

TOMASZ WOJDA, HENRYK TRACZ

Dynamika metabolizmu oddechowego gleb wybranych stanowisk parku dendrologicznego SGGW

Dynamics of soil respiration in urban environment of Warsaw

ABSTRACT

The objective of the study was to determine the soil respiration dynamics in the urban dendrology park of the Warsaw Agricultural University. Soil respiration was measured in the ten-day cycles in spring, summer, autumn and winter in three selected environments (so-called: path, grassland and herbaceous layer) differing in the degradation level caused by man and in vegetation ground cover. The soil carbon dioxide efflux in these three environments was measured at the soil surface and at a depth of 10 cm following soil exposure. The diffusion of soil carbon dioxide was also measured using an infrared gas analysis (IRGA), as well as air and soil temperatures at both depths, bulk density of soil, dry soil weight and actual humidity.

KEY WORDS

soil respiration, infra red gas analysis (IRGA), soil CO₂ efflux measurement, diffusion of soil CO₂, biological activity of soil

Wstęp

Metabolizm oddechowy gleby wyznaczają dwie główne składowe: respiracja mikroorganizmów glebowych i fauny glebowej oraz respiracja korzeni roślin [Stępniewski 1983]. Na intensywność procesów metabolicznych gleby ma wpływ wiele czynników, z których najważniejsze są: temperatura, wilgotność, porowatość, gęstość gleby oraz zawartość w niej substancji organicznej. Najczęściej aktywność respiracyjną gleby utożsamia się z całkowitym zapotrzebowaniem gleby na tlen, bądź też z intensywnością wydzielania dwutlenku węgla z gleby, w czasie, na jednostkę objętości lub masy gleby [Dobrzański 1995].

Dyfuzja stężeniowa jest głównym procesem pozwalającym na ilościowe określenie wydzielanego dwutlenku węgla z gleby. Dyfuzja CO₂ jest miarą intensywności wszystkich procesów glebowych, zarówno biologicznych: oddychania mikroorganizmów, korzeni oraz fauny glebowej, jak i niebiologicznych (fizyko-chemicznych) – chemicznego utleniania. Pomiar dyfundowanego z gleby CO₂ umożliwiającą szybką ocenę aktywności gleby bez naruszania jej struktury.

Dotyychczasowe badania metabolizmu oddechowego gleb prowadzone były głównie w ekosystemach leśnych lub łąkowych. Niniejsza praca dotyczy środowiska parku miejskiego, szczególnie wpływu antropopresji na to specyficzne środowisko przyrodnicze. W pracy podjęto próbę znalezienia odpowiedzi na następujące pytania. Czy dynamika metabolizmu odde-

HENRYK TRACZ

Katedra Ekologii i Ochrony Lasu
SGGW
ul. Rakowiecka 26/30
02-528 Warszawa
les_kolie@delta.sggw.waw.pl

TOMASZ WOJDA

Zakład Genetyki i Fizjologii Drzew Leśnych
Instytut Badawczy Leśnictwa
ul. Bitwy Warszawskiej 1920 r. nr 3
00-362 Warszawa
T.Wojda@ibles.waw.pl

chowego gleby będącej pod silnym wpływem człowieka (zanieczyszczenia spalinami, wydeptywanie) różni się zasadniczo od gleby pozbawionej tego ujemnego oddziaływania? Czy zachodzą tam równie intensywne procesy życiowe? Jakie czynniki są odpowiedzialne za metabolizm oddychowy gleb miejskiego parku?

Miejsce i metodyka badań

Badania prowadzono w parku dendrologicznym SGGW przy ul. Rakowieckiej 26/30. Pomiary respiracji gleby wykonywane były w dziesięciodniowych cyklach; na wiosnę, w lecie, jesienią i w zimie. W każdym dniu pomiarowym badano oddychanie gleby na trzech wybranych stanowiskach:

- na powierzchni odkrytej porośniętej trawami (wariant nazwany umownie murawa) z nielicznymi roślinami łąkowymi, takimi jak: mniszek pospolity (*Taraxacum officinale* Wiggers), koniczyna rozestłana (*Trifolium repens* L.)
- na wydeptanej alejce (ścieżka) – brak roślin
- na powierzchni (runo) porośniętej przez roślinność występującą także w lesie, między innymi: niecierpka drobnokwiatowego (*Impatiens parviflora* DC.), podagrycznika pospolitego (*Aegopodium podagraria* L.), kuklika pospolitego (*Geum urbanum* L.), jasnotę białą (*Lamium album* L.), pokrzywę zwyczajną (*Urtica dioica* L.), żywokost lekarski (*Symphitum officinale* L.), poziewnika szorstkiego (*Galeopsis tetrahit* L.), gajowca żółtego (*Galeobdolon luteum* Huds.), przytulicę czepną (*Galium aparine* L.). Ta powierzchnia badawcza znajdowała się pod koronami drzew i warunkami otoczenia mogła reprezentować zdegradowane siedlisko leśne.

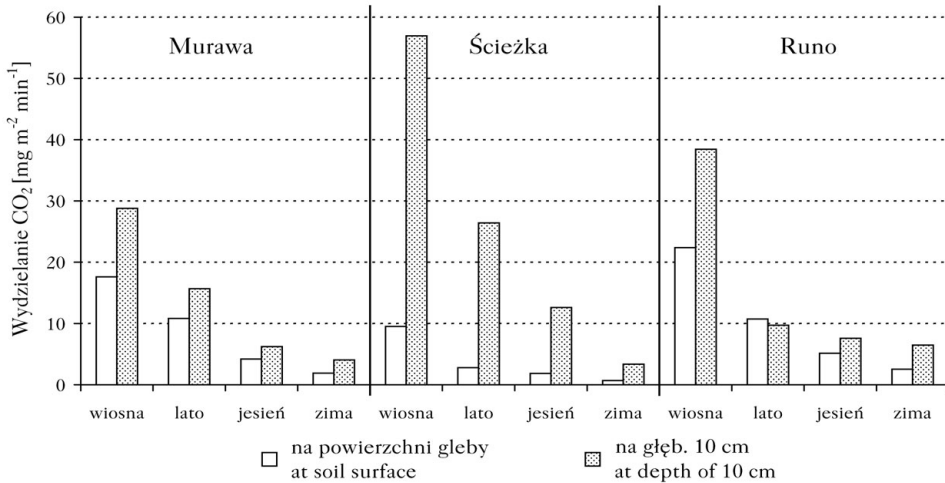
Pomiarów oddychania dokonywano zarówno na powierzchni gleby, jak i na głębokości około 10 cm, po zdjęciu wierzchniej warstwy gleby. Każdy pomiar trwał 15 minut, a odczyty wartości CO₂ (w ppm) wykonywano co minutę. Do pomiarów używano przenośnego analizatora przepływowego AirTECH 2500 – PA pracującego na podstawie metody pochłaniania podczerwieni nierozproszonej (NDIR: non – dispersive infrared) przez CO₂. W każdym dniu pomiarów mierzono temperaturę powietrza i gleby na głębokości pomiaru. Na każdym stanowisku określano gęstość objętościową, połowę gleby, gęstość gleby suchej i wilgotność aktualną.

Wyniki badań

Obserwacje sezonowych zmian intensywności przemian metabolicznych w glebie są podobne na wszystkich trzech powierzchniach doświadczalnych, a więc murawie, ścieżce i runie. Największe nasilenie wydzielania dwutlenku węgla z gleby występuje na wiosnę, w lecie jest mniejsze, w jesieni jeszcze mniejsze, a w zimie tempo uwalniania CO₂ z gleby jest najmniejsze (ryc.). Sezonowe różnice są statystycznie istotne przy poziomie istotności 0,001.

Zaobserwowano duże różnice w intensywności wydzielania dwutlenku węgla pomiędzy powierzchnią gleby, a głębokością na 10 centymetrach. Wydzielanie CO₂ z głębokości 10 cm jest zawsze większe niż na powierzchni gleby. Fakt ten występuje na każdej z trzech powierzchni porównawczych o każdej porze roku. Jedyny wyjątek od tej reguły stanowi powierzchnia zwana runo, w lecie, gdy wydzielanie CO₂ na głębokości 10 cm jest mniejsze niż na powierzchni gleby. Stwierdzono, że różnice w wartościach wydzielanego dwutlenku węgla z gleby na dwóch głębokościach są statystycznie istotne także przy poziomie istotności 0,001.

Największą intensywność wydzielania dwutlenku węgla na powierzchni gleby obserwuje się na powierzchni określonej jako runo. Sytuacja ta występuje we wszystkich porach roku, z wyjątkiem lata, kiedy intensywność wydzielania CO₂ na runie jest minimalnie mniejsza niż na



Ryc.

Średni metabolizm oddechowy gleby na trzech stanowiskach
Mean soil respiration in three habitat types

murawie. Najmniejsze wydzielanie dwutlenku węgla z powierzchni gleby występujące o każdej porze roku ma miejsce na ścieżce. Odmienne przedstawia się sytuacja na głębokości 10 cm. Tutaj największe nasilenie metabolizmu oddechowego występuje na wydeptanej ścieżce. Jest tak wiosną, latem i jesienią. Ilość CO_2 wydzielanego ze ścieżki jest około dwukrotnie większa niż z murawy. Biorąc pod uwagę trzy badane środowiska wydzielanie dwutlenku węgla na poziomie 10 cm w runie jest najmniejsze latem, a zimą największe – chociaż różnice między trzema powierzchniami badawczymi w zimie są niewielkie.

Podsumowując można stwierdzić, że największe różnice pomiędzy głębokością 10 cm a powierzchnią gleby w intensywności wydzielania dwutlenku węgla występują na wiosnę i zmniejszają się aż do zimy.

Porównując trzy badane miejsca pod względem wydzielania dwutlenku węgla z powierzchni gleby i głębokości 10 cm można zauważyć bardzo dużą różnicę między powierzchnią ścieżki i głębokością 10 cm na ścieżce (ponad sześciokrotną) oraz bardzo podobne proporcje zmian na powierzchni i głębokości 10 cm w przypadku murawy i runa (na obydwu tych miejscach) wydzielanie dwutlenku węgla na głębokości 10 cm jest około półtora razy większe niż na powierzchni gleby.

Na każdej z trzech powierzchni badawczych określono gęstość gleby oraz wilgotność aktualną gleby. Gęstość polowa gleby wydeptanej ścieżki jest największa i wynosi $2,2 \text{ g cm}^{-3}$. Średnie gęstości polowe murawy i runa mają podobne wartości ($2,1 \text{ g cm}^{-3}$). Gęstość gleby suchej na ścieżce jest również największa, a gęstości murawy i runa także niewiele się różnią. Porównując wilgotność aktualną gleby nie stwierdzono wyraźnych różnic na poszczególnych stanowiskach badawczych. Średnia wilgotność aktualna gleby murawy, runa i ścieżki wynosi około 25%. Zauważalna jest natomiast zmiana wilgotności polowej (aktualnej) gleb w ciągu roku. Największa wilgotność polowa gleby jest na wiosnę i w zimie, wynosi około 30%. W lecie wilgotność gleby spada do około 19%, a jesienią równa się około 23%.

Stwierdzono następujące zależności pomiędzy badanymi czynnikami warunkującymi wydzielanie CO_2 z gleby. Współczynnik korelacji r , określający związek pomiędzy ilością

wydzielanego CO₂ z gleby a temperaturą powietrza wynosi 0,473; Współczynnik korelacji opisujący związek temperatury gleby i ilość wydzielanego dwutlenku węgla z gleby wynosi $r=0,387$. Współczynnik korelacji między gęstością chwilową gleby a ilością wydzielanego CO₂ wynosi $r=0,127$. Współczynnik korelacji między gęstością gleby suchej a ilością wydzielanego CO₂ wynosi $r=0,115$. Współczynnik korelacji między ilością wydzielanego CO₂ a wilgotnością polową gleby wynosi $r=0,212$.

Dyskusja

Uzyskane wyniki dynamiki metabolizmu oddechowego gleb w ciągu roku wskazują największą intensywność procesów życiowych gleby na wiosnę, w lecie mniejszą, a zimą procesy metaboliczne są najmniejsze. Wyniki te są zgodne z wynikami przedstawianymi przez innych autorów. Rewut [1980] zamieszcza wykres średniego wydzielania dwutlenku węgla z gleby w ciągu roku. Według Rewuta obok maksimum respiracji na wiosnę występuje drugie nasilenie wartości wydzielania CO₂, znacznie już mniejsze – na jesieni. W niniejszej pracy nie odnotowano jesiennego wzrostu respiracji gleby. Wydaje się, że główną tego przyczyną jest permanentne usuwanie liści z powierzchni gleby, które są źródłem materii organicznej. Ponadto nieliczne liście, które pozostają nie sprzątnięte i tak bardzo wolno się rozkładają, ponieważ zanieczyszczenie powietrza skutecznie hamuje proces humifikacji.

Billings i inni [1998], którzy mierzyli wydzielanie dwutlenku węgla glebowego w lasach borealnych Alaski, uzyskał w lecie wynik od 0,10 do 0,95 g m⁻² h⁻¹ CO₂. Zmierzone przez nas wydzielanie CO₂ w okresie letnim wahało się od 0,17 (na ścieżce) do 0,65 g m⁻² h⁻¹ (runo).

Froment [1972] w badaniach wykonanych w lasach mieszanych z przewagą dębu również zauważa sezonowe zmiany w respiracji gleby: w lecie 2000-3500 mg CO₂ na metr kwadratowy na dzień, a w zimie respiracja gleby spada do poziomu 500-800 mg m⁻² na dzień. Jak łatwo obliczyć respiracja gleby w lecie jest tu przeszło 4-krotnie większa niż w zimie. Wyniki naszych badań są prawie identyczne z przytoczonymi. Na ścieżce i runie respiracja powierzchni gleby w lecie jest także ponad cztery razy większa niż w zimie, a na murawie nawet 5,7 razy większa. W badaniach w dojrzałych drzewostanach sosnowych (*Pinus elliotti*) na Florydzie [Fang i in. 1998] stwierdzono, że poziom respiracji gleby w jesieni wynosił 0,217 mg m⁻² s⁻¹, a w zimie 0,087 mg m⁻² s⁻¹. Wynika z tego, że respiracja gleby zimą jest 2,5 razy mniejsza niż jesienią. W wyniku badań należy stwierdzić, że na wszystkich trzech stanowiskach (murawie, ścieżce, runie) również zachodzi podobny stosunek respiracji zimowej do jesiennej, lecz wartości bezwzględne są dużo mniejsze. Otóż w runie jesienna respiracja powierzchni gleby wynosi 0,086 mg m⁻² s⁻¹, a zimą 0,042 mg m⁻² s⁻¹. Jesienią na ścieżce wydzielanie CO₂ wynosi 0,031 mg m⁻² s⁻¹, a zimą 0,011 mg m⁻² s⁻¹. Respiracja gleby na murawie jesienią równa jest 0,070 mg m⁻² s⁻¹, a zimą 0,031 mg m⁻² s⁻¹.

Obok opisanej zmienności czasowej w metabolizmie oddechowym gleby zauważono także wyraźną zmienność przestrzenną. Na wszystkich trzech stanowiskach doświadczalnych wydzielanie dwutlenku węgla mierzone na głębokości 10 cm jest większe niż na powierzchni gleby. Różnice te są widoczne o każdej porze roku. Jedynie latem w runie tempo respiracji powierzchni gleby jest nieznacznie większe od respiracji na głębokości 10 cm. Jednak różnica ta nie jest statystycznie istotna. Różnice wartości wydzielanego dwutlenku węgla są największe na ścieżce. Jest to związane z kilkoma czynnikami. Niewątpliwie największy wpływ ma gęstość gleby na ścieżce. Zbita górna warstwa gleby na ścieżce o bardzo małej porowatości skutecznie hamuje wymianę gazową gleby. Na powierzchni ścieżki nie ma oczywiście żadnych roślin, a ciągły ruch pieszcy powoduje brak możliwości zatrzymania na niej materii organicznej. Dlatego respiracja gleby na powierzchni ścieżki jest bardzo mała. Wydaje się, że cała aktywność

biologiczna gleby na ścieżce została przeniesiona do głębszych jej warstw, o mniejszej gęstości i obniżonych efektach ujemnego oddziaływania człowieka. Duża część respiracji gleby ścieżki na głębokości 10 cm jest wynikiem nagromadzenia CO_2 w czasie pod zbitą górną warstwą gleby. Na murawie i runie tempo respiracji gleby na 10 cm głębokości jest także większe niż na powierzchni, lecz tylko 1,5 razy, a nie ponad sześć razy – jak w przypadku ścieżki. Na wszystkich trzech powierzchniach większa respiracja gleby na 10 cm głębokości związana jest z występowaniem licznych korzeni roślin zielnych i drzew.

Uzyskane wyniki badania wpływu głębokości na wydzielanie dwutlenku węgla z gleby nie znajdują potwierdzenia w pracy Glińskiego i in. [1983]. Napisał on, że ponad 90% aktywności respiracyjnej gleby jest związane z poziomem próchnicznym i respiracja gleby szybko maleje wraz ze wzrostem głębokości. Pinol i inni [1995] stwierdzają natomiast na podstawie badań, że tempo respiracji gleby zawsze wzrasta wraz z głębokością, a maksimum respiracji występuje na 20-30 cm od powierzchni gleby.

Największe różnice pomiędzy wartościami respiracji na powierzchni i głębokości 10 cm występują na wiosnę i maleją aż do zimy. Jest to związane z dużą aktywnością roślin i fauny glebowej na wiosnę i małą w zimie.

Wpływ temperatury gleby i powietrza oraz wilgotności połowej gleby na intensywność metabolizmu oddechowego gleby jest wyraźny. Znajduje to potwierdzenie w pracach innych autorów. Tsutsumi i współautorzy [1985] w swoich badaniach wykazują, że tempo respiracji gleby rośnie wykładniczo ze wzrostem temperatury. Singh [1984] obliczył, że maksimum respiracji gleby w subtropikalnym lesie przypadło wówczas, gdy temperatura i wilgotność były wysokie. Konkretnie wyniki zależności aktywności respiracyjnej gleby od temperatury ściółki podaje Edwards [1975]. Według niego współczynnik korelacji opisujący tę zależność wynosi $r=0,94$. Ustalił on także, że respiracja gleby (wraz z korzeniami roślin) w lesie stanowi 78% całego metabolizmu oddechowego, a na ściółkę przypada 22%. Podobne dane zawarte są w pracy Froment'a [1972] dotyczącej lasów mieszanych. Korelacja temperatury gleby na głębokości 1 cm i 10 cm i respiracji gleby wynosi odpowiednio $r=0,5$ oraz $r=0,58$; a współczynnik korelacji pomiędzy wilgotnością gleby i jej respiracją równa się 0,38. Generalizując minimalna respiracja gleby występuje w krótkich okresach podczas ciepłej pogody, gdy wilgotność gleby utrzymuje się na niezbyt wysokim poziomie [Froment 1972]. Tempo respiracji ulega szybszym wahaniom gdy temperatura otoczenia jest niższa.

Zmierzona wartość koncentracji dwutlenku węgla w powietrzu atmosferycznym Parku SGGW, która wynosiła średnio 420 ppm jest stosunkowo duża. W połowie XIX wieku, a więc przed rewolucją przemysłową oszacowano zawartość CO_2 w powietrzu na 227 ppm, zaś w 1990 roku wynosiła ona 350 ppm [Dudziak 1995]. Oczywiście koncentracja dwutlenku węgla w powietrzu atmosferycznym nie jest stała, ale można zauważyć stałą tendencję wzrostową spowodowaną m. in. zanieczyszczeniem powietrza spalinami.

Reasumując należy stwierdzić, że wielkość metabolizmu oddechowego gleb w środowisku parku miejskiego zdeterminowana jest następującymi czynnikami. Największy wpływ na jego poziom ma temperatura powietrza i zależna od niej temperatura gleby, a następnie wilgotność połowa gleby. Bardzo ważnym czynnikiem ograniczającym tempo respiracji gleby w środowisku będącym pod wpływem człowieka jest gęstość gleby i związana z nią porowatość. Jej wpływ na oddychanie gleby jest pośredni – zbyt duża gęstość i tym samym zbyt mała porowatość zakłócają prawidłową wymianę gazową gleby. Jednak aktywność respiracyjna takiej ubitej gleby na powierzchni ścieżki jest w bardzo dużym stopniu rekompensowana przez wzmoczoną aktywność warstw gleby położonych głębiej, już na 10 cm. Stosunkowo mały wpływ na metabolizm odde-

chowy gleb w miejskim parku ma zawartość substancji organicznej, systematycznie przecięz usuwanej przez człowieka.

Wnioski

1. Respiracja gleby w cyklu rocznym charakteryzuje się dużą zmiennością. Największe nasilenie metabolizmu oddechowego występuje na wiosnę, które maleje w lecie i jesieni, a w zimie zaś jest najmniejsze. Różnice metabolizmu oddechowego gleb w porach roku są statystycznie istotne.
2. Metabolizm oddechowy gleb w parku miejskim jest zależny od: temperatury powietrza ($r=0,473$); temperatury gleby ($r=0,387$) i wilgotności polowej gleby ($r=0,212$).
3. Wpływ gęstości polowej gleby i gęstości gleby suchej na metabolizm oddechowy badanych gleb jest bardzo mały i statystycznie nieistotny.
4. Aktywność respiracyjna gleb istotnie zależy od głębokości. Wydzielanie dwutlenku węgla na głębokości 10 cm jest zawsze większe niż wydzielanie CO_2 z powierzchni gleby. Największe różnice są na ścieżce i jest to głównie spowodowane bardzo dużą gęstością gleby na powierzchni ścieżki – uniemożliwiająca swobodną wymianę gazów między atmosferą a środowiskiem glebowym.
5. Różnice średnich wartości metabolizmu oddechowego między pomiarem na powierzchni gleby, a pomiarem na głębokości 10 cm są największe zimą, pomimo tego, że bezwzględne wartości są wtedy najmniejsze. Respiracja gleby w zimie mierzona na głębokości 10 cm jest aż 2,7 razy większa niż na powierzchni gleby. Wiosną respiracja na 10 cm jest 2,5 krotnie większa, a w lecie i jesieni około 2 krotnie.
6. Prawdopodobnie największa różnica w metabolizmie oddechowym w okresie zimy na dwóch głębokościach pomiaru spowodowana jest stosunkowo wysoką temperaturą gleby na poziomie 10 cm, co jest wyraźnie odmienne w stosunku do pozostałych pór roku.
7. Najmniejszy przyrost wartości dwutlenku węgla ma miejsce na powierzchni najbardziej zdegradowanej – ścieżce (wiosną: $0,57 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$; zimą $0,04 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), a największy na powierzchni będącej pod najmniejszym ujemnym wpływem człowieka – runie (odpowiednio: $1,34 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ i $0,15 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

Literatura

- Billings S., Richter D., Yarie J. 1998. Soil carbon dioxide fluxes and profile concentrations in two boreal forests, Canadian Journal of Forest Research.
- Dobrzański B. i Zawadzki S. 1995. Gleboznawstwo. PWRiL, Warszawa.
- Dudziak A. 1995. Czasowa zmienność $^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$ powietrza glebowego, Wyd. Ucz. Politechniki Lubelskiej, Lublin
- Edwards N. 1975. Effects of temperature and moisture on carbon dioxide evolution in a mixed deciduous forest floor, Soil Science Society of America Proceedings 39, 2: 361-368.
- Fang C., Moncrieff J., Gholz H., Clark K. 1998. Soil CO_2 efflux and its spatial variation in Florida slash pine plantation, Plant and Soil 205, 2: 135-146.
- Froment A. 1972. Soil respiration in a mixed oak forest, Oikos 23, 2: 273-277.
- Gliński J., Stępniewski W., Łabuda W. 1983. Pobieranie tlenu i wydzielanie dwutlenku węgla w środowisku glebowym, Problemy Agrofizyki, Wrocław – Ossolineum.
- Pinol J., Alcaniz J., Roda F. 1995. Carbon dioxide efflux in soils of three *Quercus ilex montana* forests, Biogeochemistry 30, 3: 191-215.
- Rewut I. B. 1980. Fizyka gleby PWRiL, Warszawa
- Singh J. 1984. Effects of temperature, rainfall and soil moisture on soil respiration and litter decomposition in a subtropical humid forest ecosystem, Acta Botanica Indica 12, 2: 167-173.
- Stępniewski W. 1980. Zależność dyfuzji tlenu i zwiążności od zagęszczenia gleby – rozprawa habilitacyjna, Zakład Agrofizyki w Lublinie. PAN, Lublin.
- Tsutsumi T., Nishitani Y., Sakai M. 1985. On the effects of soil fertility on the rate of soil respiration in a forest, Japanese Journal of Ecology 35, 2: 207-214.

SUMMARY

Dynamics of soil respiration in urban environment of Warsaw

The studies concern soil respiration dynamics in the urban dendrology park of the Warsaw Agricultural University. Soil respiration was measured in the ten-day cycles in spring, summer, autumn and winter in three selected environments (so-called: path, grassland and herbaceous layer) differing in the degradation level caused by anthropogenic factor and vegetation ground cover. The soil carbon dioxide efflux in these three environments was measured at the soil surface and at a depth of 10 cm following soil exposure. The diffusion of soil carbon dioxide was also measured using an infrared gas analysis (IRGA), as well as air and soil temperatures at both depths, bulk density of soil, dry soil weight and actual humidity.

Seasonal changes in soil respiration intensity have been noted. The highest soil respiration rates were in spring, it was lower in summer, still lower in autumn and the lowest in winter (Fig. 1). Soil respiration was correlated with air temperature ($r=0,473$), soil temperature ($r=0,387$) and soil humidity ($r=0,212$). A significant variation in the production of carbon dioxide was recorded between soil surface and at a depth of 10 cm. Soil respiration at a depth of 10 cm was always significantly higher than at the soil surface. The greatest differences in soil respiration were found on the path caused by a very high density on the path surface what made a free gaseous exchange between the atmosphere and soil environment impossible. The lowest increase in carbon dioxide production was recorded in the path, the most degraded environment (in spring – $0,57 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$; in winter $0,04 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) and the highest – in the herbaceous layer, the least degraded environment by man ($1,34 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ and $0,15 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectively).