



original article | UDC 631.559 | doi: 10.31210/visnyk2019.04.13

SPATIAL RELATIONSHIPS BETWEEN SOIL PROPERTIES AND MAIZE YIELD

A. A. Zymaroieva,

ORCID ID: [0000-0001-9382-8269](https://orcid.org/0000-0001-9382-8269), E-mail: nastya.zymaroieva@gmail.com,

Zhytomyr National Agro-Ecological University, 7, Stary Boulevard, Zhytomyr, 10002, Ukraine

P. V. Pysarenko,

ORCID ID: [0000-0002-4915-265X](https://orcid.org/0000-0002-4915-265X), E-mail: pysarenko@pdaa.edu.ua,

Poltava State Agrarian Academy, 1/3, Skovorody str., Poltava, 36003, Ukraine

Soil properties play an important role in the spatial variability of maize yield. The aim of the present investigation was to assess the role of soil factors in the patterns of spatial-temporal variation of maize yield in the Polissia and Forest-Steppe zones of Ukraine. To analyze the impact of soil factors on maize yield, we used the following indicators: humus reserves, pH, and density of soil, sand, clay or silt content for different soil layers. Principal Component Analysis identified 6 principal components, which explain 98.5 % of the total soil dispersion indices. Each of the six components demonstrates the highest correlation with one or more soil variables. By establishing these correlations, we can identify the nature of each principal component, as well as mark the areas of hypersensitivity to each of the principal components on the map. It was established that maize yield dynamics on the research territory was represented as logistic model. The following indicators were used as parameters of the yield pattern: yield lower limit indicates the lowest yield level during the research period which was observed in the early and mid-1990s; slope of the trend curve, shows the speed of changes in yield over time; time from experiment's beginning (ED50) – the time, which is required to achieve half of the maximum level of yield growth and at the same time the moment of the highest rate of productivity growth; upper yield level – the highest level of yield, at which under this level of agricultural technology, the yield is determined precisely by the biotic potential of the territory. Using regression analysis the relationship between maize yield parameters and soil properties was established. It is found that the slope of the logarithmic model, which determines the potential rate of yield growth, mostly depends on humus reserves in the soil. The lower and upper limits of maize yield are negatively correlated with sand content of the soil, and the time of sharp increase in yield is also mostly dependent on the particle size distribution of the soil and is positively correlated with sand content.

Key words: maize, yield, trend, dynamics, soil parameters.

ПРОСТОРОВИЙ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ ТА УРОЖАЙНОСТІ КУКУРУДЗИ

A. A. Зимароєва,

Житомирський національний агроекологічний університет, м. Житомир, Україна

П. В. Писаренко,

Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна

Властивості ґрунту відіграють важливу роль у просторовій мінливості врожайності кукурудзи. Метою цього дослідження було оцінити роль ґрунтових факторів у закономірностях просторово-часової варіації урожайності кукурудзи на території Поліської та Лісостепової зон України. Для аналізу впливу ґрунтових факторів на урожайність кукурудзи ми використали такі показники: запаси гумусу, рН, щільність ґрунту, вміст піску, глини чи мулу для різних ґрунтових шарів. У результаті

аналізу виділено 6 головних компонент, які пояснюють 98,5 % загальної дисперсії ґрунтових показників. Кожна з шести компонент проявляє найбільшу кореляцію з однією або декількома ґрунтовими змінними. Встановивши ці зв'язки, можемо визначити природу кожної головної компоненти, а також відмітити на карті території, які мають підвищену чутливість до кожної з головних компонент. З'ясували, що динаміка врожайності кукурудзи на території дослідженого регіону є логістичною моделлю. Як параметри моделі врожайності використані такі показники: нижня межа врожайності (позначає найменший рівень її за період досліджень, який спостерігався на початку та у середині 90-х років минулого століття); ухил кривої тренду, показує швидкість змін урожайності в часі; час з початку досліджень, потрібний для досягнення половинного від максимального рівня зростання урожайності та одночасно момент найбільшої швидкості зростання урожайності; найвищий рівень врожайності, за якого при наявному рівні агротехнологій врожайність визначається саме біотичним потенціалом території. За допомогою регресійного аналізу встановили взаємозв'язок між параметрами врожайності кукурудзи та ґрунтовими показниками. Встановлено, що ухил логарифмічної моделі, який визначає потенційну швидкість росту врожайності, найбільше залежить від запасу гумусу у ґрунті. Нижня і верхня границі врожайності кукурудзи негативно корелюють із вмістом піску у ґрунті. А час настання різкого зростання врожайності також найбільшою мірою залежить від гранулометричного складу ґрунту, причому до вмісту піску має позитивну кореляцію.

Ключові слова: кукурудза, урожайність, тренд, динаміка, ґрунтові показники.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ СВОЙСТВ ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТИ КУКУРУЗЫ

А. А. Зимарова,

Житомирский национальный агроэкологический университет, г. Житомир, Украина

П. В. Писаренко,

Полтавская государственная аграрная академия, г. Полтава, Украина

Целью этого исследования было оценить роль ґрунтовых факторов в закономерностях пространственно-временной вариации урожайности кукурузы на территории Полесской и Лесостепной зон Украины. Анализ главных компонент выделил 6 основных компонентов, которые объясняют 98,5 % общей дисперсии ґрунтовых показателей. С помощью регрессионного анализа установили взаимосвязь между параметрами урожайности кукурузы и ґрунтовыми показателями. Установлено, что уклон логарифмической модели, который определяет потенциальную скорость роста урожайности, больше всего зависит от запаса гумуса в почве. Нижняя и верхняя границы урожайности кукурузы негативно коррелируют с содержанием песка в почве. А время наступления резкого роста урожайности зависит от гранулометрического состава почвы, причем к содержанию песка имеет положительную корреляцию.

Ключевые слова: кукуруза, урожайность, тренд, динамика, ґрунтовые показатели.

Вступ

Зв'язок між урожайністю та ґрунтом дуже складний і залежить від складних взаємодій фізичних та хімічних властивостей ґрунту та інших зовнішніх природних факторів [2, 19]. Розуміння мінливості ландшафтних та ґрунтових властивостей та їхній вплив на врожайність є важливим складником конкретних і стійких систем управління та планування землекористування. Властивості ґрунтів змінюються в різних ландшафтах через особливості ґрунтоутворення, а також через різні підходи до землекористування в сільськогосподарських практиках. Це обумовлює просторово залежне коливання властивостей ґрунту [15]. Урожайність залежна від просторової мінливості властивостей ґрунту й на цю мінливість можуть впливати різноманітні фактори. Застосовуючи поетапний багатофакторний лінійний регресійний аналіз (SMLR), було виявлено, що біологічні показники мають суттєвий зв'язок з урожайністю культур [3, 9, 14]. Однак прості математичні функції, як правило, неповною мірою описують вплив ґрунтових показників на урожайність культур. Крім того, взаємозв'язок між характеристиками ґрунту може спричинити проблеми мультиколінеарності щодо співвідношення властивостей ґрунту та урожайності. Проте, видалення деяких змінних може призвести до втрат важливої ін-

формації. Для розв'язання проблеми мультиколінеарності між незалежними змінними було застосовано часткову регресію найменших квадратів (PLS) [6]. Навантаження лінійних комбінацій змінних в PLS дало змогу визначити властивості ґрунту, які мають найбільший вплив на врожайність. Інший варіант – комбінування змінних на основі їхньої лінійної кореляції за допомогою аналізу головних компонентів (Principal components analysis – PCA). PCA може спростити структуру набору змінних, замінивши їх декількома некорельованими лінійними комбінаціями оригінальних змінних. Цей метод може створити нові менш інтерпретовані комбіновані змінні (головні компоненти), які пояснюють більшу частину дисперсії набору даних [18]. Взаємозв'язок між характеристиками ґрунту та урожайністю було визначено шляхом проведення лінійних багатофакторних регресійних процесів з похідними факторами PCA як незалежними змінними [4, 7, 9]. У цьому дослідженні ми застосуємо саме аналіз головних компонент, щоб виявити основні ґрунтові предиктори врожайності.

Мета роботи – з'ясувати роль ґрунтових факторів у закономірностях просторово-часової варіації урожайності кукурудзи на території Поліської та Лісостепової зон України.

Задля досягнення мети необхідно розв'язати наступні завдання:

- провести аналіз головних компонент ґрунтових показників з метою виділити ті з них, які мають найбільший внесок у варіювання простору ознак;
- побудувати модель врожайності кукурудзи та виділити основні її параметри;
- з'ясувати основні ґрунтові предиктори варіювання показників урожайності кукурудзи.

Матеріали і методи досліджень

Дані з урожайності кукурудзи в Поліській та Лісостеповій зонах України представлені Державною службою статистики України. Відомості охоплюють часовий період з 1991 по 2017 рр. Дані мають характер середньої врожайності культури по адміністративному району. Територія охоплює 206 адміністративних районів з десяти областей України (Вінницька, Волинська, Житомирська, Київська, Львівська, Рівненська, Тернопільська, Хмельницька, Черкаська, Чернігівська). Відомості щодо просторового варіювання ґрунтових властивостей та класифікації ґрунтів одержали з бази даних SoilGrids [8].

Упродовж досліджуваного періоду врожайність кукурудзи демонструвала тренд до збільшення, за винятком початкового етапу досліджень (1991–1997 рр.), коли спостерігалось стрімке зниження врожайності культури [1, 20]. Якщо брати до уваги динаміку зміни цього показника з середини 90-х років по теперішній час, то вона може бути описана сигмоїдною кривою, у якій представлено характерні етапи спостережуваної динаміки, а саме: повільна швидкість зростання на початковому етапі, різке зростання в середній частині періоду досліджень та стабілізація зростання в останній третині періоду досліджень та в деяких випадках – вихід на плато. Для опису сигмоїдної кривої застосована симетрична лог-логістична модель (рис. 1):

$$y = c + \frac{d - c}{1 + \exp(b(\log(x) + \log(ED50)))}$$

де y – відгук (врожайність культури); c – позначає нижній ліміт відгуку (найменший рівень урожайності – Lower Limit), коли x наближається до нуля; d – верхній ліміт (найвищий рівень урожайності – Upper Limit), коли x наближається до нескінченності; b – позначає нахил кривої відгуку у близькості до точки перегину, коли x набуває значення $ED50$ (час, який потрібний для досягнення половинного від максимального рівня зростання урожайності). Указані характеристики динаміки урожайності кукурудзи було розраховано для кожного адміністративного регіону та застосовано як інтегральний кількісний показник варіювання урожайності кукурудзи у даній точці простору в часі. Своєю чергою ґрунтові характеристики було усереднено по кожному адміністративному району. Результати усереднення було застосовано як предиктори характеристик урожайності кукурудзи.

Статистичний аналіз виконаний за допомогою програмного продукту Statistica 10. Для перетворення ненормально залежних змінних у нормальну форму застосовували перетворення Вох-Сох [13].

Для аналізу впливу ґрунтових факторів на урожайність кукурудзи ми використали такі показники: запаси гумусу, рН, щільність ґрунту, вміст піску, глини чи мулу для різних ґрунтових шарів.

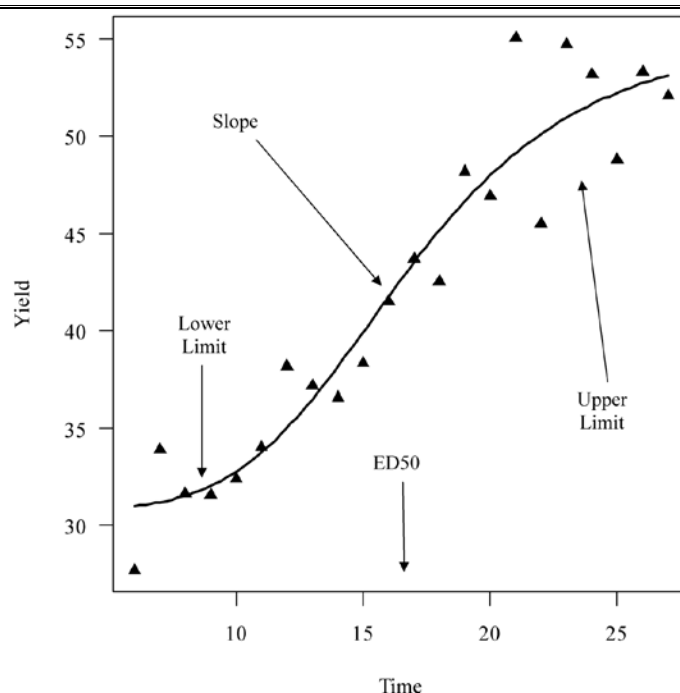


Рис. 1. Типова модель динаміки урожайності кукурудзи за період 1991–2017 рр.

Ось абсцис – порядок років (1 – 1991, 2 – 1992, ...), ось ординат – урожайність кукурудзи, ц/га. Lower Limit – позначає найменший рівень врожайності за період досліджень, який спостерігався на початку та в середині 90-х років минулого століття; Slope – ухил кривої тренду, показує швидкість змін урожайності в часі; ED50 – час з початку досліджень, який потрібний для досягнення половинного від максимального рівня зростання урожайності та одночасно момент найбільшої швидкості зростання урожайності; Upper Limit – найвищий рівень урожайності, за якого при даному рівні агротехнологій врожайність визначається саме біотичним потенціалом території

Результати досліджень та їх обговорення

Щоб виділити ґрунтові показники, які мають найбільший вплив на урожайність кукурудзи, ми провели аналіз головних компонент (PCA). У результаті PCA було виділено 6 головних компонент, власні значення яких вищі за одиницю і які разом пояснюють 98,5 % загальної дисперсії ґрунтових показників (табл. 1).

Головна компонента 1 описує найбільшу частину варіабельності простору ознак – 65,6 %. З нею корелює переважна більшість ґрунтових змінних, але найбільшою кореляцією характеризуються змінні, що визначають гранулометричний склад ґрунту (вміст піску, глини та мулу). Комплекс указаних показників дає змогу змістовно інтерпретувати головну компоненту 1 як характеристику гранулометричного складу, причому найбільш чутлива вона до вмісту піску. Характер варіювання цієї ознаки у просторі зі зміною значень головної компоненти у широтному напрямку подано на рисунку 2. Райони, у яких у складі ґрунтів переважає піщана фракція знаходяться на півночі досліджуваного регіону (Полісся). Головна компонента 2 описує 14,5 % варіювання простору ознак. Ця компонента найбільшою мірою корелює зі щільністю ґрунту. За критерієм найбільшої чутливості до щільності ґрунту виділяються південно-західні та південно-східні райони дослідженої території (рис. 2). Головна компонента 3 описує 6,4 % загальної мінливості ґрунтових показників. Ця компонента корелює з усіма ґрунтовими показниками, але найбільшою мірою – із запасами гумусу. Території, для яких вміст гумусу у ґрунті є найбільш характерним показником, знаходяться на сході дослідженого регіону. Головна компонента 4 описує 5,7 % мінливості простору ознак. Вона найбільшою мірою корелює з вмістом мулу у ґрунті. Найбільш важкі ґрунти знаходяться на півдні та південному-заході регіону досліджень (рис. 2). Головна компонента 5 описує 3,9 % загальної варіабельності ґрунтових змінних і проявляє найбільшу кореляцію до показника кислотності ґрунтів (pH) та просторово має підвищені значення на північному сході регіону досліджень (рис. 2). Головна компонента 6 описує 2,4 % простору ознак і відзначається найбільшою чутливістю до вмісту мулу та глини. Території з підвищеними показниками PC6 знаходяться на півдні регіону.

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. ЕКОЛОГІЯ

1. Аналіз головних компонент ґрунтових змінних

Змінна	Шар	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6
Запаси гумусу	0–0,05	0,71	0,59	0,31	–	0,32	–
	0,05–0,15	0,41	0,86	0,21	–0,14	0,42	–
	0,15–0,3	0,19	0,90	0,41	–0,15	0,49	–
	0,3–0,6	0,24	0,84	0,52	–0,26	0,48	0,16
	0,6–1	0,38	0,78	0,49	–0,22	0,50	0,14
	1–2	0,38	0,79	0,43	–	0,53	0,14
рН	0–0,05	–0,86	–	–	–0,32	0,23	–
	0,05–0,15	–0,91	–	0,17	–0,14	0,18	–
	0,15–0,3	–0,91	–	0,18	–0,14	0,19	–
	0,3–0,6	–0,89	–	0,15	–0,15	0,19	–
	0,6–1	–0,88	–	0,25	–0,22	0,19	–
	1–2	–0,83	–	0,32	–0,29	0,21	–
	2–3	–0,82	–	0,33	–0,29	0,21	–
Щільність ґрунту	0–0,05	–0,82	–0,32	–	–	–0,17	0,14
	0,05–0,15	–0,57	–0,63	0,26	–	–	–
	0,15–0,3	–0,27	–0,75	0,34	–	–	–
	0,3–0,6	–	–0,78	0,28	0,31	–	–
	0,6–1	0,41	–0,63	–	0,39	–	0,22
	1–2	0,81	–0,29	0,29	0,16	–	0,22
	2–3	0,81	–0,31	0,30	–	–	0,20
Пісок	0–0,05	0,98	–	0,34	–0,19	–0,14	–
	0,05–0,15	0,98	–	0,35	–0,19	–0,14	–
	0,15–0,3	0,98	–	0,34	–0,19	–0,14	–
	0,3–0,6	0,98	–	0,33	–0,18	–0,14	–
	0,6–1	0,98	–	0,32	–0,17	–0,15	–
	1–2	0,98	–	0,32	–0,16	–0,15	–
	2–3	0,98	–	0,32	–0,16	–0,14	–
Глина	0–0,05	–0,97	–	–0,19	0,20	–	0,16
	0,05–0,15	–0,97	–	–0,19	0,20	–	0,17
	0,15–0,3	–0,96	–	–0,18	0,21	–	0,18
	0,3–0,6	–0,97	–	–0,16	0,21	–	0,18
	0,6–1	–0,96	–	–0,19	0,26	–	0,19
	1–2	–0,95	–	–0,20	0,28	–	0,18
	2–3	–0,95	–	–0,23	0,30	–	0,18
Мул	0–0,05	–0,94	–	–0,34	0,37	0,18	–0,22
	0,05–0,15	–0,94	–	–0,34	0,37	0,18	–0,22
	0,15–0,3	–0,94	–	–0,34	0,37	0,18	–0,23
	0,3–0,6	–0,94	–	–0,34	0,35	0,18	–0,23
	0,6–1	–0,95	–	–0,30	0,31	0,20	–0,24
	1–2	–0,95	–	–0,29	0,29	0,20	–0,24
	2–3	–0,96	–	–0,28	0,29	0,20	–0,23
Власне значення		28,49	6,29	2,78	2,47	1,69	1,05
% загальної варіації		65, 63	14,50	6,40	5,69	3,88	2,41

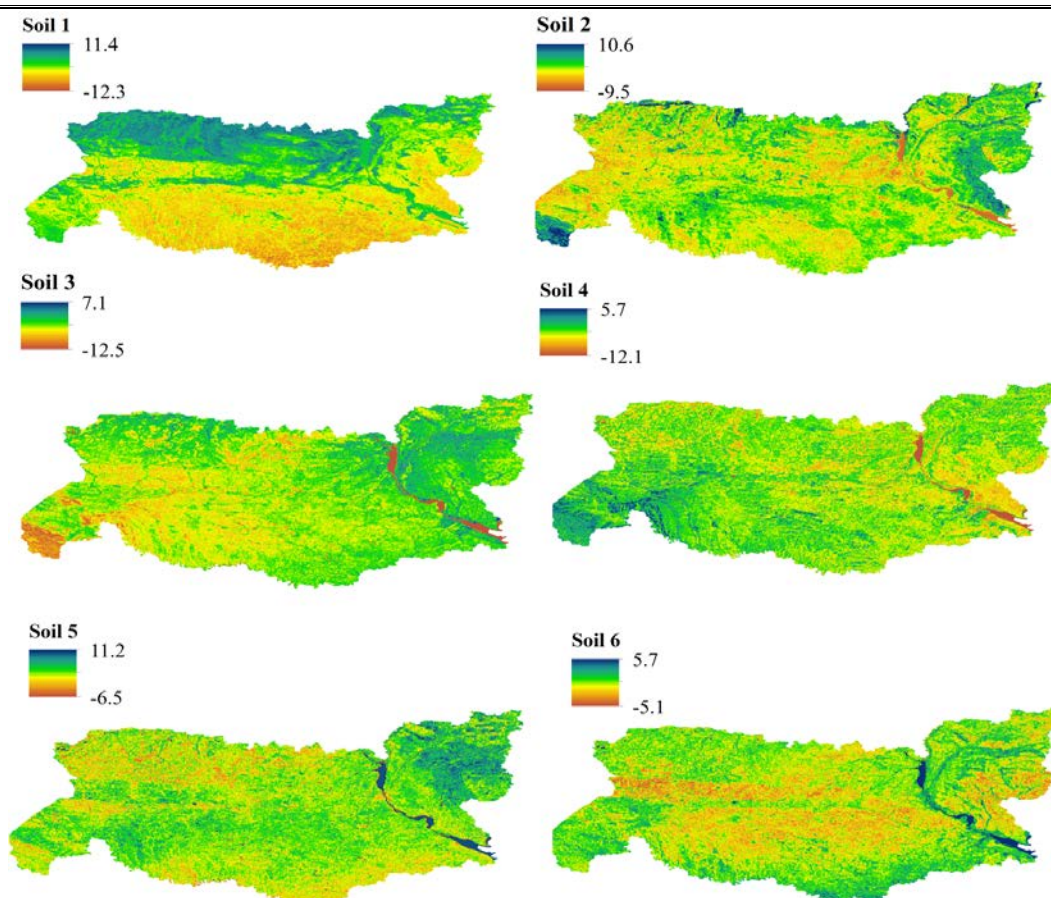


Рис. 2. Просторова варіабельність ґрунтових головних компонент 1–6

За результатами регресійного аналізу виявлено статистично значиму залежність ($p < 0,05$) між параметрами урожайності кукурудзи та виявленими ґрунтовими головними компонентами (PC1 – PC6) (табл. 2).

2. Регресійна залежність параметрів урожайності кукурудзи від ґрунтових змінних*

Предиктори (головні компоненти)	Кількісні характеристики тренду варіювання кукурудзи протягом періоду досліджень			
	Ухил (slope)	Нижня границя (Lower Limit)	Верхня границя (Upper Limit)	ED50
PC 1	–	$-0,58 \pm 0,08$	$-0,37 \pm 0,11$	$0,31 \pm 0,11$
PC 2	$0,15 \pm 0,06$	–	–	$-0,13 \pm 0,07$
PC 3	$0,34 \pm 0,07$	$-0,21 \pm 0,06$	$-0,24 \pm 0,08$	–
PC 4	$-0,21 \pm 0,10$	$-0,34 \pm 0,08$	–	$0,27 \pm 0,10$
PC 5	–	–	$-0,27 \pm 0,07$	–
PC 6	$-0,30 \pm 0,07$	$-0,20 \pm 0,06$	$-0,32 \pm 0,08$	–

Примітка: * – наведені стандартизовані регресійні коефіцієнти, статистично вірогідні для $p < 0,05$.

Встановлено, що ухил логарифмічної моделі динаміки урожайності кукурудзи найбільше залежить від запасу гумусу у ґрунті ($r = 0,34$, $p < 0,05$). Нижня й верхня границі врожайності кукурудзи негативно корелюють з умістом піску у ґрунті ($r = -0,58$ та $r = -0,37$ відповідно, $p < 0,05$). А час настання різкого зростання врожайності також найбільшою мірою залежить від гранулометричного складу ґрунту ($r = 0,31$, $p < 0,05$).

Було помічено, що модель просторового розподілу врожайності сільськогосподарських культур зазвичай корелює з просторовою схемою розподілу змінних властивостей ґрунту. Наприклад, у роботах бразильських учених було виявлено, що щільність ґрунту та водопроникність у шарі 0–0,1 м суттєво корелюють з урожайністю сої [16]. Є дослідження, де повідомляється про низькі коефіцієнти

кореляції між гранулометричним складом та врожайністю сої, лише 7,3 % урожайності пояснюють вмістом глини в поверхневому шарі ґрунту. Французькі вчені [5] спостерігали слабку просторову кореляцію між урожайністю пшениці та ґрунтовими властивостями.

Щодо впливу властивостей ґрунту на врожайність кукурудзи, то наші дослідження доповнюють висновки зарубіжних учених. У дослідженнях португальських учених [17] спостерігали позитивну кореляцію між урожайністю кукурудзи, ємністю обміну катіонів (cation exchange capacity – СЕС) та вмістом Ca^{2+} та K^+ у ґрунтах. Аналогічно Маларіно та ін. [11] відмічали кореляцію між хімічними властивостями ґрунту та врожайністю кукурудзи на п'яти полях кукурудзи в США. Крім того, Монтезано та ін. [12] спостерігали позитивну лінійну кореляцію між урожайністю кукурудзи та вмістом глини, органічних речовин та бору, тоді як урожайність кукурудзи негативно корелювала з умістом піску, міді, марганцю та цинку у ґрунтовому розчині. У наших дослідженнях також було виявлено, що основні показники урожайності кукурудзи найбільше корелюють з гранулометричним складом ґрунту, причому негативно корелюють з умістом піску. А потенційна швидкість росту врожайності найбільше залежить від вмісту гумусу.

Висновки

Для аналізу впливу ґрунтових факторів на урожайність кукурудзи ми використали такі показники: запаси гумусу, рН, щільність ґрунту, вміст піску, глини чи мулу для різних ґрунтових шарів. Аналіз головних компонент виділив 6 головних компонент, які пояснюють 98,5 % загальної дисперсії ґрунтових показників. Кожна з шести компонент проявляє найбільшу кореляцію з однією або декількома ґрунтовими змінними. Встановивши ці зв'язки, можемо визначити природу кожної головної компоненти, а також відмітити на карті території, які мають підвищену чутливість до кожної з головних компонент. За допомогою регресійного аналізу встановили взаємозв'язок між параметрами врожайності кукурудзи та ґрунтовими показниками. Встановлено, що ухил логарифмічної моделі, який визначає потенційну швидкість росту врожайності, найбільше залежить від запасу гумусу у ґрунті. Нижня й верхня границі врожайності кукурудзи негативно корелюють із вмістом піску у ґрунті. А час настання різкого зростання врожайності також найбільшою мірою залежить від гранулометричного складу ґрунту, причому до вмісту піску має позитивну кореляцію.

Перспективи подальших досліджень. У подальших дослідженнях планується з'ясувати вплив на урожайність кукурудзи кліматичних факторів, а також фактору ландшафтного різноманіття. Це дослідження є подальшим етапом до виявлення основних предикторів продукційного потенціалу території України.

References

1. Bondarev, A. G. & Medvedev, V. V. (1980). *Nekotoryie puti opredeleniya optimalnykh parametrov i agrofizicheskikh svoystv pochv. Teoreticheskie osnovy i metody opredeleniya optimalnykh parametrov svoystv*. Moskva: Nauka [In Russian].
2. Zymarioieva, A. A. (2019). Prostorovo-chasovi zakonomirnosti variivannia urozhainosti kukurudzy v Ukraini. *Scientific Horizons*, 2, 58–66 [In Ukrainian].
3. Andrews, S. S. & Carrol, C. R. (2001). Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystem management. *Ecol. Appl.*, 11 (6), 1573–1585. doi: 10.2307/3061079.
4. Ayoubi, S., Khormali, F., & Sahrawat, K. L. (2009). Relationships of barley biomass and grain yields to soil properties within a field in the arid region: Use of factor analysis. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Plant Soil Science*, 59 (2), 107–117. doi: 10.1080/09064710801932417.
5. Bourenane, H., Nicoulaud, B., Couturier, A. & King, D. (2004). Exploring the spatial relationships between some soil properties and wheat yields in two soil types. *Precision Agric.*, 5, 521–536. doi: 10.1007/s11119-004-5323-z.
6. Corwin, D. L., Lesch, S. M., Shouse, P. J., Soppe, R., & Ayars, J. E. (2003). Identifying Soil Properties that Influence Cotton Yield Using Soil Sampling Directed by Apparent Soil Electrical Conductivity. *Agronomy Journal*, 95 (2), 352–364. doi: 10.2134/agronj2003.3520.
7. Cox, M. S., Gerard, D. P., Wardlaw, M. C. & Abshire, M. J. (2003). Variability of selected soil properties and their relationships with soybean yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, 1296–1302.

8. Hengl, T., Mendes de Jesus, J., Heuvelink, G. B. M., Ruiperez Gonzalez, M., Kilibarda, M., Blagotić, A., Shangguan, W., Wright, M. N., Geng, X., Bauer-Marschallinger, B., Guevara, M. A., Vargas, R., MacMillan, R. A., Batjes, N. H., Leenaars, J. G. B., Ribeiro, E., Wheeler, I., Mantel, S. & Kempen, B. (2017). SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE*, 12 (2), e0169748. doi: 10.1371/journal.pone.0169748.
9. Juhos, K., Szabó, S. & Ladányi, M. (2015). Influence of soil properties on crop yield: a multivariate statistical approach. *Int. Agrophys.*, 29 (4), 433–440. doi: 10.1515/intag-2015-0049.
10. Kitamura, A. E.; Carvalho, M. D. P. E. & Lima, C. G. D. R. (2007). Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 31, 361–369.
11. Mallarino, A. P., Oyarzabal, E. S., & Hinz, P. N. (1999). Interpreting within-field relationships between crop yields and soil and plant variables using factor analysis. *Precision Agric.*, 1, 15–25.
12. Montezano, Z. F., Corazza, E. J., & Muraoka, T. (2006). Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 30 (5), 839–847. doi: 10.1590/s0100-06832006000500010.
13. Dag, O., Asar, O., & Ilk, O. (2014). A Methodology to Implement Box-Cox Transformation When No Covariate is Available. *Communications in Statistics – Simulation and Computation*, 43 (7), 1740–1759. doi: 10.1080/03610918.2012.744042.
14. Rezaei, S. A., Gilkes, R. J., & Andrews, S. S. (2006). A minimum data set for assessing soil quality in rangelands. *Geoderma*, 136 (1–2), 229–234. doi: 10.1016/j.geoderma.2006.03.021.
15. Rodrigues, M. S., Corá, J. E., & Fernandes, C. (2012). Spatial relationships between soil attributes and corn yield in no-tillage system. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 36 (2), 599–609. doi: 10.1590/s0100-06832012000200029.
16. Rosa Filho, G., Carvalho, M. de P. e, Andreotti, M., Montanari, R., Binotti, F. F. da S., & Gioia, M. T. (2009). Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférrico sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 33 (2), 283–293. doi: 10.1590/s0100-06832009000200006.
17. Silva, J. R. M. D., & Alexandre, C. (2005). Spatial Variability of Irrigated Corn Yield in Relation to Field Topography and Soil Chemical Characteristics. *Precision Agriculture*, 6 (5), 453–466. doi: 10.1007/s11119-005-3679-3.
18. Stenberg, B. (1998). Soil attributes as predictors of crop production under standardized conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 27 (1), 104–112. doi: 10.1007/s003740050407.
19. Sys, C., Van Rans, E., Debaveye, J. (1991). *Land evaluation. Part 1. Principles in land evaluation and crop production calculations. General Administration for Development Cooperation*. Brussels, Belgium: Agricultural Publication.
20. Zymaroieva, A., Zhukov, O., Fedonyuk, T., & Pinkin A. (2019). Application of geographically weighted principal components analysis based on soybean yield spatial variation for agro-ecological zoning of the territory. *Agronomy Research*, 17 (6), 2460–2473. doi: 10.15159/AR.19.208.

Стаття надійшла до редакції 28.11.2019 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Зимарова А. А., Писаренко П. В. Просторовий взаємозв'язок властивостей ґрунту та урожайності кукурудзи. *Вісник ПДАА*. 2019. № 4. С. 108–115.

© Зимарова Анастасія Анатоліївна, Писаренко Паво Вікторович, 2019