

УДК 631.316.4:631.172

**М.Г.Цибуля, наук. співр., М.П.Білоткач, канд.техн.наук**

*Національний науковий центр „Інститут механізації та електрифікації сільського господарства” (ННЦ“ІМЕСГ”)*

## Вплив рівномірності розподілу насіння кукурудзи по площі на її урожайність

Характерною ознакою цих досліджень являється застосування для оцінки рівномірності розподілу насіння по площі єдиного показника – коефіцієнта рівномірності розподілу, який дозволяє порівнювати різноманітні схеми посіву. Його значення розраховували за допомогою комп'ютерної програми. Об'єктами досліджень були посіви кукурудзи з міжряддями 35, 45, 55, 70 і 90 см та відстанями між рослинами в рядку 10, 15, 20 і 25 см. Проведено дисперсійний та регресійний аналіз експериментальних даних.

**рівномірності розподілу, коефіцієнт рівномірності розподілу, схема посіву, урожайність**

**Проблема.** Ступінь рівномірності або просто рівномірність просторового розподілу культурних рослин на полі впливає на величину та форму зони живлення окремих рослин і є важливим чинником їх вегетації, взаємодії з бур'янами та урожайності. На рівномірність розподілу впливає схема посіву та норма висіву. Багато публікацій присвячено вивченню впливу зони живлення на урожайність, але ці дослідження мали локальний характер, і порівняльний аналіз схем посіву не може бути виконаний, тому що для оцінки рівномірності не застосовувався єдиний показник, який би враховував як схему посіву, так і норму висіву. Тому виникає потреба в проведенні досліджень, результати яких дозволили б зробити оцінку впливу схем посіву і норм висіву на урожайність шляхом використання єдиного показника, що забезпечило б надалі можливість порівняльного аналізу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Роль просторового розподілу рослин залишається недостатньо вивченою. Інженери сільського господарства вивчали роботу посівних машин і результуючу схему розташування рослин, але більшість таких досліджень мали справу з рівномірністю розподілу насіння в рядку, а, отже, такі аналізи були одновимірними [1, 2, 3]. В цьому випадку використовувалось просте припущення, що більш рівномірний розподіл насіння в рядку обумовить і більш рівномірний двовимірний розподіл. Двовимірний просторовий аналіз проводився рідше [4, 5, 6]. Для такого аналізу використовувались різні показники, але при порівняльних оцінках вони вимагають застосування додаткових характеристик, що унеможливує однозначність такого порівняння. Тому для проведення дослідження було вибрано показник, коефіцієнт рівномірності, який запропонував і використовував В.А.Насонов [7]. Однак застосування цього коефіцієнта стримувалось відсутністю зручного апарата для його розрахунку. Це стало можливим після розробки спеціального програмного забезпечення [8]. Максимальне значення цього коефіцієнта рівне 0,967 у випадку застосування шахової чи гексагональної схеми. Цей показник дозволяє оцінювати різні схеми посіву, акумулюючи їх параметри, і не потребує застосування додаткових характеристик. З метою проведення досліджень в напрямі вивчення залежності урожайності сільськогосподарських культур від рівномірності розподілу насіння по площі була вибрана кукурудза. Вирощування кукурудзи передбачає застосування

рядкових сівалок, які забезпечують точне розташування насіння в рядку. Оскільки насінини суміжних рядків можуть зміщуватись одне відносно одного, то в ідеальному випадку вони будуть розташовані на вершинах квадрата чи ромба (якщо ширина міжрядь рівна відстані між насінинами в рядку), а в інших випадках – на вершинах прямокутника чи паралелограма.

**Мета досліджень.** Дослідити вплив рівномірності розподілу насіння кукурудзи по площі на урожайність кукурудзи на зерно.

**Результати досліджень.** Для реалізації потрібних схем посіву кукурудзи у виробничих умовах підготовлено експериментальний зразок сівалки УПС-8. Цей зразок забезпечує регулювання ширини міжрядь у діапазоні 35-90 см. Експеримент проводився на дослідних ділянках (сумарна площа 1,5 га), на яких було посіяно кукурудзу за схемами, які наведені в табл. 1. Глибина заробки насіння складала 8 см. Для кожної схеми посіву обчислено коефіцієнт рівномірності та норму висіву. Результати обчислень наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Схеми посіву кукурудзи, коефіцієнт рівномірності та норма висіву

Відстань між рослинами в рядку, см	Ширина міжрядь, см				
	35	45	55	70	90
	Коефіцієнт рівномірності та норма висіву (тис. шт./га)*				
10	$\frac{0,6251}{285,7}$	$\frac{0,5551}{222,2}$	$\frac{0,5258}{181,8}$	$\frac{0,4726}{142,9}$	$\frac{0,4340}{111,1}$
15	$\frac{0,7145}{190,5}$	$\frac{0,6585}{148,1}$	$\frac{0,6142}{121,2}$	$\frac{0,5588}{95,2}$	$\frac{0,5046}{74,1}$
20	$\frac{0,8017}{142,9}$	$\frac{0,7293}{111,1}$	$\frac{0,6807}{90,9}$	$\frac{0,6234}{71,4}$	$\frac{0,5618}{55,6}$
25	$\frac{0,8704}{114,3}$	$\frac{0,7948}{88,9}$	$\frac{0,7391}{72,7}$	$\frac{0,6775}{57,1}$	$\frac{0,6139}{44,4}$

\* Чисельник – коефіцієнт рівномірності  
Знаменник – норма висіву

Посів та взяття проб на урожайність виконували у відповідності зі стандартом [9]. Проби на урожайність брали з площі в 1 м<sup>2</sup> по довжині рядка у трикратній повторності. Для усіх наведених комбінацій (табл.1) значень ширини міжряддя і відстані між насінинами в рядку (або схем посіву) було обчислено значення коефіцієнта рівномірності. Для цього було використано комп'ютерну програму [8]. З технічних причин квадратну та гексагональну схеми посіву реалізувати не вдалося. Для кожної схеми посіву було визначено урожайність у трикратній повторності. Отримані експериментальні дані обробляли за допомогою методів математичної статистики [10,11].

Однофакторний дисперсійний аналіз було застосовано з метою перевірки нульової гіпотези, згідно якої середні значення урожайності для кожної схеми посіву не розходяться. Результати обчислень наведені в табл. 2. Проводячи перевірку нульової гіпотези за допомогою *F*-розподілу, отримуємо  $F=2,206$ . З 19 ступенями свободи для більшої дисперсії і 40 ступенями свободи для меншої дисперсії по таблиці знаходимо значення 1,85 (5%-ий рівень значущості). Отримане з досліджень значення *F* перевищує його табличне критичне значення, а, отже, нульова гіпотеза повинна бути відкинута. Таким чином, результати обробки наявного матеріалу показують, що рівномірність розподілу насіння по площі має суттєвий вплив на урожайність.

Таблиця 2 – Дисперсійний аналіз систематичних помилок

Компонента дисперсії	Сума квадратів	Число ступенів свободи	Середній квадрат
Між схемами посіву	59,18	19	3,11
Всередині схем посіву	56,46	40	1,41
Повна	115,64	59	1,96

Норма висіву певною мірою впливає на коефіцієнт рівномірності та навпаки, оскільки на норму висіву впливає схема посіву та загущеність рослин в рядку. Із збільшенням норми висіву за однакової схеми посіву коефіцієнт рівномірності зменшується, і навпаки. Це пояснюється тим, що за однакового міжряддя норму висіву можна збільшити тільки шляхом загущення насіння в рядках, що спричинює зменшення значення коефіцієнта рівномірності. Якщо ж при збільшенні норми висіву насіння в рядку не загущувати, то потрібно звужувати рядки, тобто міняти схему посіву. Це веде до зростання коефіцієнта рівномірності, але він буде оцінювати вже іншу схему посіву. За гексагональної чи квадратної схеми посіву коефіцієнт рівномірності не залежить від норми висіву. У цьому випадку урожайність культури на одиниці площі (га) залежить від кількості рослин та їх індивідуальної продуктивності. Але за однакової норми висіву гексагональна чи квадратна схеми посіву мають найбільші коефіцієнти рівномірності. Рослини за таких схем мають однакові зони живлення, що може обумовити підвищення урожайності.

При проведенні даних експериментальних досліджень значення норми висіву коливалось в діапазоні 44,4 – 285,7 тис. шт. на 1 га (відповідно розмір зони живлення рослин знаходився в діапазоні 350 – 2250 см<sup>2</sup>). Побудований графік залежності загальної урожайності від норми висіву показує, що отримане рівняння є статистично не значущим (рис.1). Коефіцієнт детермінації рівний 0,024. Такий результат можна пояснити прихованим впливом на урожайність рівномірності розподілу насіння по площі (форми зони живлення чи схем посіву), а також тим, що зі зменшенням розміру зони живлення продуктивність окремих рослин зменшується, але завдяки збільшенню загальної кількості рослин відбувається компенсація цього зменшення і навпаки. З цієї причини загальна урожайність залишається статистично постійною (для отримання максимального значення коефіцієнта детермінації застосовано рівняння поліному шостого степеня). Отже, такий графік не забезпечує вибору раціональної норми висіву. На рис. 1 стрілками показано точки двох дослідів за однакової норми висіву (142,9 тис. шт. на 1 га). Точки над кривою лінією відповідають схемі посіву з коефіцієнтом рівномірності 0,8017 (ширина міжрядь 35 см, відстань між насіннями у рядку 20 см, середня урожайність 108 ц/га), а точки під кривою лінією – схемі посіву з коефіцієнтом рівномірності 0,4726 (ширина міжрядь – 70 см, відстань між насіннями у рядку – 10 см, середня урожайність 78 ц/га). Таким чином, виникає потреба у вивченні залежності урожайності від рівномірності розподілу насіння по площі.

Для отримання математичної залежності урожайності від коефіцієнта рівномірності проведено однофакторний регресійний аналіз наявних експериментальних даних. Ці дані оброблено за допомогою комп'ютерної програми DataFit 8.0.32. В результаті отримано рівняння регресії:

$$Y = 39,16 + 83,47 M,$$

де  $Y$  – урожайність кукурудзи на зерно, ц/га;

$M$  – коефіцієнт рівномірності розподілу насіння по площі.

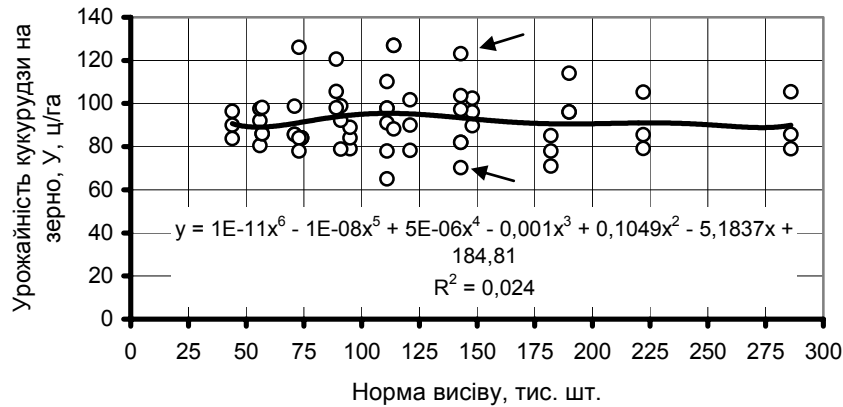


Рисунок 1 – Рівняння залежності урожайності кукурудзи на зерно від норми висіву (тис. шт. на 1 га)

Побудова нормального графіку для залишків показала, що через всю множину експериментальних точок, нанесених на цей графік, можна провести пряму лінію. Отже, дана вибірка дійсно належить нормальному розподілу. Розклавши залишкову суму квадратів на суму квадратів чистих помилок та суму квадратів неадекватності і застосувавши F-критерій для неадекватності, приходимо до висновку, що цей критерій незначимий. Проведений аналіз отриманих статистичних даних підтверджує значущість коефіцієнтів регресії (по t-критерію) та рівняння регресії (по F-критерію), яке описує залежність урожайності кукурудзи на зерно від рівномірності розподілу насіння по площі, що в даному випадку оцінюється єдиним показником. Так, отримане значення  $F=47,98$ . Якщо ми подивимося відсоткові точки  $F(1;58)$ –розподілу, то побачимо, що 95%-а точка  $F(1; 58; 0,95)=4,01$ , а 99%-а точка  $F(1; 58; 0,99)=7,1$ . Оскільки розрахункове значення F перевищує критичні значення з таблиці, то ми відкидаємо нульову гіпотезу. Отже, немає підстав вважати дану модель такою, яка неадекватна наявним даним.

В регресійних дослідженнях припускають, що помилки спостережень попарно некорельовані. Помилки, як правило, можуть проявити серіальну кореляцію, тобто таку кореляцію, де залежність між помилками, які віддалені одна від одної на  $s$  кроків, не змінюється. Для виявлення серіальної кореляції широко застосовують критерій Durbin-Watson. Застосовуючи регресійний аналіз, припускають що помилки  $\varepsilon_i$  – незалежні випадкові величини з розподілом  $N(0, \sigma^2)$ , тобто, що всі серіальні кореляції  $\rho_s=0$ . За допомогою критерія Durbin-Watson можна перевірити нуль-гіпотезу  $H_0$  про те, що всі  $\rho_s=0$  проти альтернативи  $H_1: \rho_s=\rho^s$  ( $\rho \neq 0$  і  $|\rho| < 1$ ). Для перевірки  $H_0$  проти альтернативи  $H_1$  знаходимо набір залишків. Після цього обчислюємо критерій ( $d=2,31$ ). Маємо кількість предикторів  $k=1$  та кількість спостережень – 60. Перевіримо двостороннім критерієм з рівними хвостами гіпотезу  $H_0: \rho=0$  проти двосторонніх альтернатив  $\rho \neq 0$ . Для цього порівнюємо значення  $d=2,31$  і  $4-d=1,69$  з табличними значеннями  $d_L$  і  $d_U$ . [10]. Для  $\alpha=0,01$  при  $k=1$  і  $n=20$  знаходимо:  $d=2,31 > d_U=1,45$  і  $4-d=1,69 > d_U=1,45$ . Отже,  $d$  незначуще і гіпотеза  $H_0$  на рівні  $2\alpha=0,02$  не відкидається, а серійної кореляції в отриманих експериментальних даних немає і підібрана модель не потребує перегляду.

Коефіцієнт детермінації рівний 0,458. Таким чином, отримане рівняння регресії пояснює загальний розкид на 45,8%. На рис.1 показано отримані експериментальні точки, пряма лінія рівняння регресії та 95%-і довірчі криві для „істинного” середнього значення урожайності.

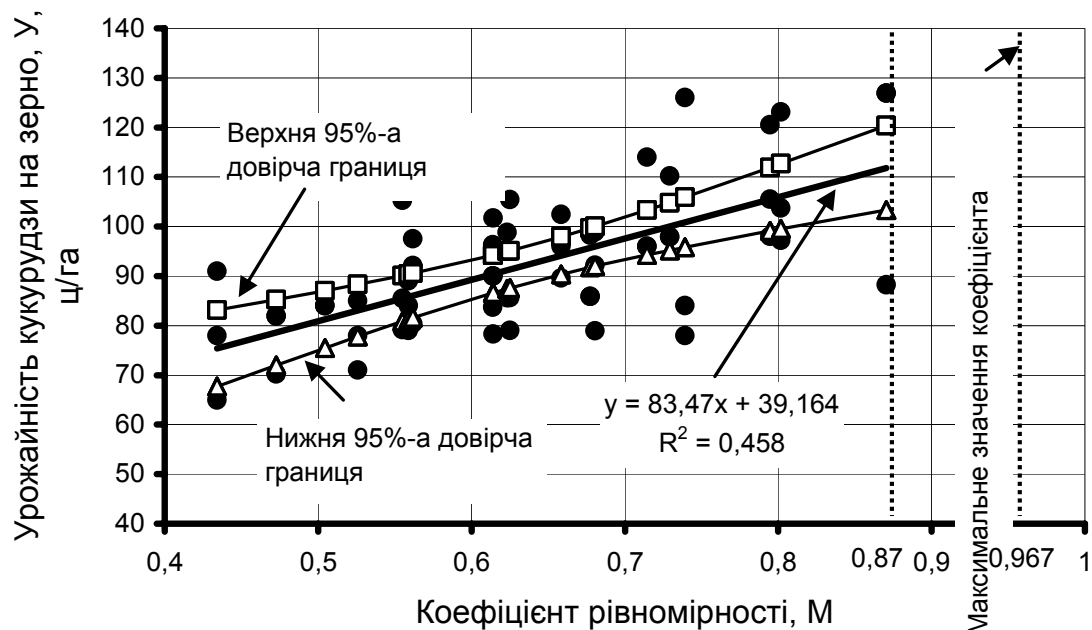


Рисунок 2 – Рівняння залежності урожайності кукурудзи від рівномірності розподілу насіння по площі з довірчими границями (95%)

Максимальне середнє значення загальної урожайності (114 ц/га) за експериментальними даними отримано для максимального коефіцієнта рівномірності 0,8704 (норма висіву – 114,3 тис.шт. насінин на 1 га або площа живлення окремої рослини – 875 см<sup>2</sup>). Цей коефіцієнт рівномірності отримано при сівбі з міжряддям 35 см та відстанню між насінинами в рядку 25 см. Довірчі криві на рис.1 показують, що у випадку повторення експериментів за цих умов нове середнє значення урожайності з ймовірністю 95% буде знаходитись в межах 103 – 120 ц/га.

З метою виключення впливу норми висіву на урожайність також проведено вибірку даних з отриманих експериментальних значень за умови приблизно однакової норми висіву. У вибірку ввійшли чотири варіанти сівби (норма висіву 111,1; 121,2; 111,1 та 114,3 тис. шт. на 1 га, а площа живлення складає відповідно 900, 825, 900 та 875 см<sup>2</sup> на одну рослину). Результати обчислень для даної вибірки наведені на рис.3.

Отримане значущє рівняння регресії (дані оброблено за допомогою комп'ютерної програми DataFit 8.0.32) пояснює загальний розкид приблизно на 55,4%. Більший коефіцієнт детермінації отримано в результаті того, що остання вибірка є невеликою часткою загальної вибірки, а тому можливі локальні відхилення. Отже дані досліджень показують, що пошук раціональної норми висіву доцільно здійснювати з урахуванням коефіцієнта рівномірності. Так, ще один приклад з отриманих даних показує, що за однакової норми висіву (111,1 шт./га, площа живлення складає 900 см<sup>2</sup>) маємо середню урожайність 77,8 ц/га (ширина міжрядь 90 см, відстань між насінинами у рядку 10 см, коефіцієнт рівномірності 0,434) і 102 ц/га (ширина міжрядь 45 см, відстань між насінинами у рядку 20 см, коефіцієнт рівномірності 0,7293).

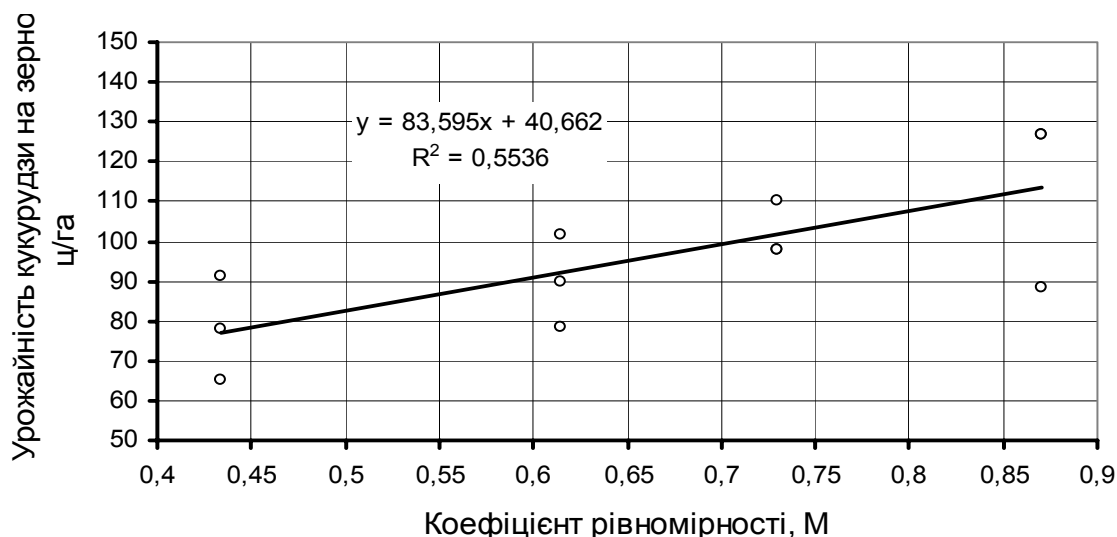


Рисунок 3 – Залежність урожайності кукурудзи від рівномірності розподілу насіння по площі за умови невеликих коливань норми висіву (відповідно 111,1, 121,2, 111,1 та 114,3 тис. шт. на 1 га)

**Висновки.** 1. Обробка отриманих статистичних експериментальних даних показала, що вплив рівномірності розподілу насіння кукурудзи по площі (оцінюється коефіцієнтом рівномірності) на її урожайність можна описати лінійним рівнянням регресії (загальний розкид пояснюється на 45,8%). Максимальна середня урожайність кукурудзи на зерно (114 ц/га) отримана за найбільшого значення коефіцієнта рівномірності 0,8704 (ширина міжрядь 35 см, відстань між насіннями у рядку 25 см, норма висіву 114285 тис.шт. насінин на 1 га).

2. Пошук раціональної норми висіву доцільно проводити з урахуванням коефіцієнта рівномірності розподілу насіння по площі, який враховує як ширину міжрядь, так і відстань між насіннями в рядку, що робить також можливим проведення протягом пошуку порівняльних аналізів.

3. Обчислене за отриманими експериментальними даними лінійне рівняння регресії з довірчими кривими в певній мірі дає можливість оцінювати доцільність вибору коефіцієнта рівномірності (а, отже, і схеми посіву та норми висіву кукурудзи на зерно) та застосування чи розробки відповідної посівної машини.

4. Характер лінії регресії показує, що подальше зростання значення коефіцієнта рівномірності (у випадку застосування квадратної та гексагональної схем посіву) може обумовити збільшення урожайності, але ступінь та характер цього зростання залишається не вивченим через відсутність порівняльних експериментальних даних по урожайності у виробничих умовах для таких схем посіву (немає відповідних засобів механізації).

## Список літератури

1. Panning J. W. Laboratory and field testing of seed spacing uniformity for sugar beet planters/ Panning J. W., Kocher M. F., Smith J. A., Kachman S. D.// Applied Engineering in Agriculture.- 2000.-VOL.16(1):- P. 7-13.
2. Bullock D. G. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing/ Bullock D. G., Nielsen R. L., Nyquist W. E.// Crop Science.-1988.- 28.-P. 254-258.
3. Wilkins D. E. Influence of plant spacing on pea yield/ Wilkins D. E., Kraft J. M., Klepper B. L. // Transactions of the ASAE.-1991.- Vol.34(5).-P. 1957-1961.
4. Heege H. J. Sowing methods performance for cereals, rape, and beans// Transactions of the ASAE.- 1993.- 36(3).-P. 653-661.

5. Speelman L. The seed distribution in band sowing of cereals// Journal of Agricultural Engineering Research.-1975.-P. 20: 25-37
6. Hühn M. Estimating yield depression caused by nonuniformity of spatial plant patterns// Crop Science.- 1999.- 43.-P. 421-425.
7. Хоменко М.С. Механизация посева зерновых культур и трав/ Хоменко М.С., Зырянов В.А., Насонов В.А.-К.: Урожай, 1989.-168 с.
8. Tsybulya M. G. Estimation of seed distribution uniformity over an area//Die Bodenkultur. Austrian Journal of Agricultural Research.-2002. -53.Band/Heft 1/Juli.- P. 3-7.
9. Випробування сільськогосподарських машин. Посівні машини. Програми і методи випробувань: РД 10.5.1-91.
10. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ/ Дрейпер Н., Смит Г. -Кн. 1.- М.: Финансы и статистика, 1986.-366 с.
11. Смирнов Н.В. Краткий курс математической статистики для технических приложений/ Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. -М.: Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1959.-436 с.

*М. Цыбуля, М. Белоткач*

**Влияние равномерности распределения семян кукурузы по площади на ее урожайность**

Характерной чертой этих исследований является применение для оценки равномерности распределения семян по площади единого показателя – коэффициента равномерности, который позволяет сравнивать любые схемы посева. Его значения рассчитывали при помощи компьютерной программы. Объектами исследования были посевы кукурузы с междурядьями 35, 45, 55, 70 и 90 см и расстояниями между семенами в рядке 10, 15, 20 и 25 см. Проведены дисперсионный и регрессионный анализы экспериментальных данных.

*М. Tsybulya, M. Bilotkach*

**Influence of maize seed distribution uniformity over an area on its yield**

The distribution uniformity was estimated with the coefficient of distribution uniformity, which allows comparing any sowing schemes. Its values were calculated with the help of a computer program. Subjects of inquiry were corn sown areas with the row spacing of 35, 45, 55, 70, 90 cm and distances between seeds within the row of 10, 15, 20, and 25 cm. Variance and regression analyses of the obtained experimental data was carried out.

Одержано 10.11.09