

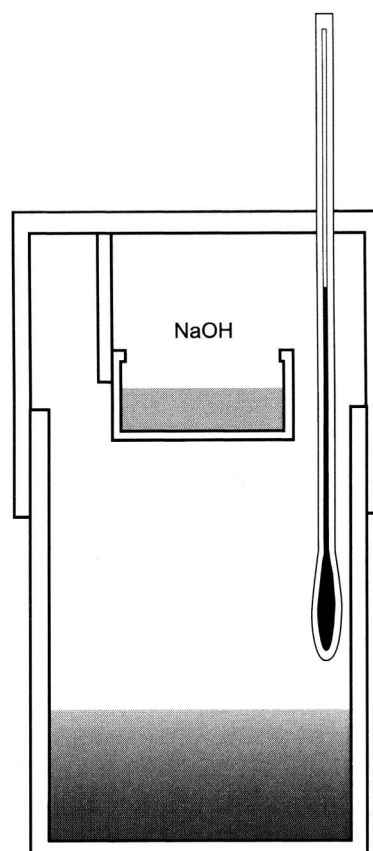
6.7. Od czego zależy tempo dekompozycji i jak się je mierzy?

Badaniom produktywności ekolodzy poświęcili znacznie więcej czasu i wysiłku niż badaniom procesu dekompozycji. Wiemy bardzo dobrze, jak rozmieszczona jest przestrzennie produkcja biomasy na powierzchni lądów i w morzach, jakie subtelne czynniki mają na nią wpływ. Tymczasem analogiczna wiedza o rozkładzie materii organicznej w skali globalnej jest znacznie skromniejsza. Częściowo wynika to z tego, że proces jest o wiele bardziej złożony: zazwyczaj produkcją biomasy w jakimś miejscu zajmuje się przede wszystkim kilka gatunków — na lądach są to zwykle okazałe, łatwe do identyfikacji i do badania rośliny — podczas gdy w dekompozycję zaangażowany jest zespół mikroorganizmów, działających równolegle bądź kolejno, które nawet trudno jest zidentyfikować. Nie ma mowy o tym, aby tempo dekompozycji na wielkich obszarach można było mierzyć z satelity. Istotnym powodem było jednak to, że zagadnienia dekompozycji nie doceniano. Znaczenie produkcji pierwotnej wydawało się oczywiste, w tym także z powodów praktycznych (produkcja żywności), dekompozycja zaś pozostawała problemem dość akademickim. Ostatnio jednak okazuje się, że z kilku powodów badania dekompozycji nabierają istotnego znaczenia. Po pierwsze, globalne zmiany klimatu obserwowane obecnie mogą być związane ze zmianami bilansu węgla w biosferze. W naszej wiedzy na ten temat są jednak duże luki: wiemy dużo o redukcji CO₂, a znacznie mniej o dalszych losach wytworzonej materii organicznej. Po drugie, wydaje się, że zanieczyszczenia przemysłowe zaburzają procesy dekompozycji na lądach, wpływając też na obieg wielu pierwiastków. Po trzecie wreszcie, lawinowo narasta problem pozbycia się odpadów, produkowanych masowo przez ludzi, a nie rozkładanych w sposób naturalny. Poszukiwanie rozwiązań wymaga lepszej znajomości naturalnych procesów rozkładu materii organicznej w przyrodzie.

Metody pomiarowe opierają się na tych samych założeniach teoretycznych, jakimi kierujemy się w badaniach produkcji. Możemy wykorzystać metody fizjologiczne, tj. pomiary tempa zużycia tlenu i produkowania dwutlenku węgla, albo obserwować tempo zaniku materii organicznej z upływem czasu, tak samo jak obserwowaliśmy tempo przyrostu biomasy badając produkcję pierwotną. Zasadnicza różnica polega na tym, że w badaniach produkcji można brać pod uwagę wybrane gatunki i pojedyncze osobniki, podczas gdy w badaniach dekompozycji obiektem jest cały „mikrokosmos”: próbka wody, mułu dennego, ściółki leśnej czy też gleby, wraz z wielogatunkowym zespołem organizmów, których często w ogóle się nie rozpoznaje. Liczebność i skład mikroorganizmów w próbce oznacza się najczęściej pośrednio, wykrywając obecność wybranych białek lub mierząc aktywność enzymów.

Do pierwszej grupy zaliczyć można metodę ciemnych i jasnych butelek, dokładnie tę samą, za pomocą której szacuje się tempo produkcji biomasy

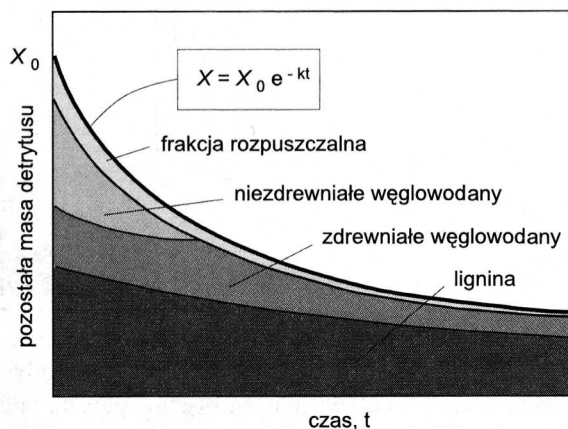
Ryc. 6.2. „Mikrokosmos” do pomiaru tempa dekompozycji. Szczelne naczynie zawiera próbkę materiału (np. ściółkę i próchnicę wraz ze wszystkimi organizmami). Roztwór NaOH w osobnym naczyniu pochłania wydzielający się dwutlenek węgla. Pomiar przebiega w kontrolowanej temperaturze



planktonu w wodzie (p. rozdz. 5). Istnieją modyfikacje tej metody, nie zmieniające jej istoty. W badaniach tempa rozkładu materii organicznej na lądach możemy się posłużyć metodą analogiczną do tej, która służyła do pomiaru tempa fotosyntezy: mierząc wymianę gazową. Jest wiele rozwiązań technicznych. Próbkę materiału, np. ściółki, można umieścić w szczelnym pojemniku, w którym jednocześnie umieszcza się niewielkie naczynie zawierające znaną ilość mianowanego roztworu NaOH (ryc. 6.2). Wodorotlenek sodu wiąże dwutlenek węgla, produkowany przez mikroorganizmy. Miareczkując NaOH po pewnym czasie łatwo obliczamy, jaka ilość CO_2 się wydzielila. Tempo produkcji CO_2 i pobierania tlenu można też zmierzyć badając zmiany składu powietrza przepompowywanego przez komorę z materiałem ulegającym rozkładowi. Pomiar wymiany gazowej można przeprowadzać w zamkniętych pojemnikach w laboratorium, albo nawet wprost w terenie.

Druga grupa metod polega na pomiarach straty masy całkowitej oraz zawartości poszczególnych pierwiastków z materiału wystawionego na jakiś czas na działanie detrytosożerców i mikroorganizmów glebowych. W praktyce najczęściej stosuje się do tego celu **technikę woreczków ściółkowych**. Zważone próbki ściółki zaszywa się w niewielkich kopertach z nylonowej siatki, o oczkach np. 1 mm, i pozostawia zakopane w ściółce na okres od kilku tygodni do kilku lat — zależnie

od zamierzeń badawczych. Co jakiś czas — lub dopiero na końcu okresu badawczego — kolejne woreczki przynosi się do laboratorium, gdzie waży się ich zawartość i bada skład chemiczny pozostałości, oznaczając najczęściej całkowitą materię organiczną, zawartość celulozy, ligniny, azotu, soli mineralnych itd. Dobierając odpowiednio wielkość oczek siatki, możemy dopuścić lub wyeliminować makrofagi glebowe (np. owady, dżdżownice itd.). Można też szacować tempo dekompozycji wybranych składników, na przykład samej celulozy, wystawiając w woreczkach skrawki bibuły filtracyjnej. Porównując zawartość woreczków pobranych w różnym czasie, można ocenić tempo rozkładu materii organicznej i uwalniania poszczególnych pierwiastków. Ponieważ jednak w tym przypadku nie obserwuje się procesu w sposób ciągły, a jedynie pobiera co jakiś czas kolejne próbki, istnieje ryzyko błędu, wynikającego z nieuniknionej zmienności próbek. Problem ten eliminuje się pobierając materiał w wielu powtórzeniach i przeprowadzając statystyczną analizę wyników.



Ryc. 6.3. Ubytek masy materii organicznej (x) z upływem czasu (t) w rozkładającej się ściółce sosnowej, zgodny z modelem wykładniczym. Jako pierwsze całkowicie znikają związki rozpuszczalne i niezdrewniałe węglowodany; najdłużej pozostaje lignina, której względny udział w pozostającej materii detrytusu rośnie (metoda woreczków ściółkowych; wg Coûteaux, Bottnera i Berga, 1995)

Tempo rozkładu opisuje się korzystając z modelu wykładniczego (ryc. 6.3):

$$X = X_0 e^{-kt}, \quad (6.1)$$

gdzie X — ilość pozostałego materiału, X_0 — ilość początkowa, k — stała tempa dekompozycji, t — czas. Jeżeli czas mierzymy w latach (a tak jest najczęściej), to po pierwszym roku dekompozycji frakcja nie rozłożonego materiału wyrażać się będzie wzorem:

$$X/X_0 = e^{-k}, \quad (6.2)$$

a stąd $k = \ln(X_0/X)$.

Ponieważ rozkład ma charakter wykładniczy, nie można powiedzieć, kiedy cała materia organiczna zniknie. Zamiast tego wylicza się, po jakim czasie zostanie rozłożone 95% materiału (wskaźnik t_{95}).

Trzecie możliwe podejście badawcze wychodzi z założenia, że ilość materii organicznej w ekosystemie pozostaje w równowadze. Oznacza to, że co roku rozkładowi powinna ulegać taka ilość ściółki, jaka w danym roku opada. Innymi słowy, rozkładowi ulega stała frakcja materiału:

$$\text{Opad} = k (\text{masa ściółki}), \quad (6.3)$$

czyli

$$\text{Opad}/(\text{masa ściółki}) = k. \quad (6.4)$$

Jeżeli założenie o zbilansowanym tempie produkcji i dekompozycji jest spełnione, to współczynniki k z równań (6.1) i (6.3) są równoważne. Odwrotność współczynnika k ($1/k$) określa przeciętny czas pozostawania materii organicznej w ekosystemie.

Przy szybkim tempie dekompozycji i braku akumulacji węgla organicznego, np. w lasach deszczowych, $k > 1$: warunki sprzyjają rozkładowi większej ilości materiału, niż rzeczywiście jest dostarczany. Odwrotnie, w torfowiskach lub w tajdze k może być bardzo małe (np. 0,03), co oznacza, że tempo dekompozycji jest znacznie wolniejsze niż tempo produkcji. Każda cząstka wyprodukowanej biomasy długo pozostaje nie rozłożona (przeciętnie np. 30 lat) i w wyniku materii organicznej przybywa. W ekosystemach trawiastych k zawiera się między 0,2 i 0,6.

Tempo dekompozycji zależy od rodzaju materiału (o czym już była mowa; tab. 6.1) i od warunków środowiskowych w danym miejscu, przede wszystkim od

**Tabela 6.1. Tempo dekompozycji materii organicznej w lasach
(dane wg różnych autorów)**

Dominujący rodzaj (gatunek) w drzewostanie	Tempo dekompozycji (k)	t_{95} (czas rozkładu 95% masy materii organicznej; lata)
Grab	1,06	2,83
Lipa	0,91	3,30
Dąb	0,63	4,76
Dereń	0,56	5,35
Klon czerwony	0,39	7,68
Dąb kasztanowy	0,33	9,08
Świerk	0,30	10,0
Sosna	0,21	14,29
Buk	0,08	37,45

temperatury i wilgotności. Tempo wszystkich procesów chemicznych (w tym także biologicznych) zmienia się wykładniczo wraz z temperaturą otoczenia. W biologii przyjęło się, aby zjawisko to ujmować ilościowo za pomocą tzw. współczynnika