

K o m u n i k a t

UDZIAŁ MIKROFLORY W ROZKŁADZIE KORZENI TRAW I TWORZENIE SIĘ PRÓCHNICY

JAN WALCZYNA

Praca niniejsza jest streszczeniem oryginału, który będzie opublikowany później.

Praca ta jest kontynuacją badań prowadzonych od kilku lat nad udziałem mikroflory w rozkładzie resztek roślinnych i tworzeniem się próchnicy. W poprzednich doświadczeniach zajmowano się rozkładem części nadziemnych traw, a obecne badania dotyczą rozkładu korzeni traw.

Doświadczenie nad rozkładem korzeni traw i tworzeniem się próchnicy prowadzono w płuczkach Drexela o pojemności 0,5 litra. W każdej z płuczek umieszczano 400 g piasku, 16 g suchych korzeni i 97 ml wody destylowanej oraz pożywkę. Stosunek korzeni do piasku wynosił 1 : 25, czyli korzeni było 4%. Wilgotność po przeliczeniu na całkowitą pojemność wodną piasku i korzeni wynosiła około 60%. Korzenie traw pobrano w m-cu wrześniu z tej samej łąki co części nadziemne, używane do poprzednich doświadczeń. W składzie występujących na tej łące roślin przeważały trawy (*Festuca pratensis* około 40%, *Dactylis glomerata* około 20% i kilkanaście innych gatunków w mniejszej ilości) z domieszką roślin motylkowych (*Trifolium hybridum* około 10%), ziół i chwastów. Do każdej z płuczek dodano następujące ilości soli: K_2HPO_4 — 0,1 g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ — 0,1 g, NaCl — 0,03 g, $CaCO_3$ — 0,5 g i NH_4NO_3 — 0,75 g. Poza tym w śladowych ilościach dodawano następujące mikroelementy: Fe, Mn, Cu, B i Mo. Azotu ogólnego po przeliczeniu na całą masę zawartości płuczek było 0,104% (azotu w korzeniach było 1,07% + + azot z NH_4NO_3), a węgla w korzeniach było 36,98%. Wobec powyższego stosunek azotu do węgla wynosił 1 : 13,6.

Po załadowaniu płuczek, zawartość szczepiono zawiesiną glebową, przygotowaną z tej samej gleby łąkowej, z której pobierano korzenie.

Jak wyżej podano założono równolegle 6 płuczek. W celu oznaczenia stopnia mineralizacji substancji organicznej, w czasie rozkładu chwymano wydzielający się z płuczek CO_2 za pomocą KOH, który był umieszczony w płuczkach następnych, a te z kolei były podłączone do płuczek z piaskiem i korzeniami. Poza tym podłączono jeszcze jeden szereg płuczek z H_2SO_4 w celu schwymania wydzielającego się NH_3 .

Przez cały ten zestaw płuczek przepuszczano stale powietrze pod małym ciśnieniem. Powietrze pobierano z butli, w której było ono sprężone. Przeciętna szybkość przepływu powietrza wynosiła 1 banieczkę o Φ około 1 cm na 5 sek. na 1 płuczkę. W ten sposób przez 1 płuczkę w ciągu doby przepłynęło około 18 litrów powietrza. Powietrze z butli przed wpuszczeniem do płuczek oczyszczano z CO_2 za pomocą stężonego KOH. W celu uchronienia płuczek z piaskiem i korzeniami przed wyparowaniem wody, zakładano przed nimi płuczki z wodą, która przez parowanie uzupełniała uwilgotnienie. Były to więc badania laboratoryjne nad rozkładem korzeni traw prowadzone w warunkach aerobowych w temperaturze $25^\circ (\pm 2)$.

Co 20 dni wykonywano analizy mikrobiologiczne, pobierając materiał do szczepień z 2 równoległych płuczek, a co 40 dni 2 płuczki zupełnie likwidowano i otrzymywano materiał do analiz chemicznych i innych oznaczeń. Chodziło przy tym o uchwycenie zmian mikroflory zachodzących w czasie rozkładu, jak również o przebieg niektórych procesów. Doświadczenie trwało 120 dni.

WYNIKI BADAŃ

W tabeli 1 podano szybkość rozkładu korzeni traw, które po zlikwidowaniu płuczek oddzielano od piasku, oczyszczono i po wysuszeniu ważono.

Tabela 1
Szybkość rozkładu korzeni traw w płuczkach
w przeliczeniu na suchą masę

| Okres rozkładu | Rozkład w równoległych płuczkach w g | | Średnio w g | % od całości korzeni (16 g) |
|----------------|--------------------------------------|------|-------------|-----------------------------|
| 40 dni | 5,15 | 4,98 | 5,07 | 31,36 |
| 80 dni | 7,41 | 7,38 | 7,40 | 46,25 |
| 120 dni | 8,51 | 8,04 | 8,28 | 51,75 |

Jak wynika z podanych liczb, rozkład korzeni traw zachodzi stosunkowo wolno. W ciągu 120 dni zostało rozłożone zaledwie 51,75% korzeni. Natomiast jak wynika z poprzednich doświadczeń części nadziemne traw

(źdźbła, liście) są rozkładane o wiele szybciej; w ciągu 90 dni zostało rozłożone 72,15% resztek części nadziemnych. Różnice pomiędzy zawartością poszczególnych węglowodanów, zawartych w częściach nadziemnych a w korzeniach traw używanych do doświadczeń są dość znaczne, co wykazuje tabela 2.

Tabela 2

Skład chemiczny części nadziemnych i korzeni traw w % w przeliczeniu na suchą masę

| Resztki roślinne | Białko | Tłuszcze | Skrobia | Hemiceluloza | Celuloza | Lignina | Popiół | Suma |
|------------------|--------|----------|---------|--------------|----------|---------|--------|-------|
| Części nadziemne | 9,25 | 2,39 | 6,38 | 21,87 | 28,71 | 7,72 | 7,27 | 83,59 |
| Korzenie | 5,60 | 4,17 | 0,58 | 27,18 | 27,62 | 15,44 | 7,60 | 88,19 |

W korzeniach mniej było węglowodanów łatwiej rozkładanych przez mikroorganizmy (skrobia), a więcej ligniny, która wolno jest rozkładana. W częściach nadziemnych stosunek węglowodanów był odwrotny. Jak wynika z przytoczonych danych, szybkość rozkładu zależy przede wszystkim od składu chemicznego resztek roślinnych tj. od ilości węglowodanów łatwo rozpuszczalnych, które są szybko rozkładane oraz od ilości węglowodanów trudno rozpuszczalnych, które są powoli rozkładane. Jednak jak wynika z przeprowadzonych obserwacji szybkość rozkładu w pewnym stopniu zależy również od budowy morfologicznej i anatomicznej resztek roślinnych. Łodygi i liście traw już po 30 dniach rozkładu rozpadły się na oddzielne włókna, tracąc zupełnie swój wygląd pierwotny. Natomiast korzenie traw (nitkowate, cienkie) zachowały swój pierwotny wygląd morfologiczny, nawet po 120 dniach rozkładu. Ta odmienna budowa korzeni może utrudniać dostęp mikroorganizmów do poszczególnych tkanek, jak również wpływać na zmianę zespołów mikroorganizmów, co w konsekwencji zmniejsza szybkość rozkładu. Ten odmienny sposób rozkładu korzeni traw ma wpływ również na inne procesy, które zostaną omówione w dalszym ciągu pracy.

Szybkość rozkładu poszczególnych węglowodanów zawartych w korzeniach była podobna jak w częściach nadziemnych traw. Tłuszcze, skrobia, a przypuszczalnie i białka są szybko rozkładane przez mikroflorę. Natomiast wolniej są rozkładane hemicelulozy i celulozy, a całkiem wolno ligniny. Po 40 dniach tłuszcze zostały rozłożone w 67,02%, skrobia w 100%, hemicelulozy w 22,35%, celulozy w 26,98% i ligniny zaledwie w 10,35%. Odpowiednio po 80 dniach tłuszcze w 80,50%, hemicelulozy w 47,01%, celulozy w 52,84% i ligniny w 29,15%. Po 120 dniach tłuszcze w 89,51%, hemicelulozy w 55,30%, celulozy w 59,64% i ligniny w 33,61%.

Z przytoczonych danych wynika również, że w miarę wyczerpywania się ilości węglowodanów łatwo rozpuszczalnych szybkość rozkładu zmniejsza się.

W doświadczeniach nad rozkładem korzeni jest ciekawe zachowanie się białka. Jak wynika z poprzedniego doświadczenia białko jest stosunkowo szybko rozkładane przez mikroorganizmy. W tym doświadczeniu ilość białka zawartego w korzeniach nie zmniejszyła się, a w miarę przedłużania się rozkładu nawet znacznie wzrosła. Białka w korzeniach przed rozkładem było 5,6%. Po 40 dniach zostało rozłożone 23,54% początkowej ilości białka, po 80 dniach 13,39% i po 120 dniach 5,14%. Z tego wynika, że białka podczas rozkładu nagromadzały się w korzeniach traw i ilość ich w stosunku do ilości początkowej prawie dwukrotnie wzrosła. W resztkach korzeni nie rozłożonych po 120 dniach białka było 11,03%, a przed rozkładem tylko 5,6%. Dowodzą tego również wyniki oznaczeń białka w całej masie płuczek, podanych w tabeli 3.

Tabela 3

Azot ogólny i białko w % jako średnie w przeliczeniu na suchą masę zawartości płuczek

| Wyszczególnienie | Przed rozkładem | Okres rozkładu | | | | | |
|--------------------------|-----------------|----------------|-------|--------|-------|---------|-------|
| | | 40 dni | | 80 dni | | 120 dni | |
| | | p ł u c z k i | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Azot ogólny | 0,104 | 0,089 | 0,088 | 0,089 | 0,087 | 0,088 | 0,086 |
| Białko | 0,21 | 0,30 | 0,30 | 0,37 | 0,36 | 0,35 | 0,38 |
| Stosunek azotu do białka | 2,02 | 3,39 | 3,40 | 4,16 | 4,14 | 3,98 | 4,42 |

Ilość białka w całej masie płuczek również prawie dwukrotnie wzrosła w stosunku do ilości początkowej. Białko to jak już podano nagromadzało się przede wszystkim w korzeniach traw, które podczas rozkładu zachowują swoją pierwotną postać morfologiczną. Jak wynika z tego, duży wpływ na charakter rozkładu ma sama budowa anatomiczna i morfologiczna. W przypadku korzeni drobnoustroje przypuszczalnie rozwijały się przeważnie w ich wnętrzu, rozkładając je. W czasie rozkładu następuje nagromadzanie i wzrost ilości białka jako wynik resyntezy białka roślinnego oraz jego syntezy z azotu mineralnego. Znaczący to również, że mikroorganizmy mają zdolność nie tylko rozkładu, ale również syntezy białka z azotu mineralnego. Wyniki z tego doświadczenia nie są przypadkowe, potwierdzają je wyniki otrzymane w poprzednim doświadczeniu nad rozkładem części nadziemnych, podczas którego również nastąpił w masie płuczek pewien wzrost ilości białka. Wzrost ten był znacznie mniejszy niż w doświadczeniu z korzeniami.

Przed i w czasie rozkładu oznaczano ilość węgla w korzeniach nie rozłożonych za pomocą U-rurek zmodyfikowaną metodą Knoppa. Również obliczono ilość węgla, wydzielonego z płuczek w postaci CO₂, który był sorbowany przez KOH. Oznaczenia ilości węgla przed rozkładem i w czasie rozkładu oraz ilość węgla wydzielonego w postaci CO₂, pozwoliły sporządzić bilans i obliczyć współczynnik humifikacji.

Tabela 4

Bilans węgla i współczynnik humifikacji w % w przeliczeniu na suchą masę

| | Przed rozkładem | Okres rozkładu korzeni traw | | |
|--|-----------------|-----------------------------|--------|---------|
| | | 40 dni | 80 dni | 120 dni |
| Ilość C w korzeniach | 36,98 | 35,91 | 38,20 | 39,26 |
| Ilość C uwolnionego przez rozkład | | 33,67 | 44,50 | 48,73 |
| Ilość C wydzielonego w postaci CO ₂ | | 20,35 | 31,22 | 39,63 |
| Współczynnik humifikacji | | 13,32 | 13,28 | 9,10 |

Liczby podane w tabeli są to średnie z dwu oznaczeń.

Współczynnik humifikacji obliczono po odpowiednich przeliczeniach, uwzględniając ilość korzeni i zawartość w nich węgla. Stanowi on różnicę między ilością węgla, który został uwolniony z korzeni w czasie rozkładu, a ilością węgla wydzielonego w postaci CO₂.

Z podanych liczb wynika, że ilość węgla w korzeniach po 40 dniach rozkładu nieco zmniejszyła się (35,91%) w stosunku do ilości wyjściowej, a następnie stopniowo wzrastała. Z węgla uwolnionego z substancji organicznej podczas jej rozkładu, bardzo duża część (prawie 90%) została zmineralizowana i wydzielona w postaci CO₂. Pozostała część, która została wtórnie zsyntetyzowana w ciałach drobnoustrojów i w związkach próchnicznych stanowi małą część, po 40 i 80 dniach rozkładu nieco ponad 13% i po 120 dniach tylko 9,10%. Jest rzeczą ciekawą, że wielkość współczynnika humifikacji jest prawie ta sama po 40 i 80 dniach rozkładu, pomimo różnych liczb wyjściowych do jego obliczenia. Zmniejszenie się współczynnika humifikacji po 120 dniach rozkładu wiąże się prawdopodobnie z rozkładem związków próchnicznych w tym okresie. Po 80 dniach rozkładu było prawie dwa razy więcej wolnych kwasów huminowych niż po 120.

Z danych tych wynika, że duża część substancji organicznej podczas rozkładu jest mineralizowana do końcowych produktów i zostaje wydzielona z gleby (węgiel). Mała jej część rzędu kilkunastu procent jest wtórnie syntetyzowana i pozostaje w glebie.

Na podstawie tych danych można również wnioskować, że współczynnik humifikacji w glebach naturalnych jest niski, choć może podlegać pewnym wahaniom.

Podobnie jak w poprzednim doświadczeniu, również i w tym, w płuczkach z kwasem siarkowym nie stwierdzono obecności amoniaku. Świadczy to, że amoniak jest łatwo wiązany przez jakieś związki i nie wydziela się, pomimo że był wyczuwany przy otwieraniu płuczek.

ANALIZA SUBSTANCJI PRÓCHNICZNYCH

W czasie trwania rozkładu następowało stopniowe brązowienie korzeni traw, jak również całej masy w płuczkach. Pod koniec rozkładu korzenie traw były koloru brązowego a nawet ciemnego.

Zawartość płuczek po ich zlikwidowaniu rozdzielano na poszczególne elementy za pomocą sączenia i dekantacji. W ten sposób oddzielono piasek od nie rozłożonych korzeni i frakcję związków huminowych. Związki próchniczne następnie oczyszczano i rozdzielono na wolne kwasy huminowe i huminy za pomocą wirowania. Wolne kwasy huminowe, które pozostały w roztworze wodnym, rozpuszczono w 0,1 n wodorotlenku sodu i następnie wytrącano 0,1 n kwasem siarkowym przy słabym podgrzaniu. Wytrącony, bezpostaciowy, ciemnobrunatny osad, przemylwany był kilka razy wodą destylowaną, a następnie poddany dializie w woreczkach kolodionowych w celu usunięcia jonów „SO₄”.

Huminy już w roztworze wodnym różniły się od wolnych kwasów huminowych, szybko opadały na dno kolbki, co świadczy o ich dużej masie cząsteczkowej i stanowiły masę bezpostaciową koloru ciemnego.

Huminy po tzw. dekalcytacji, tj. uwolnieniu ich od wapnia, rozdzielono za pomocą hydrolizy kwasem siarkowym na dwie frakcje, na frakcję kwasów huminowych i frakcję związaną z częścią mineralną, która nie ulegała hydrolizie. W obawie przed jakimiś zmianami budowy i składu humin, co mogłyby powodować kwasy o dużym stężeniu, do hydrolizy używano tylko kwasu siarkowego o najwyższym stężeniu 1,0 n. Po hydrolizie związki humin tak samo wytrącano i oczyszczano jak wolne kwasy huminowe. Kwasy huminowe otrzymane z humin wyglądem zupełnie przypominały wolne kwasy huminowe. Natomiast frakcja humin nie shydrolizowana przybrała postać bezpostaciowego, kłaczkowatego osadu, który po wysuszeniu był koloru szaro-brązowego.

Po wysuszeniu do stałej wagi w temperaturze 70°, wszystkie związki próchniczne poddano analizie elementarnej wykonanej wg metody Bobrańskiego, oznaczając węgiel, wodór i azot. Poza tym oznaczano w nich zawartość popiołu. Wyniki analizy związków próchnicznych podano w tabeli 5.

Duże różnice pomiędzy składem wolnych kwasów huminowych wynikają z tego, że po 80 i 120 dniach nastąpiło ich wysolenie się w czasie rozpuszczania w ługu. Wg ogólnie stosowanej metody związki próchniczne przy ich ekstrakcji rozpuszcza się w ługach, doprowadzając stężenie końcowe do 0,1 n, a następnie wytrąca się kwasem doprowadzając również jego końcowe stężenie do 0,1 n. Jest rzeczą interesującą, że po dodaniu do roztworu ługu kwas huminowy po 80 dniach rozkładu wytrącił się w formie bezpostaciowego, kłaczkowatego osadu koloru brązowego z odcieniem podobnym do dwuchromianu potasu. To samo powtórzyło się z kwasem huminowym po 120 dniach rozkładu. Związków tych nie traktowano już kwasem. Duża zawartość w nich popiołu świadczy, że pod wpływem ługu nastąpiło ich wysolenie, co równocześnie wpłynęło na niedokładność oznaczenia innych składników. Ze zjawiskiem tym nie spotkano się w pracy, jak również literatura o tym nie wspomina. Przy ekstrakcji innych związków próchnicznych podobne wysolenie nie nastąpiło.

Tabela 5

Skład związków próchnicznych w przeliczeniu na bezpopielną masę w %

| Związki próchniczne | C | H | N | C : N | Popiół |
|---|-------|------|------|-------|--------|
| Kwas huminowy po 40 dn. rozkładu | 51,61 | 6,51 | 6,70 | 7,7 | 12,36 |
| Kwas huminowy po 80 dn. rozkładu | 39,91 | 7,10 | 3,84 | 10,4 | 43,68 |
| Kwas huminowy po 120 dn. rozkładu | 44,73 | 7,24 | 4,72 | 9,5 | 41,12 |
| Kwas huminowy otrzymany z humin po 40 dn. rozkładu | 53,54 | 7,62 | 6,28 | 8,5 | — |
| Kwas huminowy otrzymany z humin po 80 dn. rozkładu | 52,23 | 6,87 | 6,88 | 7,6 | 9,11 |
| Kwas huminowy otrzymany z humin po 120 dn. rozkładu | 52,80 | 6,25 | 6,10 | 8,7 | 6,22 |
| Humina nie shydrolizowana po 40 dn. rozkładu | 46,92 | 8,83 | 5,02 | 9,3 | 58,7 |
| Humina nie shydrolizowana po 80 dn. rozkładu | 47,91 | 7,66 | 5,83 | 8,2 | 52,76 |
| Humina nie shydrolizowana po 120 dn. rozkładu | 49,43 | 7,78 | 5,49 | 9,0 | 52,29 |
| Wyciąg z korzeni | 52,55 | 6,44 | 3,45 | 15,2 | 9,09 |

Kwasy huminowe otrzymane przez hydrolizę z humin swoim składem prawie nie różnią się między sobą; zawierają również mało składników popielnych. Zawartość w nich węgla, wodoru i azotu jest mniej więcej ta sama co w wolnych kwasach huminowych, otrzymywanych przy innych analizach i podawanych przez literaturę. Natomiast frakcje humin nie shydrolizowane zawierają mniej węgla, nieco więcej wodoru i nieco mniej azotu oraz dużo popiołu. Duża zawartość składników mineralnych

w związkach organicznych utrudnia wykonanie analizy elementarnej i wpływa na niedokładność wyników. Analizy wolnych kwasów huminowych wysolonych, o których była mowa oraz analizy frakcji nie shydrolizowanej humin są tego dobitnym przykładem. Wypływa stąd wniosek, że przy analizach związków próchnicznych należy brać pod uwagę zawartość w nich popiołu. Duża zawartość popiołu wpływa na niedokładność wyników. W literaturze prawie nie wspomina się o tym zagadnieniu.

Ze składu przede wszystkim kwasów huminowych otrzymanych z humin wypływa wniosek, że huminy są niczym innym jak tylko połączeniami wolnych kwasów huminowych, które z kolei łączą się w bliżej nieznany sposób ze składnikami mineralnymi. Huminy stanowią więc połączenia organo-mineralne, w których zawartość składników popielnych może osiągać kilkadziesiąt procent. Uwzględniając ilość humin i zawartość w nich popiołu po hydrolizie obliczono, że przed hydrolizą huminy po 40 dniach rozkładu zawierały około 44,0% popiołu, po 80 dniach 40,4% i po 120 dniach 37,4%.

Popiół otrzymany z humin po ich spalaniu poddano analizie spektrograficznej na zawartość głównych składników. Wyniki analiz podano w tabeli 6.

Tabela 6

Skład popiołu humin w %

| Składniki | Okres rozkładu korzeni | | |
|--------------------------------|------------------------|--------|---------|
| | 40 dni | 80 dni | 120 dni |
| Al ₂ O ₃ | 8,0 | 7,0 | 6,0 |
| Fe ₂ O ₃ | 5,0 | 4,0 | 3,0 |
| SiO ₂ | 10,0 | 9,0 | 8,0 |
| TiO ₂ | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| MgO | 2,0 | 0,5 | 0,2 |
| CaO | 35,0 | 30,0 | 30,0 |

Wyniki te wskazują, że ilości poszczególnych składników mineralnych w popiele humin otrzymanych po 40, 80 i 120 dn. rozkładu nie wiele się różnią. Prawie ten sam skład kwasów huminowych otrzymanych przez hydrolizę humin po 40, 80 i 120 dniach rozkładu oraz te same składniki popielne humin nie wiele się różniąc ilością po 40, 80 i 120 dn. rozkładu pozwalają wyciągnąć bardzo ważny wniosek, że huminy są związkami martwymi, mało lub w ogóle nie dynamicznymi, nie wchodzą w żadne dalsze reakcje. Huminy prawdopodobnie już w momencie tworzenia się, a możliwe, że już kwasy huminowe wchodzące w ich skład, zostają wysycone składnikami mineralnymi i nie są zdolne więcej sorbować. Z przy-

toczonych danych wypływa jeszcze jeden wniosek, że huminy powstają już w początkowym stadium humifikacji, gdy tylko wytworzą się wolne kwasy huminowe. Wynikałoby z tego również, że synteza humin jest procesem samoczynnym i pierwszym warunkiem jej zajścia są wolne, dynamiczne kwasy huminowe. Reakcja syntezy humin jest w znacznej części odwracalna, o czym świadczy rozpuszczanie humin w ługach i kwasach. Po pierwszym potraktowaniu humin 0,1 n NaOH, uwalnia się z nich dużo kwasów huminowych. Następne potraktowanie 0,1 n ługiem już prawie nie uwalnia wolnych kwasów huminowych. Z kolei przez hydrolizę kwasami o wzrastającym stężeniu można jeszcze uwolnić kwasy huminowe lecz do całkowitej hydrolizy humin trudno jest doprowadzić.

Jak już podano korzenie podczas rozkładu ciemniały i zachowywały swoją postać morfologiczną (nie rozpadały się). To zwróciło uwagę, że wewnątrz korzeni podczas rozkładu prawdopodobnie powstają i gromadzą się związki próchniczne. Z powodu trudności wydobycia tych związków (płukanie i wstrząsanie z wodą nie dawało rezultatów) korzenie po zalaniu wodą, podgrzewano przez 1 godzinę w temperaturze 100°. Powstały wyciąg wodny, który był koloru brązowego, rozpuszczono w 0,1 n NaOH i następnie wytrącono H₂SO₄ 0,1 n frakcję w postaci brązowego, bezpostaciowego osadu, która swoim wyglądem zupełnie przypominała kwasy huminowe. Kwas ten po oczyszczeniu jak i inne, poddano analizie elementarnej, której wyniki podano w tabeli 5 w ostatniej pozycji jako „wyciąg z korzeni”. Skład wyciągu z korzeni prawie nie różni się od wolnych kwasów huminowych, co wskazuje, że były to związki próchniczne. Temperatura 100° prawie nie zmieniła ich składu, zawierają tylko mniej azotu. Dane te przemawiałyby za tym, że związki humusowe są związkami bardzo trwałymi i nawet wyższa temperatura nie wpłynęłaby zbyt wiele na ich zmianę.

Omawiane wyniki wskazują, że korzenie traw ze względu na swoją budowę anatomiczną i morfologiczną są przeważnie rozkładane od wewnątrz przez drobnoustroje. Podczas rozkładu następuje duży wzrost białka wewnątrz korzeni jako wynik resyntezy i syntezy jego przez drobnoustroje (tabela 3) oraz tworzenie się związków próchnicznych. Wzrost ilości białka wydaje się jest ściśle związany z tworzeniem się próchnicy. Coraz częściej wyrażany jest pogląd, że kwasy huminowe są połączeniami aminokwasów lub białek z węglowodanami o budowie aromatycznej. Wzrost i nagromadzenie się aminokwasów i białek wewnątrz korzeni oraz równoczesne powstawanie próchnicy w rozkładanych tkankach korzeni są do pewnego stopnia dowodem tego.

Podane wyniki wskazują, że rozkład resztek roślinnych przez drobnoustroje, metabiotyczna działalność drobnoustrojów i gromadzenie się pewnych związków jako wynik resyntezy i syntezy ich przez mikro-

organizmy oraz w końcu tworzenie się próchnicy, są nieodłącznymi elementami jednego ciągłego procesu glebowego jakim jest humifikacja. Żaden z podanych elementów z procesu humifikacji nie może być wyłączony.

Powolny rozkład korzeni traw, zachowanie się przy tym budowy morfologicznej oraz gromadzenie się w ich wnętrzu związków próchnicznych odgrywa bardzo ważną rolę w procesie wzbogacenia gleby w próchnicę i inne składniki. Związki próchniczne z korzeni traw nie są tak łatwo wymywane i przypuszczalnie są wolniej rozkładane przez drobnoustroje (są skupione), przyczynia się to do ich nagromadzenia w glebie.

Trawy przez swoje właściwości takie jak tworzenie obfitych systemów korzeniowych zgromadzonych w wierzchniej warstwie gleby, ich długie oddziaływanie na glebę (od wczesnej wiosny do późnej jesieni — wydzieliny korzeniowe i inne) oraz powolny rozkład korzeni z nagromadzeniem próchnicy, odgrywają dużą rolę przy wzbogacaniu gleb w procesie darniowym.

ANALIZY MIKROBIOLOGICZNE

Podczas trwania rozkładu korzeni traw co 20 dni wykonywano następujące analizy mikrobiologiczne: oznaczono ogólną ilość drobnoustrojów, w tym ilość bakterii nie przetrwalnikujących, ilość przetrwalników, promieniowców i grzybów oraz oznaczano przebieg takich procesów jak amonifikacja, nitryfikacja, denitryfikacja, występowanie azotobaktera i *Clostridium pasteurianum* oraz rozkład błonnika.

Ogólną ilość drobnoustrojów oznaczano na następującej pożywce agarowej: K_2HPO_4 — 0,04%, KH_2PO_4 — 0,06%, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ — 0,03%, $NaCl$ — 0,03%, $CaCl_2$ — 0,01%, pepton — 0,125%, NH_4NO_3 — 0,1% i glukoza 1,0%.

Ogólna ilość mikroorganizmów w początkowym okresie rozkładu była duża a następnie stopniowo zmniejszała się. Po 20 dniach rozkładu w 1 g masy z płuczek było 1 530 000 tysięcy mikroorganizmów, odpowiednio po 40 dniach — 58 880 tysięcy, po 60 dniach — 32 880, po 80 dniach — 25 000, po 100 dniach — 8 000 i po 120 dniach — tylko 6 280 tysięcy. W składzie mikroorganizmów przeważały pałeczki nie przetrwalnikujące, po 20 i 40 dniach rozkładu było ich ponad 90% w przeliczeniu na całkowitą ilość mikroorganizmów. Po tym okresie ilość ich zaczęła spadać i po 120 dniach rozkładu stanowiły tylko 59,03%. W ciągu całego okresu rozkładu najmniej było przetrwalników. Ilość ich wahała się w granicach od ułamków procenta do 2%. Ilość grzybów była większa i w pewnych okresach dochodziła do prawie 5%. Promieniowce natomiast po 20 dniach rozkładu w ogóle nie wystąpiły. Po 40 dniach

rozkładu stanowiły one zaledwie 2,73% i potem ilość ich zaczęła stopniowo wzrastać, dochodząc po 120 dniach rozkładu do 37,4%.

Promieniowce źle rozwijały się na podanej na początku pożywce, dlatego też liczono je na pożywce agarowej z wyciągiem glebowym, na której dobrze się rozwijały. Przypuszczamy, że stopniowo zwiększająca się ilość promieniowców podczas trwania rozkładu wiąże się z rozkładem związków próchnicznych przez te mikroorganizmy. Po 40 dniach rozkładu otrzymano 229 mg wszystkich związków próchnicznych, po 80 dniach — 423 mg i po 120 dniach — 309 mg. Dane te wskazywałyby, że pewna ilość związków próchnicznych ulegała rozkładowi. W poprzednim doświadczeniu nad rozkładem części nadziemnych traw obserwowano podobne zachowanie się promieniowców i zmniejszenie się ilości związków próchnicznych pod koniec rozkładu. Zjawisko to może być wyjaśnione dopiero po szczegółowym przebadaniu promieniowców i innych mikroorganizmów.

Podczas trwania rozkładu izolowano dużo mikroorganizmów, w tym bakterii, grzybów i promieniowców, w celu bardziej dokładnego ich przebadania.

Przebieg amonifikacji oznaczano na pożywce peptonowej w probówkach. Amonifikacja przebiegała bardzo intensywnie przy wysokim rozcieńczeniu od początku do końca rozkładu. Amonifikację dokonywały przede wszystkim pałeczki nie przetrwalnikujące, z których pewną część izolowano.

Nitryfikacja nie zachodziła w ogóle w kolbkach szczepionych masą z płuczek po 20 dniach rozkładu. Natomiast po 40 dniach nitryfikacja w niektórych kolbkach już wystąpiła. W następnych okresach rozkładu nitryfikacja zachodziła nawet przy rozcieńczeniach 1:10 000 i przebieg jej był dość intensywny. Błonnik również w początkowym okresie nie był rozkładany. Po 40 dniach błonnik zaczęły rozkładać grzyby (rozkład był mały), a w następnych okresach błonnik był intensywnie rozkładany w kolbkach przez bakterie. Wśród bakterii występował prawie wyłącznie jeden gatunek, była to wg cech hodowlanych i mikroskopowych *Cytophaga lutea*. Charakteryzuje się ona następującymi cechami: komórki ruchliwe, powyginane o wymiarach 5,6 na 0,4 mikrona, w hodowli dużo cyst okrągłych o ϕ około 1,0 mikrona. Błonnik w miejscach atakowania przez ten mikroorganizm był rozkładany bardzo intensywnie doszczętnie, z wytwarzaniem dużych ilości śluzu koloru żółtego. W późniejszym okresie rozkładu *Cytophaga* występowała w pewnych wysiewach jako jeden gatunek (we wszystkich kolbkach błonnik był rozkładany tylko przez ten mikroorganizm), w innych wysiewach towarzyszyły jej w niedużej ilości grzyby, które błonnik również intensywnie rozkładały.

W ciągu całego okresu rozkładu nie stwierdzono występowania denitryfikacji oraz drobnoustrojów wiążących wolny azot w warunkach tlenowych i beztlenowych.

Podane wyniki i obserwacje wskazują, że rozkładu korzeni traw dokonywały inne zespoły mikroorganizmów, niż nadziemnych części traw, w doświadczeniu wykonanym poprzednio. Pomimo tych samych warunków doświadczenia, przy rozkładzie nadziemnych części traw nie następowało zmniejszanie się ogólnej ilości mikroorganizmów, następnie nie występowały takie procesy jak nitryfikacja, rozkład błonnika, które oznaczano w pożywkach o tym samym składzie jak przy rozkładzie korzeni. Z tego wynika, że występowanie pewnych zespołów mikroorganizmów jest uzależnione od samych resztek roślinnych, od ich składu chemicznego, budowy morfologicznej i anatomicznej oraz innych związanych z tym czynników. Uzależniona jest od tego również szybkość rozkładu. Ogólnie biorąc mikroflora występująca w tym doświadczeniu ilościowo i jakościowo bardziej upodobniała się do mikroflory z gleb naturalnych. Należy przypuszczać, że w glebach naturalnych przede wszystkim korzenie jako źródło energetyczne i budulcowe decydują o występującej mikroflorze.