zanieczyszczonym rejonem w Polsce jest Wyżyna Śląska. Duże zagęszczenie przemysłu pociąga za sobą skażenie powietrza czy zmniejszenie natężenia promieniowania słonecznego (i tym samym zwiększenie zachmurzenia). Zgodnie z przyjętymi normami, na 1 km² nie powinno opadać więcej niż 200 ton pyłów rocznie – obecnie w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym wskaźnik ten wynosi 1000 t/ km² !

Już w małych ilościach metale ciężkie mogą spowodować m. in. choroby układu naczyniowego, uszkodzenia nerek, kości, zaburzenia w funkcjonowaniu układu rozrodczego. Ich związki nieorganiczne łatwo rozpuszczają się w wodzie, dzięki czemu bez przeszkód przenikają przez błony komórkowe, dostając się do narządów wewnętrznych. Przyczyniają się także do procesów nowotworowych. Do najbardziej toksycznych metali ciężkich należą: ołów, rtęć, kadm i arsen.

Ołów przedostaje się do powietrza wraz z dymem fabryk, hut, stalowni, spalin samochodowych, papierosów. Z powietrza opada na glebę, z gleby przenika do wód. Wchodzi także w skład produktów takich jak np. baterie, akumulatory, stara amunicja czy dodatki do paliw.

Rtęć jest metalem płynnym, rozpadającym się z łatwością na małe kuleczki, co zwiększa powierzchnię jej parowania. Można znaleźć ją wszędzie tam, gdzie produkuje się termometry i barometry, aparaturę badawczą, materiały wybuchowe oraz w przemyśle farmaceutycznym i chemicznym.

Związki arsenu wchodzi m. in. w skład pestycydów, barwników i niektórych lekarstw, kadm natomiast występuje w dużych ilościach na obszarach uprzemysłowionych oraz w dymie tytoniowym (według specjalistów to właśnie ten metal stanowi główny czynnik wywołujący raka płuc).

Do usuwania tych i innych toksycznych produktów przemysłu można użyć roślin, które z zadaniem tym radzą sobie coraz lepiej (metodę tę nazwano **fitoremediacją**). Istnieją takie gatunki, które poza wysoką tolerancją i zdolnością do akumulacji metali ciężkich, charakteryzują się także wysokim przyrostem biomasy (zwykle roślina reaguje na stres spowolnieniem wzrostu). Oczywiście, zdolności do pobierania określonego metalu ciężkiego zależą od właściwości fizyko-chemicznych gleby czy obecności mikroorganizmów współpracujących z organizmem roślinnym.

Najbardziej popularne rodzaje fitoremediacji to m.in.: **fitoekstrakcja** (metal jest akumulowany w częściach nadziemnych roślin, które następnie niszczy się), **fitodegradacja** (zanieczyszczenia organiczne są przekształcane na związki nietoksyczne przez układ enzymatyczny rośliny), **fitostabilizacja** (wydzieliny korzeniowe unieruchamiają toksyny w

glebie i zapobiegają ich dalszemu rozprzestrzenianiu się) czy **fitowolatyzacja** (związki toksyczne są rozkładane do nietoksycznych form lotnych i uwalniane do atmosfery).

Najlepszymi akumulatorami zanieczyszczeń okazały się niektóre rośliny z rodziny *Brassicaceae* (Kapustowate) – w tym najbliższy ideałowi rzepak (*Brassica napus*). W rzepaku jony metali nie są transportowane do nasion (zatem można je potem wysiać bez żadnego ryzyka), a masę poremediacyjną można wykorzystać do produkcji biopaliwa czy smarów.

Wartościowe odpady

W dobie prognozowanego kryzysu energetycznego warto wspomnieć o **biogazie** (mieszanina 40% dwutlenku węgla i 60% metanu), który okazuje się cennym biopaliwem. Substratami niezbędnymi do jego wytworzenia są m. in. różnego rodzaju odpady – odchody zwierząt hodowlanych, wywary pogorzelniane, odpady poubojowe czy osady z oczyszczalni ścieków, które poddaje się **fermentacji metanowej**.

Proces ten polega na rozkładaniu cząsteczek związków organicznych w czterech etapach do związków prostych z wydzieleniem metanu. Najbardziej metanogenna jest faza ostatnia – uzyskuje się z niej aż 72% metanu. Otrzymany agrogaz wymaga jeszcze oczyszczenia go z wody, domieszki wodoru, siarkowodoru, tlenu i azotu, które znajdują się w nim bezpośrednio po fermentacji.

Proces fermentacji metanowej jest ściśle kontrolowany – bakterie muszą mieć zapewnione optymalne warunki - większość z nich preferuje środowisko beztlenowe i temperaturę 37 - 42°C .

Otrzymany biogaz spalany jest w silnikach spalinowych, a z uzyskanej energii elektrycznej otrzymuje się ciepło. Co ważne, z procesu utylizacji w biogazowni uzyskuje się nie tylko energię odnawialną, ale nie ma też emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Na dodatek przefermentowana biomasa wykazuje wyższą o 95% mineralizację i zredukowaną ilość substancji szkodliwych (w porównaniu z materiałem początkowym), przez co wzrasta wydajność nawożenia.

Najwyższym rozwojem energetyki biogazowej poszczycić się mogą Niemcy, którzy dodatkowo uzdatniają biogaz i wprowadzają go do sieci gazu ziemnego (taki uszlachetniony

biogaz zawiera ponad 96% metanu). Obecnie zasila się w ten sposób np. sieć gazową Monachium. Biogazownie pojawiają się tam jak grzyby po deszczu, w przeciwieństwie do Polski, gdzie mają one więcej przeciwników niż zwolenników, a wszystko za sprawą... nieprzyjemnego zapachu.

Nauka przyszłości

Poznanie przeprowadzanych przez naturę procesów biologicznych nie tylko pomaga likwidować zanieczyszczenia w sposób przyjazny środowisku, ale także pozwala zapobiegać dalszemu jego niszczeniu i rabunkowej eksploatacji zasobów naturalnych. Biodiesel produkowany w coraz większych ilościach może okazać się następcą ropy naftowej, oczyszczalnie ścieków ułatwiają proces utylizacji zanieczyszczeń poprzez wykorzystanie osadu czynnego (tlenowa metoda oczyszczania ścieków z wykorzystaniem mikroorganizmów naturalnie występujących w środowisku wodnym, w sztucznie stworzonych zbiornikachz napowietrzaniem), a wysoki poziom ekonomiczności i ekologiczności w produkcji energii sprawia, że biogazownie cieszą się coraz większym zainteresowaniem m.in. w Szwecji czy Niemczech. Doświadczenie tych krajów pokazuje, że działalność na rzecz ochrony środowiska może również okazać się bardzo opłacalnym biznesem.