

DOI: <http://phzt-journal.isgkr.com.ua/ua-66/11.pdf>

УДК 631.427.2:631.46

Т. В. ПАРТИКА, кандидат біологічних наук

Ю. М. ОЛФІР, О. С. ГАВРИШКО, кандидати сільськогосподарських наук

Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН

вул. Грушевського, 5, с. Оброшине Пустомитівського р-ну Львівської обл.,

81115, e-mail: tetyana.partyka@gmail.com

ВПЛИВ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ НА ДИНАМІКУ МІКРОБНОЇ БІОМАСИ ЯСНО-СІРОГО ЛІСОВОГО ПОВЕРХНЕВО ОГЛЕНОГО ГРУНТУ

Хоча загальна кількість мікроорганізмів в основному не перевищує 3 % від вмісту Карбону, вони беруть участь у більшості біохімічних процесів у ґрунті. Стан мікробної спільноти ґрунту значно залежить від використовуваних агротехнічних прийомів, серед яких чільне місце посідає вапнування. Проте незважаючи на велику кількість досліджень, присвячених мікробним угрупованням ґрунту, у зв'язку з великою мінливістю та неоднорідністю ґрунтового середовища до цих пір у вивченні вмісту С мікробної біомаси залишається багато невизначеного.

За використання регідраційного методу оцінки загальної мікробної біомаси у ґрунті під ячменем ярим і кукурудзою не зафіксовано достовірної різниці за середнім вмістом МБ за вегетаційний період. Однак впродовж вегетації кількість МБ у різні фази розвитку кукурудзи та ячменю дещо відрізнялася. Так, у перший рік внесення під кукурудзу на зелену масу органічні добрива забезпечили зростання мікробної біомаси у 2,2 разу порівняно із лише мінеральним удобренням (відповідно 530,5 і 458,3 мкг С · г⁻¹). Під ячменем такого збільшення не спостерігали.

За органо-мінеральної системи удобрення на фоні внесення оптимальної норми вапна за кислотно-основною буферністю (2,5 т/га СаСО₃) мікробна біомаса в полі кукурудзи на зелену масу зростає до 466,7 мкг С · г⁻¹ проти 416,5 мкг С · г⁻¹ системи удобрення на фоні внесення дози СаСО₃ (6,0 т/га), розрахованої за гідролітичною кислотністю. Аналогічний розподіл характерний і для мінеральної системи удобрення на фоні вапнування дозою СаСО₃, розрахованою за Нг та кислотно-основною буферністю. У ґрунті під ячменем ярим за органо-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування внесення оптимальної дози СаСО₃ забезпечує дещо менший вміст МБ, ніж при внесенні за гідролітичною кислотністю. Однак за мінеральної системи дещо більше кількість МБ забезпечує внесення 6 т/га вапна.

Загалом застосування органо-мінеральної та мінеральної систем удобрення на фоні вапнування дозою СаСО₃, розрахованою за Нг, сприяє зростанню величини мікробної біомаси ґрунту в період інтенсивного росту і розвитку рослин порівняно із аналогічними системами удобрення і вапнування дозою, розрахованою за кислотно-основною буферністю.

© Партика Т. В., Оліфір Ю. М., Гавришко О. С., 2019

Ключові слова: мікробна біомаса, регідратаційний метод, органічна речовина ґрунту, ясно-сірий лісовий поверхнево оглєсний ґрунт.

Partyka T., Olifir Yu., Havryshko O. Influence of fertilizer systems on the dynamics of microbial biomass of light gray forest surface-gleyed soil

Although the total number of microorganisms does not generally exceed 3 % of soil carbon content, they are involved in most soil biochemical processes. The state of the soil microbial community significantly depends on the applied agricultural techniques, among which liming is at the forefront. However, despite on the large number of studies on soil microorganisms, due to the great variability and heterogeneity of the soil environment, there is still a lot of uncertainty in determining the C content of microbial biomass.

There was no significant difference by the average MB content during the growing season in soil under spring barley and corn, using the rehydration method for appraisal a total MB. However, during the growing season, the amount of MB in different phases of corn and barley development slightly varied. In the first year of applying organic fertilizers in the field of corn for green mass ensured a 2,2-fold increase in microbial biomass, compared to only mineral fertilizers (respectively 530,5 and 458,3 $\mu\text{g C} \cdot \text{g}^{-1}$). Under barley, such an increase was not observed.

In the organo-mineral fertilizer system with application of the optimal lime rate according to the acid-base buffering capacity (2,5 t/ha CaCO_3) microbial biomass on the cornfield increases to 466,7 against 416,5 $\mu\text{g C} \cdot \text{g}^{-1}$ of fertilizer system with the background of CaCO_3 dose (6.0 t/ha), calculated according to hydrolytic acidity. A similar distribution is also typical for the mineral fertilizer system with the background of liming with a dose of CaCO_3 calculated according to Ha and acid-base buffering capacity. In the soil under spring barley under the organo-mineral fertilizer system with the background of liming, the application of the optimal dose of CaCO_3 provides a slightly lower MB content than when applied according to hydrolytic acidity. However, under the mineral system, applying 6 t/ha of lime provides a slightly larger amount of MB.

In general, application of organo-mineral and mineral fertilizer systems with the background of liming with a dose of CaCO_3 , calculated according to hydrolytic acidity, contributes to the increase of soil microbial biomass during the period of intensive growth and development of plants compared with similar fertilizer and liming with a dose, calculated according to acid-base buffering capacity.

Key words: microbial biomass, rehydration method, soil organic matter, light gray forest surface-gleyed soil.

Вступ. Мікроорганізми беруть участь у більшості біохімічних процесів у ґрунті [14]. Саме тому для повного вивчення циклів різних елементів, зокрема С та N, дослідження мікробних пулів мають важливе значення. Загальна мікробна біомаса (МБ) включає всі живі ґрунтові організми менше 150–200 мкм. Її загальна кількість невелика (50–2000 мкг С/г ґрунту) і в основному не перевищує 3 % від вмісту Карбону [3, 18, 25].

Існує пряма залежність між вмістом МБ та органічною речовиною ґрунту [17]. Ґрунти різних кліматичних зон характеризуються як різним вмістом мікробної біомаси, так і її чутливістю до природних і антропогенних впливів. У дерново-підзолистому ґрунті зміни вмісту мікробної біомаси на 59 % визначалися впливом антропогенних факторів і лише на 14 % – сезонними коливаннями, тоді як у чорноземі вилугуваному внесок цих факторів дорівнював відповідно 5 і 66 % [1].

МБ змінюється залежно від механічного обробітку ґрунту, внесення різних видів мінеральних добрив і рослинних залишків [20, 26]. Порівняно з природними екосистемами у агрогенно змінених ґрунтах зменшується загальна біогенність, проте зростає чисельність бактерій, які використовують Нітроген мінеральних сполук, педотрофів, оліготрофів та міцеліальних організмів [6].

Вважають, що стан мікробної спільноти ґрунту залежить не стільки від системи землеробства в цілому (наприклад, інтенсивної чи органічної), скільки від використовуваних агротехнічних прийомів (застосування добрив, обробітку культур, виду сівозміни, техніки зароблення рослинних залишків) [16]. Серед таких прийомів чільне місце посідає вапнування. У кислих ґрунтах за рахунок внесення вапна створюються кращі умови для розвитку мікроорганізмів, що приводить до вищих значень мікробної біомаси та дихання [28–30]. Водночас застосування мінеральних добрив по-різному впливає на стан мікробіоти: при $\text{pH} < 5$ воно веде до зменшення МБ за рахунок ще більшого підкислення ґрунту, а при вищих значеннях pH відзначено підвищення МБ [22, 23, 27].

Проте незважаючи на велику кількість досліджень, присвячених мікробним угрупованням ґрунту, у зв'язку з великою мінливістю та неоднорідністю ґрунтового середовища до цих пір у вивченні вмісту С мікробної біомаси залишається багато невизначеного [21, 24].

Матеріали і методи. Дослідження проводили у 2018 р. на ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті тривалого стаціонарного досліді, закладеного у 1965 р. та занесеного в реєстр довгострокових стаціонарних польових дослідів НААН (атестат реєстрації НААН № 29). Стаціонарний дослід розміщений у просторі на трьох полях, кожне з яких включає 18 варіантів, які знаходяться у триразовому повторенні. Розташування варіантів одноярусне, послідовне. Загальна площа ділянки становить 168 м^2 , а облікова – 100 м^2 .

Фосфорно-калійні добрива вносили восени, а азотні – під передпосівну культивуацію. Вапнування згідно зі схемою досліді проводили перед початком ІХ ротації сівозміни, у якій також відкороговано дози внесення добрив під культури сівозміни (табл. 1).

Як вапнякові матеріали використовували вапнякове борошно (93,5 % CaCO₃).

1. Схема польового стаціонарного досліді (X ротація)

№ вар.	Норма вапна за гідролітичною кислотністю (г.к.) та кислотнo-основною буферністю (к.-осн. буф.)	Внесено на 1 га сівозмінної площі		Кукурудза на зелену масу	Ячмінь ярий + конюшин а лучна
		гній, т	НPK, кг д. р.		
1	Без добрив (контроль)				
2	1,0 (г.к.)	-	-	-	-
3	-	10	-	Гній, 40 т/га	-
7	1,0 (г.к.)	10	N ₆₅ P ₆₈ K ₆₈	Гній, 40 т/га + N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	N ₇₀ P ₉₀ K ₉₀
8	оптим. (к.-осн. буф.)	10	N ₆₅ P ₆₈ K ₆₈	Гній, 40 т/га + N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	N ₇₀ P ₉₀ K ₉₀
15	-	-	N ₆₅ P ₆₈ K ₆₈	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	N ₇₀ P ₉₀ K ₉₀
17	1,5 (г.к.)	-	N ₁₀₅ P ₁₀₁ K ₁₀₁	N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₁₃₅	N ₁₂₀ P ₁₃₅ K ₁₃₅
18	оптим. (к.-осн. буф.)	-	N ₁₀₅ P ₁₀₁ K ₁₀₁	N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₁₃₅	N ₁₂₀ P ₁₃₅ K ₁₃₅

Сівозміна чотирипільна із таким чергуванням культур: кукурудза на зелену масу, ячмінь ярий з підсівом конюшини лучної, конюшина лучна, пшениця озима. Агротехніка вирощування культур – загальноприйнята для зони Лісостепу Західного.

Визначення загальної мікробної біомаси в ґрунті здійснювали регідраційним методом [12, 13]. Він базується на висушуванні ґрунту за температури 70 °С, що порушує цілісність цитоплазматичних мембран. При наступній регідрації ґрунту слабким розчином нейтральної солі внутрішньоклітинні компоненти переходять у розчин, де аналізуються. Суть методу: 5 г ґрунту переносять у колбу на 50 мл і залишають в сушильній шафі за температури 65–70 °С на 24 години. Далі додають 10 мл 0,5 М K₂SO₄ і перемішують суспензію 30 хвилин,

центрифугують і в супернатантному розчині визначають вміст органічної речовини методом біхроматного окиснення: 1,6 мл витяжки змішують з 2,4 мл сірчанохромової суміші (23,2 г $K_2Cr_2O_7$ розчиняють в 400 мл води і додають 2 л концентрованої H_2SO_4), пробірки термостатують за $140\text{ }^\circ\text{C}$ 20 хв, охолоджують і спектрофотометрують при 590 нм. Паралельно проводять контрольне визначення в ґрунті без висушування. Кількість мікробної біомаси розраховували за формулою:

$$x = \frac{c - c_0}{k};$$

де x – Карбон мікробної біомаси (мкг/г ґрунту), c і c_0 – кількість органічної речовини в ґрунті відповідно після висушування і в свіжому стані; k – коефіцієнт для перерахунку, що дорівнює частці клітинних компонентів, що перейшли в розчин.

Для ясно-сірого лісового поверхневооголеного ґрунту використовували коефіцієнт $k=0,25$ [7, 10, 15, 19]. Для визначення карбону мікробної біомаси використовують лише свіжі ґрунтові зразки.

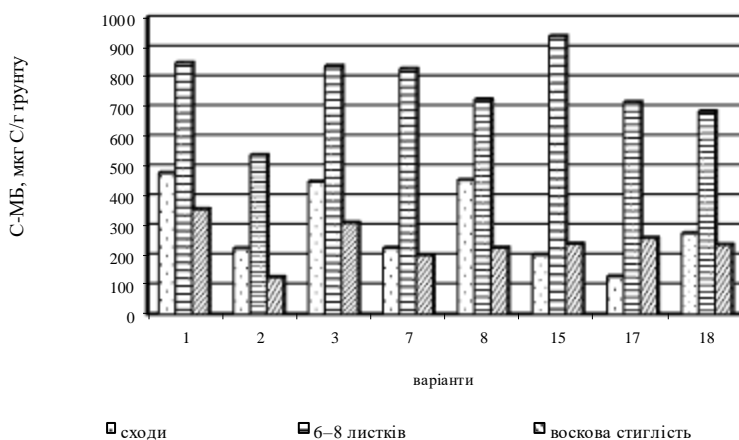
Агрохімічні показники ґрунту визначали за загальноприйнятими методиками.

Метеорологічні умови 2018 р. протягом вегетаційного періоду характеризувалися підвищенням температурного режиму в окремі місяці (квітень, а особливо травень) та великою кількістю атмосферних опадів. Температура повітря в період вегетації рослин у всі місяці була вищою від норми в середньому на $1,7\text{--}6,3\text{ }^\circ\text{C}$, а в квітні і травні – відповідно на $6,3$ і $4,7\text{ }^\circ\text{C}$. Кількість опадів у червні та липні була значно вищою від середніх багаторічних показників, а у квітні та травні – недостатньою порівняно з середніми багаторічними даними. В цілому протягом вегетаційного періоду кількість опадів була значно вищою за середню багаторічну норму: на $30,2$ мм (за березень – серпень) та на $65,9$ мм (за травень – серпень).

Результати та обговорення. Результати визначень загальної мікробної біомаси (МБ) свідчать про її варіабельність у варіантах досліду залежно від рівня та виду удобрення, а також від доз внесених вапнякових добрив як у полі ячменю ярого з підсівом конюшини, так і кукурудзи на зелену масу.

Проведені дослідження показали, що у полі кукурудзи на зелену масу (рис. 1), якою починається X ротація сівозміни, найвищі значення мікробної біомаси у фазі повних сходів ($476,2$ мкг $C \cdot g^{-1}$) було отримано на варіанті абсолютного контролю. Схожі дані одержала Л. В. Бойцова [4], де у дерново-підзолистому ґрунті на початку вегетаційного періоду максимальний вміст МБ спостерігали у ґрунті контролю, а до кінця періоду досліджень найбільша кількість C

мікробної біомаси була виявлена при удобренні. За внесення лише мінеральних добрив (вар. 15) вміст мікробної біомаси знижується до 200,9 мгк С · г⁻¹, тоді як органічне удобрення забезпечує підвищення МБ до 446,6 мгк С · г⁻¹. За органо-мінеральної системи удобрення на фоні внесення вапна за кислотно-основною буферністю порівняно із вапнуванням за гідролітичною кислотністю показник МБ зростає більш ніж у 2 рази до 452 мгк С · г⁻¹. Така ж тенденція характерна для варіантів з мінеральною системою удобрення: за внесення вапна за кислотно-основною буферністю вміст МБ становить 273,0 мгк С · г⁻¹, а за гідролітичною кислотністю – лише 127,7 мгк С · г⁻¹.



Примітки: 1 – контроль (без добрив); 2 – CaCO₃, 1,0 н за Нг; 3 – гній, 10 т/га; 7 – N₆₅P₆₈K₆₈ + гній, 10 т/га + CaCO₃, 1,0 н за Нг; 8 – N₆₅P₆₈K₆₈ + гній, 10 т/га + CaCO₃, оптим. за кисл.-осн. буф.; 15 – N₆₅P₆₈K₆₈; 17 – N₁₀₅P₁₀₁K₁₀₁ + CaCO₃, 1,5 н за Нг; 18 – N₁₀₅P₁₀₁K₁₀₁ + CaCO₃, оптим. за кисл.-осн. буф.

Рис. 1. Динаміка зміни МБ під кукурудзою на зелену масу протягом вегетації (X ротація) за варіантами досліді

Із подальшим ростом кукурудзи у фазі 6–8 листків вміст мікробної біомаси зростає у всіх варіантах досліді в 1,6–5,6 разів. Це пов'язано як із інтенсивнішими виділеннями кукурудзою корневих ексудатів, які є одним із основних джерел живлення для мікроорганізмів, так і сприятливішими погодними умовами за рахунок кращого зволоження ґрунту (20,5–26,6 %). Деяко вищими показниками МБ характеризувалася органо-мінеральна система удобрення на фоні вапнування порівняно із мінеральною. Вапнування за гідролітичною кислотністю як за мінеральної, так і за органо-мінеральної системи

сприяло формуванню дещо вищих кількостей МБ (відповідно 714,3 та 826,2 мкг С · г⁻¹ ґрунту). Однак найбільше мікробної біомаси сформувалося при внесенні лише мінеральних добрив у дозі N₆₅P₆₈K₆₈. Це може бути пов'язано із зміною структури мікробного ценозу: внаслідок довготривалого внесення мінеральних добрив ґрунт значно підкислюється, що може спричинити значне збільшення кількості грибів. Так, за даними В. Г. Минеева, Е. Х. Ремпе [11], внесення мінеральних добрив у довготривалому досліді на Долгопрудненській агрохімічній дослідній станції на дерново-підзолистому ґрунті знизило кількість бактерій-амоніфікаторів та денітрифікаторів, однак підвищило кількість грибів більш ніж утричі порівняно із варіантом без добрив. За даними О. С. Дем'янюка [6], за тривалого застосування мінеральних добрив на кислому дерново-підзолистому ґрунті у загальній структурі частка стрептоміцетів зростала до 27,8–30,9 %, а частка бактерій зменшувалася до 66,3–69,6 %. Водночас поєднане застосування органічних і мінеральних добрив сприяло високому вмісту бактеріальної мікробіоти (85,5–86,7 %).

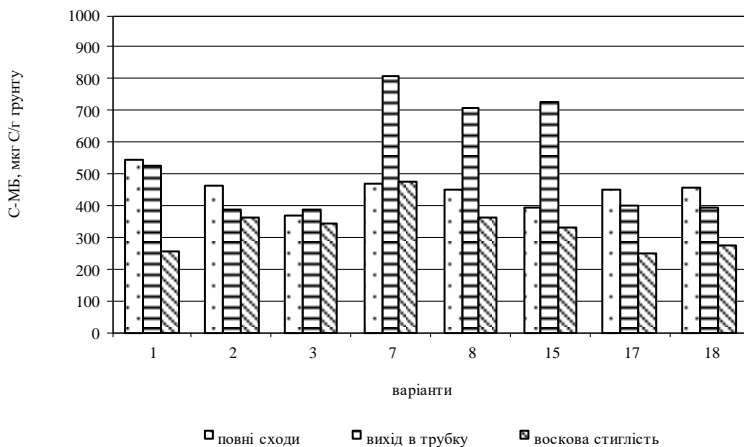
За результатами наших попередніх досліджень у ґрунті контрольного та 15 варіантів справді майже вдвічі зростає чисельність плісневих грибів і різко знижується кількість бактерій [2].

При досягненні кукурудзою воскової стиглості МБ зменшилася на всіх варіантах у 2,4–4,3 рази внаслідок природних процесів згасання мікробіологічної активності наприкінці вегетації. В цей період не виявлено достовірної різниці як між системами удобрення на фоні вапнування, так і між різними нормами внесення вапна. Найвищими показниками мікробної біомаси характеризувався, як і у період сходів, ґрунт на контролі. Найнижчий вміст МБ знову було відзначено у варіанті вапнування 1,0 н CaCO₃ за Нг (вар. 2). Хоча внесення вапна значно поліпшує реакцію ґрунтового середовища, зменшує вміст рухомого алюмінію, однак це має радше негативний вміст на мікроорганізми. Зокрема вапнування зменшує кількість грибною міцелію, великий вміст якого характерний для кислих ґрунтів [8]. А за дефіциту свіжої органічної речовини внаслідок невисокої врожайності сільськогосподарських культур за відсутності удобрення на цьому варіанті бактерії та актиноміцети розвиваються не так активно.

Вимірювання вмісту мікробної біомаси під ячменем ярим з підсівом конюшини лучної у фазі сходів (рис. 2) також показали, що найвищі значення мікробної біомаси були у варіанті повного контролю (544,5 мкг С · г⁻¹).

Внесення лише мінеральних та органічних добрив зумовило зниження мікробної біомаси відповідно до 392,0 та 369,7 мкг С · г⁻¹. Застосування як органо-мінеральної, так і мінеральної системи

удобрення на фоні вапнування за кислотно-основною буферністю та гідролітичною кислотністю забезпечило формування в ґрунті майже однакової кількості мікробної біомаси. Близькі до цих значення МБ було отримано і при внесенні лише вапна ($463,9 \text{ мкг С} \cdot \text{г}^{-1}$).



Примітки: 1 – контроль (без добрив); 2 – CaCO_3 , 1,0 н за Нг; 3 – гній, 10 т/га; 7 – $\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$ + гній, 10 т/га + CaCO_3 , 1,0 н за Нг; 8 – $\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$ + гній, 10 т/га + CaCO_3 , оптим. за кисл.-осн. буф.; 15 – $\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$; 17 – $\text{N}_{105}\text{P}_{101}\text{K}_{101}$ + CaCO_3 , 1,5 н за Нг; 18 – $\text{N}_{105}\text{P}_{101}\text{K}_{101}$ + CaCO_3 , оптим. за кисл.-осн. буф.

Рис. 2. Динаміка зміни МБ під ячменем ярим з підсівом конюшини протягом вегетації (X ротація) за варіантами досліді

У фазі виходу в трубку ячменю ярого спостерігали незначне зниження значень МБ на досліджуваних варіантах 1, 2, 17 та 18 – відповідно до 525,6; 387,1; 400,9 та 390,8 $\text{мкг С} \cdot \text{г}^{-1}$. У варіантах органо-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування як дозою CaCO_3 , розрахованою за гідролітичною кислотністю, так і за рН-буферністю показники мікробної біомаси порівняно із фазою сходів зросли відповідно на 72 та 58 %.

У фазі воскової стиглості ячменю вміст мікробної біомаси зменшується у всіх варіантах досліді, що пов'язано перш за все із сповільненням мікробіологічної активності при досягнанні сільськогосподарських культур, як і під кукурудзою. Мікробна біомаса в цей період була вищою за органо-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування ($363,6\text{--}427,7 \text{ мкг С} \cdot \text{г}^{-1}$), хоча достовірної різниці між різними нормами внесення вапна не було виявлено. Тому, оскільки найбільші відмінності між варіантами спостерігали у фазі максимального вегетативного розвитку рослин, деякі вчені

пропонують вивчення ґрунтових зразків саме в період перед формуванням генеративних органів [9].

Загалом вміст мікробної біомаси достовірно не залежав від вирощуваної культури. Так, під ячменем середня МБ за вегетаційний період коливалася від 364,3 до 583,9 мкг С · г⁻¹ ґрунту, тоді як під кукурудзою показники були в межах 294,5–559,0 мкг С · г⁻¹ ґрунту.

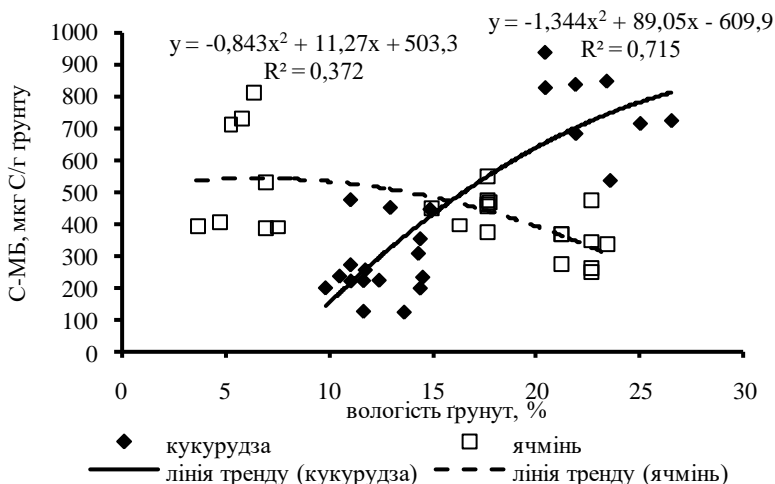


Рис. 3. Залежність між вологістю ґрунту та вмістом мікробної біомаси

Ріст та розвиток мікроорганізмів також значно залежить від погодних умов впродовж вегетаційного періоду. О. А. Демидов та О. С. Дем'янюк [5, 6] відзначають наявність тісного кореляційного зв'язку між вмістом мікробної біомаси та значеннями ГТК. Причому за достатньої кількості вологи нівелюється негативний вплив високих температур на ґрунтову мікрофлору. Однак ми впродовж року не відзначили залежності між вологістю ґрунту та МБ, хоча під окремими культурами, зокрема кукурудзою, коефіцієнт кореляції між цими показниками становив 0,84 (рис. 3).

Висновки. Таким чином, у ясно-сірому лісовому поверхнево оглеєному ґрунті під посівами ячменю ярого і кукурудзи не зафіксовано достовірної різниці за середнім вмістом мікробної біомаси за вегетаційний період. У перший рік внесення під кукурудзу на зелену масу органічні добрива забезпечують зростання мікробної біомаси у 2,2 разу порівняно із лише мінеральним удобренням (відповідно 530,5 і 458,3 мкг С · г⁻¹). За органо-мінеральної системи удобрення на фоні

внесення оптимальної норми вапна за кислотно-основною буферністю (2,5 т/га CaCO_3) мікробна біомаса в полі кукурудзи на зелену масу зростає до 466,7 $\text{мкг С} \cdot \text{г}^{-1}$ проти 416,5 $\text{мкг С} \cdot \text{г}^{-1}$ системи удобрення на фоні внесення дози CaCO_3 (6,0 т/га), розрахованої за гідролітичною кислотністю. Аналогічний розподіл характерний і для мінеральної системи удобрення на фоні вапнування дозою CaCO_3 , розрахованою за Нг та кислотно-основною буферністю. У ґрунті під ячменем ярим за органо-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування внесення оптимальної дози CaCO_3 забезпечує дещо менший вміст МБ, ніж при внесенні за гідролітичною кислотністю. Однак за мінеральної системи дещо більшу кількість МБ забезпечує внесення 6 т/га вапна.

Загалом застосування органо-мінеральної та мінеральної систем удобрення на фоні вапнування дозою CaCO_3 , розрахованою за Нг, сприяє зростанню величини мікробної біомаси ґрунту в період інтенсивного росту і розвитку рослин ячменю ярого порівняно із аналогічними системами удобрення і вапнування дозою, розрахованою за кислотно-основною буферністю.

Список використаної літератури:

1. Ананьева Н. Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. Москва, 2003. 223 с.
2. Біологічна активність ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту залежно від антропогенного впливу / В. В. Снітинський та ін. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2014. Вип. 19. С. 47–52.
3. Благодатская Е. В., Семенов М. В., Якушев А. В. Активность и биомасса почвенных микроорганизмов в изменяющихся условиях окружающей среды. Москва : Т-во науч. изд. КМК, 2016. 243 с.
4. Бойцова Л. В. Биологические свойства, общее и лабильное органическое вещество дерново-подзолистой супесчаной почвы при применении минеральной системы удобрения. *Агрофизика*. 2014. № 2. С. 8–15.
5. Демидов О. А., Дем'янюк О. С. Вплив агроекологічних чинників на вміст мікробної біомаси у ґрунті. *Таврійський науковий вісник. Сільськогосподарські науки*. 2017. Вип. 97. С. 39–44.
6. Дем'янюк О. С. Екологічні основи функціонування мікробіоценозів ґрунту агроєкосистем в умовах змін клімату : дис. ... д-ра с.-г. наук : 03.00.16. Київ, 2017. 439 с.
7. Евдокимов И. В. Методы

References:

1. Anan'eva N. D. Microbiological aspects of self-cleaning and stability of soil. Moscow, 2003. 223 p.
2. Biological activity of light gray forest surface-gleyed soil depending on anthropogenic influence / V. V. Snitynskyi et al. *Silskohospodarska mikrobiologhiia*. 2014. Issue 19. P. 47–52.
3. Blagodatskaja E. V., Semenov M. V., Jakushev A. V. The activity and biomass of soil microorganisms in changing environmental conditions. Moscow : T-vo nauch. izd. KMK, 2016. 243 p.
4. Bojцова L. V. Biological properties, general and labile organic matter of sod-podzolic sandy loamy soil when using the mineral fertilizer system. *Agrofizika*. 2014. No 2. P. 8–15.
5. Demydov O. A., Demianiuk O. S. Influence of agri-environmental factors on the content of microbial biomass in soil. *Tavriyskyi naukovyi visnyk. Silskohospodarski nauky*. 2017. Issue. 97. P. 39–44.
6. Demianiuk O. S. Ecological bases of functioning microbiocenoses in soils of agroecosystems in conditions of climate change : thesis for Doctor degree in agricultural sciences : 03.00.16. Kyiv, 2017. 439 p.
7. Yevdokimov I. V. Methods for measuring soil microbial biomass. *Russian*

- определения биомассы почвенных микроорганизмов. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2018. Vol. 3. DOI: 10.21685/2500-0578-2018-3-5.
8. Козлова Ю. Е. Микробиологический мониторинг состояния дерновоподзолистой почвы после прекращения применения минеральных удобрений : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.07. Москва, 2005. 129 с.
9. Малиновская И. М. К вопросу о времени проведения почвенных микробиологических исследований. *Агрoхимия и грунтознавство*. 2015. Вип. 82. С. 27–32.
10. Методы почвенной микробиологии и биохимии : учеб. пособие / под ред. Д. Г. Звягинцева. Москва, 1991. 304 с.
11. Минеев В. Г., Ремпе Е. Х. Агрoхимия, биология и экология почвы. Москва : Росагропромиздат, 1990. 287 с.
12. Практикум по биологии почв : учеб. пособие / Г. М. Зенова и др. Москва, 2002. 120 с.
13. Регидратационный метод определения биомассы микроорганизмов в почве / С. А. Благодатский и др. *Почвоведение*. 1987. № 7. С. 64–71.
14. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв / Т. Г. Добровольская и др. *Почвоведение*. 2015. № 9. С. 1087–1096.
15. Семенов В. М., Кузнецова Т. В., Кудряев В. Н. Определение содержания и скорости обновления азота активной фазы почвы в опыте с ¹⁵N-меченым удобрением. *Почвоведение*. 1999. № 4. С. 512–520.
16. Семенов В. М., Когут Б. М. Почвенное органическое вещество. Москва, 2015. 233 с.
17. Сравнительная оценка микробной биомассы почв, определяемой методами прямого микроскопирования и субстрат-индуцированного дыхания / Н. Д. Ананьева и др. *Микробиология*. 2008. Т. 77, № 3. С. 404–412.
18. Blagodatskaya E., Kuzyakov Y. Active microorganisms in soil: Critical review of estimation criteria and approaches. *Soil Biology & Biochemistry*. 2013. Vol. 67. P. 192–211.
19. Blagodatsky S. A., Yevdokimov I. V. Extractability of microbial N as influenced by C:N ratio in the flush after drying or fumigation. *Biology and Fertility of Soils*. 1998. Vol. 28. P. 5–11.
20. Changes in soil microbial biomass with manure application in cropping systems: A *Journal of Ecosystem Ecology*. 2018. Vol. 3. DOI: 10.21685/2500-0578-2018-3-5.
8. Kozlova Ju. E. Microbiological monitoring of the status of sod-podzolic soil after stopping the use of mineral fertilizers : thesis for PhD degree in biology sciences : 03.00.07. Moscow, 2005. 129 p.
9. Malinovskaja I. M. The question about time of soil microbiological studies. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo*. 2015. Issue 82. P. 27–32.
10. Methods of soil microbiology and biochemistry: textbook posobie / Ed by D. G. Zvjagincev. Moscow, 1991. 304 p.
11. Mineev V. G., Remppe E. H. Agrochemistry, biology and ecology of the soil. Moscow : Rosagropromizdat, 1990. 287 p.
12. Pracricum on soil biology: textbook / G. M. Zenova et al. Moscow, 2002. 120 p.
13. Rehydration method for determining the biomass of microorganisms in the soil / S. A. Blagodatskij et al. *Pochvovedenie*. 1987. No 7. P. 64–71.
14. The role of microorganisms in the ecological functions of soils / T. G. Dobrovolskaja et al. *Pochvovedenie*. 2015. No 9. P. 1087–1096.
15. Semenov V. M., Kuznecova T. V., Kudejarov V. N. Determination of the nitrogen content and renewal rate of the soil active phase in the experiment with ¹⁵N-labeled fertilizer. *Pochvovedenie*. 1999. No 4. P. 512–520.
16. Semenov V. M., Kogut B. M. Soil organic matter. Moscow, 2015. 233 p.
17. Comparative evaluation of soil microbial biomass determined by direct microscopy and substrate-induced respiration / N. D. Anan'eva et al. *Mikrobiologija*. 2008. Vol. 77, No 3. P. 404–412.
18. Blagodatskaya E., Kuzyakov Y. Active microorganisms in soil: Critical review of estimation criteria and approaches. *Soil Biology & Biochemistry*. 2013. Vol. 67. P. 192–211.
19. Blagodatsky S. A., Yevdokimov I. V. Extractability of microbial N as influenced by C:N ratio in the flush after drying or fumigation. *Biology and Fertility of Soils*. 1998. Vol. 28. P. 5–11.
20. Changes in soil microbial biomass with manure application in cropping systems: A

manure application in cropping systems: A meta-analysis / F. Ren et al. *Soil & Tillage Research*. 2019. Vol. 194. DOI: 10.1016/j.still.2019.06.008.

21. Determination of carbon and nitrogen in microbial biomass of southern-Taiga soils by different methods / M. I. Makarov et al. *Eurasian Soil Science*. 2016. Vol. 49, No 6. P. 685–695. DOI: 10.1134/s1064229316060053.

22. Effects of no-tillage and liming amendment combination on soil carbon and nitrogen mineralization / E. Vazquez et al. *European Journal of Soil Biology*. 2019. Vol. 93. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2019.103090.

23. Fertilization shapes bacterial community structure by alteration of soil pH / Y. Zhang et al. *Front. in Microbiol.* 2017. Vol. 8. P. 1325–1336.

24. Geisseler D., Scow K. M. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms – A review. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014. Vol. 75. P. 54–63.

25. Global patterns in belowground communities / N. Fierer et al. *Ecol. Lett.* 2009. Vol. 12. P. 1238–1249.

26. Kallenbach C., Grandy A. S. Controls over soil microbial biomass responses to carbon amendments in agricultural systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2011. Vol. 144, Issue 1. P. 241–252.

27. Martyniuk S., Pikula D., Koziel M. Soil properties and productivity in two long-term crop rotations differing with respect to organic matter management on an Albic Luvisol. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. DOI: 10.1038/s41598-018-37087-4.

28. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil / J. P. Fuentes et al. *Soil and Tillage Research*. 2006. Vol. 88, Issue 1/2. P. 123–131.

29. Microbial biomass and activity along a natural pH gradient in forest soils in a karst region of the upper Yangtze River, China / Y. Tian et al. *Journal of Forest Research*. 2008. Vol. 13, Issue 4. P. 205–214.

30. Soil microbial community structure and activity in a 100-year-old fertilization and crop rotation experiment / C. Zhao et al. *Journal of Plant Ecology*. 2015. Vol. 8, Issue 6. P. 623–632. DOI: 10.1016/j.still.2019.06.008.

meta-analysis / F. Ren et al. *Soil & Tillage Research*. 2019. Vol. 194. DOI: 10.1016/j.still.2019.06.008.

21. Determination of carbon and nitrogen in microbial biomass of southern-Taiga soils by different methods. / M. I. Makarov et al. *Eurasian Soil Science*. 2016. Vol. 49, No 6. P. 685–695. DOI: 10.1134/s1064229316060053.

22. Effects of no-tillage and liming amendment combination on soil carbon and nitrogen mineralization / E. Vazquez et al. *European Journal of Soil Biology*. 2019. Vol. 93. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2019.103090.

23. Fertilization shapes bacterial community structure by alteration of soil pH / Y. Zhang et al. *Front. in Microbiol.* 2017. Vol. 8. P. 1325–1336.

24. Geisseler D., Scow K. M. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms – A review. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014. Vol. 75. P. 54–63.

25. Global patterns in belowground communities / N. Fierer et al. *Ecol. Lett.* 2009. Vol. 12. P. 1238–1249.

26. Kallenbach C., Grandy A. S. Controls over soil microbial biomass responses to carbon amendments in agricultural systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2011. Vol. 144, Issue 1. P. 241–252.

27. Martyniuk S., Pikula D., Koziel M. Soil properties and productivity in two long-term crop rotations differing with respect to organic matter management on an Albic Luvisol. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. DOI: 10.1038/s41598-018-37087-4.

28. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil / J. P. Fuentes et al. *Soil and Tillage Research*. 2006. Vol. 88, Issue 1/2. P. 123–131.

29. Microbial biomass and activity along a natural pH gradient in forest soils in a karst region of the upper Yangtze River, China / Y. Tian et al. *Journal of Forest Research*. 2008. Vol. 13, Issue 4. P. 205–214.

30. Soil microbial community structure and activity in a 100-year-old fertilization and crop rotation experiment / C. Zhao et al. *Journal of Plant Ecology*. 2015. Vol. 8, Issue 6. P. 623–632. DOI: 10.1016/j.still.2019.06.008.

Отримано 26.11.2019