

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ФОСФОРУ НА ШВИДКІСТЬ ТА ЕМІСІЮ CO₂ З ҐРУНТУ З ВИКОРИСТАННЯМ РАДІОАКТИВНОГО ІЗОТОПУ ¹⁴C

Н. М. БІЛЄРА, кандидат сільськогосподарських наук., доцент кафедри
радіобіології та радіоекології

Національний університет біоресурсів і природокористування України
E-mail: nbilyera@nubip.edu.ua

Анотація. Глобальне потепління як одна з найважливіших екологічних проблем XXI століття впливає на виробництво сільськогосподарських культур і, таким чином, розглядається як загроза продовольчій безпеці в усьому світі. Вивчення впливу будь-яких чинників на відтік CO₂ є важливим завданням сьогодення. Незважаючи на численні дослідження з цієї теми, одиничний ефект від застосування фосфору на виділення CO₂ з ґрунтів залишається нез'ясованим. Дослідження було направлене на оцінювання впливу зростаючих рівнів фосфору із внесенням вуглецю і без нього на швидкість виділення і загальну емісію CO₂, а також на визначення джерел походження CO₂ із застосуванням радіоактивного ізоотопу ¹⁴C. Фосфор значною мірою впливає на швидкість виділення CO₂ у варіанті P50 на стадії спокою мікроорганізмів, коли не внесено вуглець. Однак активація ґрунтових мікроорганізмів за допомогою C50 не мала видимого ефекту від фосфору протягом одного дня після його внесення. Загальна емісія CO₂ через 120 год після додавання P50 була в 1,5 і 2 рази вища, відповідно, за відсутності вуглецю і внесення C50 порівняно з аналогічними середніми значеннями для P0 і P10. Проте необхідно провести експеримент із рослинами для визначення чистої емісії CO₂ і при цьому враховувати позитивний ефект від застосування фосфору. Зростаючі рівні фосфору приводили до зниження частки ¹⁴CO₂ у варіанті без вуглецю і мали зворотний ефект за внесення C50 через добу після внесення. Ці результати можуть бути також корисними для визначення внеску фосфору як окремого компонента в глобальну емісію CO₂.

Ключові слова: фосфорне живлення, радіоізоотоп ¹⁴C, емісія CO₂, мікробіологічна діяльність.

Актуальність. Останніми десятиліттями перед людством постав новий виклик – глобальне потепління, яке вчені пов'язують із підвищенням концентрації вуглекислого газу в повітрі. Наслідки глобального потепління в майбутньому загрожують зниженням обсягів продовольства для постійно зростаючої кількості населення планети. Водночас аграрне виробництво є причиною емісії 30% усіх парникових газів, збільшення концентрації яких підвищує температуру атмосфери Землі. Тому важливим постає питання вивчення внеску окремого елемента екосистеми на зміну виділення CO₂ з ґрунту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В останні кілька десятиліть науковою спільнотою світу широко досліджуються фактори та процеси, що впливають на збільшення емісії CO_2 [8,11], CH_4 [7] та N_2O [4,10] з ґрунту як основних газів, що спричиняють глобальне потепління. Відносна частка впливу цих газів на підвищення температури атмосфери становить 63,5% для CO_2 , 18,1% для CH_4 та 6,2% для N_2O [12]. Тому переважна більшість досліджень спрямована на вивчення факторів впливу збільшення виділення CO_2 з ґрунту [11] та способів накопичення вуглецю в ґрунтах [9].

Разом із вуглецем і азотом фосфор також є важливим елементом для росту та розвитку рослин і мікроорганізмів. Для збільшення продуктивності агроєкосистем його вносять у значних кількостях у вигляді мінеральних та органічних добрив. На відміну від азоту та вуглецю його сполуки не є представниками парникових газів. І, таким чином, вивчення фосфору зосереджене на з'ясуванні його іммобілізації та мінералізації мікроорганізмами [6], не враховуючи при цьому опосередкованого впливу на цикл вуглецю. Зважаючи на брак досліджень щодо впливу внесення зростаючих рівнів фосфору на емісію CO_2 з ґрунту та важливість цього питання, мною було проведено інкубаційний експеримент.

Метою дослідження було встановити вплив внесення зростаючих рівнів фосфору з додаванням глюкози та без неї: а) швидкість виділення CO_2 з ґрунту; б) загальну кількість емісії вуглецю та в) джерела вуглецю, що піддаються мінералізації мікроорганізмами.

Матеріали і методи дослідження. Досліджуваний ґрунт Cambisol (за міжнародною класифікацією) відібрано з лісової екосистеми під багаторічними насадженнями бука. Ґрунт мав такі характеристики в шарі 0-20 см [2]: уміст загального вуглецю, азоту та фосфору становив 43,0, 1,70 та 0,144 мг/кг, відповідно, загальна кислотність ґрунту – 3,72, механічний склад – піщаний суглинок (пісок – 77,7%, силікати – 17,3%, глина – 5,33%), вуглець мікробної біомаси становив 0,287 мг/г ґрунту.

Перед початком основного дослідження було проведено попередню інкубацію до досягнення сталої швидкості виділення CO_2 .

Двофакторний інкубаційний експеримент з вивчення різних рівнів внесення фосфору при додаванні вуглецю та без додавання було закладено в інкубаційних посудинах у чотириразовому повторенні. Маса ґрунту в кожному повторенні становила 15 г.

Фосфор у формі солі KH_2PO_4 було внесено у ґрунт за такою схемою: а) P0 – лише деіонізована вода 0,3 мл; б) P10 – 10% від початкового загального вмісту в ґрунті – 0,3 мл розчину 4,4 мг KH_2PO_4 , розчиненого в 1 мл води; в) P50 – 50% від початкового загального вмісту в ґрунті – 0,3 мл розчину 21,95 мг KH_2PO_4 , розчиненого в 1 мл води.

Три рівні фосфору було внесено на фоні двох рівнів вуглецю: а) C0 – без внесення глюкози, але з додаванням радіоактивності ^{14}C (табл. 1), що дає змогу «мітити» органічну речовину ґрунту; б) C50 – внесення 50 мг С/г ґрунту – розчинення 6,25 мг/л глюкози з додаванням мітки ^{14}C (табл. 1).

Інкубація тривала 6 діб у темному приміщенні за 60% повної вологоємності та температури 25 °С. Під час інкубації вивільнена вуглекислота збиралася в епендорфи, що містили 1 мл 1 М NaOH, які були поміщені всередину пластикових пробірок в інкубаційні ємкості посудини,

щільно закриті для уникнення потрапляння повітря. Епендорфи з NaOH було замінено двічі – через 24 та 120 год після початку інкубації.

Поглинений лугом CO₂ визначали титруванням 0,3мл NaOH 0,025M розчином HCl у присутності 0,5мл 1M BaCl₂ та фенолфталеїну [1]. Титрування проводилось на автоматичному приладі-бюретці TITRONIC® basic (Schott instruments Ltd.).

Для розрахунку кількості CO₂ використовували таку формулу:

$$mCO_2 = \frac{1000 \times 12.01 \times Vt \times [NaOH] \times (1 - \frac{T_s}{T_b})}{2}$$

де: mCO₂=маса загальної кількості вуглекислого газу в пробірці (епендорфі), мкг С;

Vt=об'єм пробірки, мл;

[NaOH]=концентрація розчину NaOH в М, що був наповнений у пробірку та для контролю (1М)

Ts, Tb=об'єм HCL у мл, що була витрачена на титрування зразка (Ts) та контролю (Tb).

Активність радіоізоотопу ¹⁴C визначали в кожній пробі відібраних з інкубаційних посудин пробірок з розчином 1М NaOH. Вимірювання проводили в суміші проби та сцинтиляційного коктейлю (співвідношення коктейль-проба 5:1) на сцинтиляційному лічильнику HIDEX 300 SL (Hidex Oy, Фінляндія).

Перед статистичним аналізом було проведено тест Налімова для вибракування даних у довірчому інтервалі 95% за рівня значущості α<0.05, а також тест на нормальність розподілення. Дисперсійний аналіз (ANOVA) з наступним визначенням критерію Фішера (LSD test) та однофазні тести значущості кожного фактора і їхнього поєднання було проведено з використанням програми Statistica 7.

Результати дослідження та їх обговорення. Швидкість виділення вуглекислоти з ґрунту змінювалась у часі та залежала від внесення вуглецю і фосфору (p<0.001 для всіх окремих факторів) (табл. 2). Причому внесення фосфору було достовірно значущим у варіантах P50 через 24 та 120год без внесення вуглецю та через 120год із внесенням C50 (рис. 1, а-б). Відсутність достовірної різниці між рівнями фосфору через 24 год після внесення C50 може свідчити, що мікроорганізми в цьому ґрунті, як і в усіх інших ґрунтах природних екосистем, більше лімітовані вуглецем, ніж фосфором, незважаючи на його дуже низькі значення. Крім того, в місцях надходження лабільного С (наприклад, у ризосфері) інтенсивність мікробіологічних процесів може бути максимально на два порядки вищою, ніж у звичайному ґрунті [8].

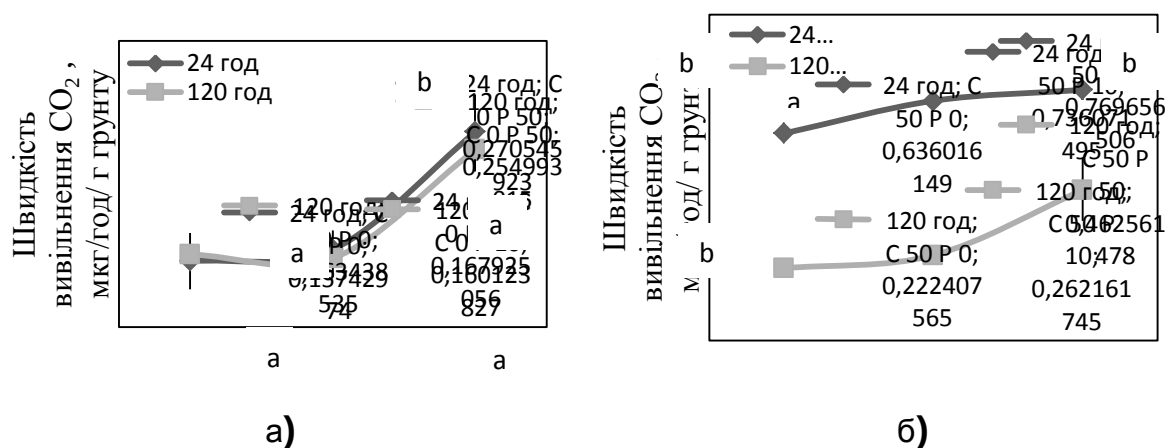


Рис. 1. Швидкість вивільнення CO₂ з ґрунту залежно від рівня фосфорного удобрення без внесення С (а) та із внесенням 50мкг С на 1г ґрунту (б) [5]. Планки похибок показують величину стандартної похибки для середнього значення 4 вимірювань. Символи а, б та с вказують на належність варіанта до різних гомогенних рядів тесту Фішера (LSD). Істотну різницю встановлено між варіантами з різними символами.

Тому підвищення швидкості виділення CO₂ з ґрунту майже в 4 рази в першу добу після внесення С50 є закономірним явищем. Водночас підтримання високої швидкості емісії CO₂ через 120год після внесення С50 у варіанті Р50, що в середньому на 92% вище за Р0 та Р10, може бути свідченням довготривалої активізації мікроорганізмів у разі внесення підвищених рівнів Р.

Швидкість виділення CO₂ має прямий вплив на загальну кількість емісії вуглекислоти з ґрунту. Тому у величинах останнього показника повторюються аналогічні тренди (рис. 2, а-б). Без активізації мікроорганізмів доступним С внесення Р10 сприяло зміні кількості виділеної CO₂ в межах 2%, що є свідченням відсутності практичного впливу.

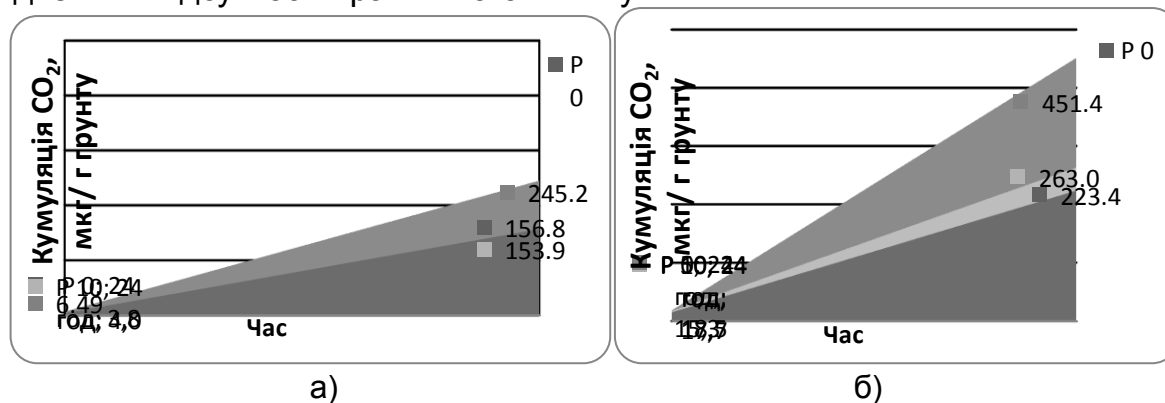


Рис. 2. Загальна кількість CO₂, виділеного з ґрунту залежно від рівня фосфорного удобрення без внесення глюкози – С0 (а) та із внесенням 50мкг С на 1г ґрунту – С50 (б) протягом 24год та 120год інкубаційного експерименту

За умов активізації мікроорганізмів глюкозою внесення Р10 сприяло підвищенню кількості CO₂ на 18% (рис. 2б). Внесення підвищених рівнів фосфору (Р50) сприяло підвищенню емісії вуглецю протягом 120год на 56% без глюкози та 102% з її внесенням. Таким чином, у зонах з підвищеним умістом доступного вуглецю, яких зазвичай буває від 1 до 5% [8] у верхньому шарі ґрунту, емісія CO₂ підвищується практично в 2 рази. З

огляду на важливість цих зон для проходження мікробіологічних процесів таке підвищення не може бути сприйнято негативно.

Важливішим завданням є встановлення джерел вуглецю, які витрачаються і переходять у CO_2 атмосфери. Використання радіоізоотопу ^{14}C дало можливість у варіантах без глюкози «помітити» органічну речовину ґрунту, а у варіанті С50 – внесену в експерименті глюкозу. Внесення Р10 не призводило до підвищення виділення $^{14}\text{CO}_2$ з ґрунту, а за рівня фосфору Р50 спостерігалась тенденція до збільшення. Оскільки єдиним джерелом вуглецю в цих варіантах була органічна речовина, то визначені кількості (1,26-1,80мкг/день) можна вважати величинами мінералізації.

Частка ^{14}C в CO_2 у відсотках знижувалась при підвищенні рівня фосфору у варіанті без внесення глюкози в обидва відбори та через 120год після внесення С50 (табл. 1).

Протягом першої доби після внесення глюкози спостерігалось збільшення частки «міченого» вуглецю у виділеному CO_2 зі зростанням рівня внесення фосфору. Цей феномен ймовірно всього описує різні моделі використання карбону ґрунту в активному стані мікроорганізмів та в стані спокою. У стані спокою мікроорганізми використовують фосфор переважно для збільшення енергії, тобто підвищення концентрації АТФ в одиниці маси, а при активізації глюкозою починають інтенсивніше нарощувати мікробну біомасу. Проте збільшення фосфору до рівня Р50 за достатньої кількості вуглецю не призводить до подальшого підвищення мікробної біомаси [3]. У цілому, за результатами статистичного аналізу, встановлено значний вплив окремих факторів – часу, вуглецю у вигляді глюкози та фосфору – на швидкість та загальну емісію CO_2 ґрунту.

1. Активність ^{14}C у ґрунті та виділеному з ґрунту CO_2

Варіант	Початкова активність ¹⁴ C в ґрунті, Бк/г ґрунту	Активність ¹⁴ C у CO ₂ , Бк/г ґрунту	Частка ¹⁴ C в CO ₂ , %	Емісія ¹⁴ CO ₂ , мкг/г ґрунту	Активність ¹⁴ C у CO ₂ , Бк/г ґрунту	Частка ¹⁴ C в CO ₂ , %	Емісія ¹⁴ CO ₂ , мкг/г ґрунту	Емісія ¹⁴ CO ₂ , мкг/г ґрунту
		Через 24год			Через 120год			Всього за 120год
Без додавання глюкози (C0)								
P0	213,5	38,38	17,98	0,68	10,34	4,84	7,4	8,08
P10	213,5	19,8	9,27	0,37	8,43	3,95	5,9	6,29
P50	213,5	14,45	6,77	0,44	7,66	3,59	8,6	9,01
З додаванням глюкози (C50)								
P0	205,9	19,12	9,29	1,42	37,74	18,33	38,2	39,58
P10	205,9	32,70	15,88	2,81	27,55	13,38	32,8	35,64
P50	205,9	41,45	20,13	3,72	23,16	11,25	48,7	52,43

2. Результати дисперсійного аналізу

Фактори	SS	Ст. свободи	MS	F	p
---------	----	-------------	----	---	---

Intercept (Відрізок)	5.19314	1	5.19314	1053.43	0
Час (Т)	0.41967	1	0.41967	85.13	0
Вуглець (С)	1.047143	1	1.047143	212.413	0
Рівень фосфору (Р)	0.162133	2	0.081067	16.444	0.000014
Т * С	0.395989	1	0.395989	80.326	0
Т * Р	0.010191	2	0.005096	1.034	0.367641
С * Р	0.014792	2	0.007396	1.5	0.238813
Т * С * Р	0.013529	2	0.006764	1.372	0.268536
Похибка	0.152822	31	0.00493		

Поєднання фосфору з фактором часу та вуглецю окремо чи разом не мало статистично достовірного впливу. Проте було виявлено комплексний ефект часу та вуглецю, який ще раз засвідчує більшу роль останнього у функціонуванні екосистеми порівняно з фосфором.

Висновок і перспективи. Проведеним експериментом встановлено, що швидкість виділення CO₂ більше визначається додаванням глюкози, аніж фосфору. Через 5 діб після внесення Р50 на фоні глюкози зберігається висока активність мікроорганізмів, що підтверджується підвищеною на 92% швидкістю емісії CO₂ порівняно з Р0 та Р10.

Об'єми емісії CO₂ з ґрунту через 120 год після внесення Р50 без глюкози та з додаванням глюкози збільшуються в 1,5 та 2 рази, відповідно, порівняно із середніми значеннями при застосуванні Р0 та Р10. Перспективним напрямом є проведення дослідження з використанням рослин, у якому буде можливість обчислити баланс вуглецю і встановити величину ефекту від внесення фосфору на біомасу рослин, яка може поглинати надлишкові кількості CO₂, спричинені його внесенням.

У стані спокою мікроорганізми реагують на внесення зростаючих рівнів фосфору зниженням частки ¹⁴С в CO₂, а за їхньої активізації – навпаки – частка ¹⁴С в CO₂ підвищується. Така реакція свідчить про переважне використання внесеного фосфору для підтримання енергії в стані спокою та використання фосфору переважно для побудови нової мікробної біомаси в активному стані.

Список використаних джерел

1. Alef, K, Nannipieri, P. (1995). Estimation of microbial activities [Text]/ K. Alef, P. Nannipieri// In Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. – 1995. – Academic Press. – P. 193-270.
2. Bergkemper, F., Schöler, A., Engel, M., Lang, F., Krüger, J., Schlöter M., Schulz, S. Phosphorus depletion in forest soils shapes bacterial communities towards phosphorus recycling systems [Text]/ F. Bergkemper, A. Schöler, M. Engel, F. Lang, J. Krüger, M. Schlöter, S. Schulz// Environmental Microbiology. – 2016. – Vol. 18, Issue 6. – P. 1988–2000.
3. Bilyera, N. Effects of P and C inputs on microbial activities in P limiting bulk and rhizosphere soil [Text]/ N. Bilyera// Geophysical Research Abstracts. – 2017. - Vol. 19. – EGU2017-353.

4. Blagodatsky, S., Smith, P. Soil physics meets soil biology: Towards better mechanistic prediction of greenhouse gas emissions from soil [Text]/ S. Blagodatsky, P. Smith// *Soil Biology & Biochemistry*. – 2012. – Vol. 47 – P. 78-92.
5. Bleicher, J. Effect of N, organic and mineral acid additions on microbial CO₂ emissions in soils of different phosphorus levels [Text]/ J. Bleicher// Master Thesis. – 2017. – Georg-August- University of Göttingen. – 34 p.
6. Bünemann, E.K. Assessment of gross and net mineralization rates of soil organic phosphorus: A review. [Text]/ E.K. Bünemann// *Soil Biology & Biochemistry*. – 2015. – Vol. 89. – P. 82-98.
7. Dorodnikov, M., Knorr, K.-H., Kuzyakov, Y., Wilmking, M. Plant-mediated CH₄ transport and contribution of photosynthates to methanogenesis at a boreal mire: a ¹⁴C pulse-labeling study [Text]/ M. Dorodnikov, K.-H. Knorr, Y. Kuzyakov, M. Wilmking// *Biogeosciences*. – 2011. – Vol. 8. – P. 2365–2375.
8. Kuzyakov, Y., Blagodatskaya, E. Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review. [Text]/ Y. Kuzyakov, E. Blagodatskaya// *Soil Biology & Biochemistry*. – 2013. – Vol. 83. – P. 184-199.
9. Pausch, J., Kuzyakov Y. Carbon input by roots into the soil: Quantification of rhizodeposition from root to ecosystem scale [Text]/ J. Pausch, Y. Kuzyakov// *Global Change Biology*. – 2017. – Vol. 00. – P. 1–12.
10. Senapati, N., Chabbi, A., Giostri, A.F., Yeluripati, J. & Smith, P. Modelling nitrous oxide emissions from mown-grass and grain-cropping systems: Testing and sensitivity analysis of DailyDayCent using high frequency measurements' [Text]/ N. Senapati, A. Chabbi, A.F. Giostri, J. Yeluripati, P. Smith// *Science of the Total Environment*. – 2016. – Vol. 572. – P. 955-977.
11. Smith, P. Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies [Text]/ P. Smith// *Global Change Biology*. – 2016. – Vol. 22. – Issue 3. – P. 1315-1324.
12. WMO greenhouse gas bulletin [Text]/ The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2009.

References

1. Alef, K, Nannipieri, P. (1995). Estimation of microbial activities. In *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*, Academic Press, 193-270.
2. Bergkemper, F., Schöler, A., Engel, M., Lang, F., Krüger, J., Schloter M., Schulz, S. (2016). Phosphorus depletion in forest soils shapes bacterial communities towards phosphorus recycling systems. *Environmental Microbiology*, 18(6), 1988–2000.
3. Bilyera, N. (2017) Effects of P and C inputs on microbial activities in P limiting bulk and rhizosphere soil *Geophysical Research Abstracts* Vol. 19, EGU2017-353.
4. Blagodatsky, S., Smith, P. (2012). Soil physics meets soil biology: Towards better mechanistic prediction of greenhouse gas emissions from soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 47, 78-92.
5. Bleicher, J. Effect of N, organic and mineral acid additions on microbial CO₂ emissions in soils of different phosphorus levels. Master Thesis, Georg-August-University of Göttingen, 2017. 34.
6. Bünemann, E.K. (2015). Assessment of gross and net mineralization rates of soil organic phosphorus: A review. *Soil Biology & Biochemistry*, 89, 82-98.
7. Dorodnikov, M., Knorr, K.-H., Kuzyakov, Y., Wilmking, M. (2011). Plant-mediated CH₄ transport and contribution of photosynthates to methanogenesis at a boreal mire: a ¹⁴C pulse-labeling study. *Biogeosciences*, 8, 2365–2375.
8. Kuzyakov, Y., Blagodatskaya, E., (2013) Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review. *Soil Biology & Biochemistry*, 83, 184-199.

9. Pausch, J., Kuzyakov Y. (2017). Carbon input by roots into the soil: Quantification of rhizodeposition from root to ecosystem scale. *Global Change Biology*, 1–12.
10. Senapati, N., Chabbi, A., Giostri, AF., Yeluripati, J. & Smith, P. (2016). 'Modelling nitrous oxide emissions from mown-grass and grain-cropping systems: Testing and sensitivity analysis of DailyDayCent using high frequency measurements'. *Science of the Total Environment*, 572, 955-977.
11. Smith, P. (2016). 'Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies'. *Global Change Biology*, 22(3), 1315-1324.
12. WMO greenhouse gas bulletin, 2010. The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2009.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОСФОРА НА СКОРОСТЬ И ЭМИССИЮ CO₂ ИЗ ПОЧВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОАКТИВНОГО ИЗОТОПА ¹⁴C

Н. Н. Билера

Аннотация. Глобальное потепление как одна из важнейших экологических проблем в XXI веке влияет на производство сельскохозяйственных культур и, таким образом, рассматривается как угроза продовольственной безопасности во всем мире. Изучение влияния любых факторов на отток CO₂ является важной современной задачей. Несмотря на многочисленные исследования по этой теме, одиночный эффект применения фосфора на производство CO₂ в почвах остается неясным. Данное исследование было направлено на оценку влияния повышения уровней фосфора с источником углерода и без него на скорость выделения и общую эмиссию CO₂, а также на определение источников CO₂ при применении радиоактивного изотопа ¹⁴C. Фосфор значительно влияет на скорость выделения CO₂ в варианте P50 на стадии покоя микроорганизмов, когда не было внесено углерод. Однако активация почвенных микроорганизмов с помощью C50 не приводила к видимому эффекту от фосфора в течение одного дня после его внесения. Общая эмиссия CO₂ через 120ч после добавления P50 была в 1,5 и 2 раза больше, соответственно, при отсутствии углерода и внесении C50 по сравнению со средними значениями для P0 и P10. Тем не менее необходимо провести эксперимент с растениями для определения чистой эмиссии CO₂ и при этом учитывать положительный эффект от применения фосфора. Возрастающие уровни фосфора приводили к снижению ¹⁴CO₂ без углерода и имели обратный эффект в варианте C50 в течение первого дня эксперимента. Эти результаты могут быть также полезными для определения вклада фосфора как отдельного компонента в глобальную эмиссию CO₂.

Ключевые слова: фосфорное питание, радиоизотоп ¹⁴C, эмиссия CO₂, микробиологическая активность.

EFFECT OF PHOSPHORUS APPLICATION ON THE RATES AND EFFLUX OF CO₂ FROM SOIL: ¹⁴C LABELING STUDY

N. Bilyera

Abstract. Global Warming as one of the most important environmental challenge in the XXI century affects crop production, and, thus, is considered as a threat for food security worldwide. Studying the influence of any factors for CO₂ efflux is the call of the day. Despite of numerous studies on this topic, the single effect of phosphorus application on CO₂ production in soils was poorly understood. Current study aimed to evaluate the influence of increasing P levels with and without C source on CO₂ emission rates and total CO₂ efflux, and define the source of CO₂ by ¹⁴C application. P application affects CO₂ emission rates significantly at P50 in dormant stage when no C was applied. However, activation of soil microorganisms by C50 led to no P effect within one day after application. Total CO₂ efflux 120-h after P50 addition was 1,5 and 2 times greater for no C and C50 treatments respectively, if compared to the mean values for P0 and P10. Nevertheless, experiment with plants should be done to determine the net CO₂ emission and take into account the positive effect from P application. The incremental P levels resulted in lower ¹⁴CO₂ rates for no C treatments, and had the reverse effect at C50 during the first day of experiment. These findings may be further useful for determination the contribution of each component to the global CO₂ emission.

Keywords: phosphorus application, ¹⁴C labeling, CO₂ emission, microbiological activity.