

На правах рукописи

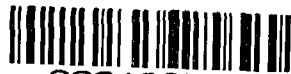
СКЛЯРОВА
Марина Александровна

**ДИАГНОСТИКА И ОПТИМИЗАЦИЯ
ЦИНКОВОГО ПИТАНИЯ КУКУРУЗЫ
НА ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНОЙ ПОЧВЕ
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

06.01.04 – Агрохимия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Омск 2008



003 169584

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Омский государственный аграрный университет»

Научный руководитель – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ Ермохин Юрий Иванович

Официальные оппоненты доктор сельскохозяйственных наук, доцент Пробрж Эдуард Станиславович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент Синдирева Анна Владимировна

Ведущая организация – Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тюменская государственная сельскохозяйственная академия»

Защита диссертации состоится 20 июня 2008 г в 9 часов на заседании диссертационного совета ДМ 220 050 01 при Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Омский государственный аграрный университет» по адресу 644008, Омск-8, Институтская площадь, 2

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Омский государственный аграрный университет»

Автореферат разослан 24 апреля 2008 г

Ученый секретарь
диссертационного совета



В П Пьянов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Обычно кукурузу выращивают только на силос, в то время как мировой опыт убеждает в целесообразности использования на корм зерна кукурузы (в 1 кг сухого зерна – 1,34 корм ед). Кроме того, зерно кукурузы широко используется в пищевой промышленности (мука, крупа, крахмал, кондитерские изделия), кукурузное масло – ценный диетический продукт, хорошо известны лечебные свойства кукурузы (Н.Н. Иванов, 1974, В.С. Ильин, 1995, В.В. Хохлачев, 1989, В.С. Циков, 1989). Поэтому повышение продуктивности данной культуры является актуальной задачей, в решении которой важное место принадлежит применению удобрений. Наряду с применением минеральных удобрений, содержащих азот, фосфор и калий, требуется применение микроудобрений, и в первую очередь цинковых (Г.Л. Мокриевич, 1972, Э.Д. Орлова, 1989, А.Ф. Цырк, 2001). По данным ФГУ ЦАС «Омский», на основании проведенных обследований почв черноземного ряда, в первом минимуме находится цинк (В.М. Красницкий, 2001; Ю.И. Ермохин, 2005).

Многолетние исследования кафедры агрохимии Омского государственного аграрного университета показали, что при создании оптимального питания кукурузы по азоту и фосфору (калия достаточно для создания урожая 9–10 т/га) она как растение-индикатор цинкового питания на черноземных почвах Западной Сибири испытывает потребность в цинке. Цинк в данном случае исследуется как микроэлемент, необходимый для нормального развития растений.

Цель исследований – разработать оптимальное и сбалансированное питание кукурузы цинком с учетом содержания и соотношения основных макроэлементов в почве и растениях.

Задачи исследований:

- установить оптимальные дозы цинковых удобрений с учетом содержания основных элементов питания (NР) в почве,
- выявить действие цинковых удобрений, применяемых различными способами, на урожай и качество раннеспелых гибридов кукурузы,
- установить взаимосвязь между химическим составом почвы, растений кукурузы, дозами применяемых удобрений, величиной и качеством урожая,
- установить для кукурузы оптимальные уровни и соотношения основных элементов питания и цинка в почве и растениях для диагностирования потребности ее в удобрениях,
- установить нормативные количественные показатели выноса основных макроэлементов питания и цинка урожаем, коэффициенты их использования из почвы и удобрений и интенсивность действия единицы цинковых удобрений на химический состав почвы и растений,
- дать оценку экономической и биоэнергетической эффективности применения цинка под кукурузу при сбалансированном азотно-фосфорном питании на основе почвенно-растительной диагностики.

Научная новизна исследований. На основании полевых опытов и лабораторных исследований выявлены математические зависимости действия цинковых удобрений, применяемых на оптимальном азотно-фосфорном фоне, на концентрацию и соотношение основных макроэлементов и цинка в почве и растениях кукурузы, на основе которых предложены нормативные агрохимические и физиологические характеристики, позволяющие оптимизировать цинковое питание кукурузы, выращиваемой на зерно, с учетом принципов почвенно-растительной оперативной диагностики («ПРОД»). Определены оптимальные уровни содержания и соотношения основных макроэлементов и цинка в почве и растениях раннеспелых гибридов кукурузы по фазам развития. Установлены коэффициенты использования цинка из почвы и удобрений и интенсивности действия единицы цинковых удобрений на химический состав почвы и растений.

Основные положения, выносимые на защиту:

- влияние цинковых удобрений на урожайность и качество зерна раннеспелых гибридов кукурузы,
- модели питания и прогнозирования продуктивности раннеспелых гибридов кукурузы,
- количественные параметры содержания, расхода и выноса элементов питания раннеспелыми гибридами кукурузы

Практическая значимость и реализация результатов исследований. Выявленные закономерности в системе «почва – цинковое удобрение – растение» дают возможность оптимизировать поступление основных макроэлементов и микроэлемента цинка в растения, создавая сбалансированное питание с помощью использования разработанных нормативных параметров системы почвенно-растительной оперативной диагностики, и тем самым управлять процессом формирования величины и качества урожая зерна кукурузы. Это позволяет создать гибкую систему удобрения кукурузы на зерно, повысить окупаемость удобрений урожаем и снизить затраты на удобрения.

Результаты исследований прошли производственную проверку в Сибирском филиале ВНИИ кукурузы (г. Омск) на площади 3 га и обеспечили получение прибавки урожая зерна 1,7 т/га, что позволило получить 7440 руб./га чистого дохода.

Апробация работы. Основные материалы диссертации были представлены докладами и обсуждены на научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов ФГОУ ВПО «Омский государственный аграрный университет» в 2006–2008 гг. и опубликованы в шести печатных работах общим объемом 1,69 п.л., в том числе три работы опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 175 страницах печатного текста и состоит из введения, 6 глав, выводов, рекомендаций производству, содержит 27 таблиц, 18 рисунков, 11 приложений. Библиографический список включает 176 источников, в том числе 12 работ зарубежных авторов.

ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами служили: раннеспелые гибриды кукурузы Омка 130 и Омка 150, почва, макро- и микроудобрения, связанные в едином комплексе агротехнических мероприятий и метеорологических условий.

Исследования проводили в 2005–2007 гг на опытных полях Сибирского филиала ВНИИ кукурузы, на лугово-черноземной среднесуглинистой среднетяжелой среднесуглинистой почве В среднем по годам исследований в 30-сантиметровом слое почвы опытных участков содержалось N-NO₃ – 44,6, P₂O₅ – 50, K₂O – 96,4 мг/кг (2%-ная уксусная кислота), Zn – 0,6 мг/кг (ацетатно-аммонийный буфер с pH 4,8) Климат района исследований континентальный По метеорологическим условиям 2005-2006 гг были благоприятными, 2007 г – удовлетворительным для роста и развития растений.

Для получения экспериментального материала о внесенных в почву макро- и микроудобрениях и количественных взаимосвязях между внесенными элементами в почве и растениях, опыты проводились по следующим схемам

Опыт № 1. Основное внесение цинковых удобрений

- 1 P₃₀ (фон 1), 2 P₃₀ + Zn₆, 3 P₃₀ + Zn₁₂, 4 P₃₀ + Zn₁₈, 5 P₆₀ (фон 2),
- 6 P₆₀ + Zn₆, 7 P₆₀ + Zn₁₂, 8 P₆₀ + Zn₁₈, 9 NP (расчетная доза, фон 3),
- 10 NP + Zn₆, 11 NP + Zn₁₂, 12 NP + Zn₁₈, 13 NP + Zn₂₄

Опыт № 2. Допосевная обработка семян кукурузы цинковыми солями

- 1 NP (расчетная доза, фон), 2 NP + 40 г Zn /ц семян (опудривание семян),
- 3 NP + 80 г Zn /ц семян (опудривание семян)

Опыт № 3. Некорневые подкормки кукурузы цинком

- 1 NP (расчетная доза, фон), 2 NP + 0,05% раствор Zn (250 л/га),
- 3 NP + 0,1% раствор Zn (250 л/га)

Площадь делянки – 19,6 м² (2,8×7 м) Повторность вариантов в опыте трехкратная, расположение повторностей в один ярус, вариантов – систематическое Формы удобрений – аммиачная селитра (N – 34%), суперфосфат двойной (P₂O₅ – 46%), уксуснокислый цинк (Zn – 35,5%) Норма высева семян 12–13,7 кг/га Посев кукурузы производили 18–25 мая, широкоярусным способом (70×35 см) ручной сеялкой Агротехника – общепринятая для зоны осенью основная обработка – зяблевая вспашка плугом ПН-4-35 на глубину 20–22 см, ранневесеннее боронование зубowymi боронами в два следа при достижении почвой состояния физической спелости и предпосевной культивации КПС-4 на глубину заделки семян. Удобрения вносили по всходам в рядки на глубину 8–10 см, с двух сторон от растений на расстоянии 10 см Семена кукурузы опудривали до посева дозами цинка 40 и 80 г/ц Некорневую подкормку (опрыскивание) растений кукурузы проводили в фазу 4–6 листьев 0,05 и 0,1%-ными растворами цинка из расчета 250 л/га

Учеты и наблюдения за ростом и развитием растений, отбор растительных образцов были приурочены к фазам развития (8–10 листьев, цветение початка, молочно-восковая спелость) и уборке кукурузы (восковая спелость)

Почву до посева и после уборки отбирали буром Гигроскопическую влагу в почве определяли методом высушивания в сушильном шкафу при температуре $105 \pm 2^\circ\text{C}$ (ГОСТ 28268-89) и в растениях (ГОСТ 27548-97) В почвенных и в свежих растительных образцах нитратный азот (N_n), подвижный фосфор (P_d), обменный калий в почве и свободный в растениях (K_c) определяли общепринятыми методами в 2%-ной CH_3COOH вытяжке (по методу Ю И Ермохина, 1995)

Валовое содержание азота, фосфора и калия в растениях кукурузы определяли после мокрого озоления навески по Гинзбург и Щегловой в смеси кислот ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HClO}_4$) В полученном растворе общий азот определяли фотоколориметрическим методом с использованием реакции индофенольной зелени (ГОСТ 13496 4–93), фосфор – фотоколориметрическим методом (ГОСТ 26657–97), калий – на пламенном фотометре (ГОСТ 30504–97)

Определение содержания цинка в целом растении, листьях и зерне, а также в почве проводили атомно-абсорбционным методом (ГОСТ 30178–96, ГОСТ Р 50686–94) в ФГУ ЦАС «Омский»

Уборку опыта и учет урожая проводили методом прямого поделяночно-го взвешивания По окончании исследований опытные данные подвергали статистической обработке Урожайность зерна кукурузы приведена к стандартной влажности (14%)

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диагностика потребности кукурузы в удобрениях на основе полевого опыта

Проведенные в 2005–2007 годах полевые опыты по изучению эффективности макро- и микроудобрений (цинковых) под раннеспелые гибриды кукурузы на лугово-черноземной почве позволяют сделать вывод о высокой отзывчивости кукурузы на применение данных удобрений (табл 1)

В среднем за годы исследований (полевой опыт № 1) урожайность зерна кукурузы на фосфорных фонах (P_{30} и P_{60}) при уборке в фазу восковой спелости составила 5,2–6,0 т/га (гибрид Омка 130) и 6,9–7,2 т/га (гибрид Омка 150) Возрастающие дозы цинковых удобрений положительно повлияли на продуктивность кукурузы, прибавки урожая зерна получены достоверные на всех вариантах. Максимальная урожайность в опытах (8,5 т/га у Омки 130 и 10,1 т/га у Омки 150) отмечена при использовании 18 кг/га цинка в основное внесение на оптимальном азотно-фосфорном фоне Под действием цинка урожайность гибрида кукурузы Омка 130 увеличилась на 2,6 т/га (44,1%), а урожайность Омки 150 на 2,9 т/га (40,3%) Следовательно, высокий эффект от внесения цинка наблюдается при хорошей обеспеченности растений азотом и фосфором путем внесения удобрений

При опудривании семян гибридов Омка 130 и Омка 150 дозой 40 г/ц получена урожайность зерна 7,5 т/га (прибавка 31,6%) и 8,5 т/га (прибавка 18,1%) соответственно (полевой опыт № 2) Увеличение дозы опудривания семян до 80 г/ц не имело преимуществ в повышении урожайности зерна

Отзывчивость гибридов кукурузы на опрыскивание вегетирующих растений в фазу 4–6 листьев 0,05 и 0,1%-ными растворами цинка, из расчета 250 л/га, было одинаково положительным (полевой опыт № 3) Получены достоверные прибавки урожайности зерна при опрыскивании растений солями цинка обеих концентраций, однако, преимущества эффективности концентрации 0,1% по сравнению с 0,05% не наблюдалось

Таблица 1

**Урожайность зерна раннеспелых гибридов кукурузы
(в среднем за 2005–2007 гг.)**

| Вариант опыта | Омка 130 | | | Омка 150 | | |
|--|-------------------|----------|------|-------------------|----------|------|
| | Урожайность, т/га | Прибавка | | Урожайность, т/га | Прибавка | |
| | | т/га | % | | т/га | % |
| Полевой опыт № 1 (основное внесение) | | | | | | |
| P ₃₀ | 5,2 | – | – | 7,2 | – | – |
| P ₃₀ +Zn ₆ | 6,1 | 0,9 | 17,3 | 7,9 | 0,7 | 9,7 |
| P ₃₀ +Zn ₁₂ | 6,4 | 1,2 | 23,1 | 8,3 | 1,1 | 15,3 |
| P ₃₀ +Zn ₁₈ | 6,7 | 1,5 | 28,8 | 8,6 | 1,4 | 19,4 |
| P ₆₀ | 6,0 | – | – | 6,9 | – | – |
| P ₆₀ + Zn ₆ | 7,1 | 1,1 | 18,3 | 7,7 | 0,8 | 11,6 |
| P ₆₀ + Zn ₁₂ | 7,5 | 1,5 | 25,0 | 8,2 | 1,3 | 18,8 |
| P ₆₀ + Zn ₁₈ | 7,6 | 1,6 | 26,7 | 8,8 | 1,9 | 27,5 |
| NP* | 5,9 | – | – | 7,2 | – | – |
| NP+ Zn ₆ NP+ | 6,7 | 0,8 | 13,6 | 8,1 | 0,9 | 12,5 |
| Zn ₁₂ | 7,7 | 1,8 | 30,5 | 8,9 | 1,7 | 23,6 |
| NP+ Zn ₁₈ | 8,5 | 2,6 | 44,1 | 10,1 | 2,9 | 40,3 |
| HCP ₀₅ | 0,53 | | | 0,70 | | |
| Полевой опыт № 2 (опудривание семян) | | | | | | |
| NP* | 5,7 | – | – | 7,2 | – | – |
| NP+40г/ц Zn | 7,5 | 1,8 | 31,6 | 8,5 | 1,3 | 18,1 |
| NP+80г/ц Zn | 7,4 | 1,7 | 29,8 | 8,1 | 0,9 | 12,5 |
| HCP ₀₅ | 0,67 | | | 0,75 | | |
| Полевой опыт № 3 (опрыскивание растений) | | | | | | |
| NP* | 6,0 | – | – | 6,9 | – | – |
| NP+0,05%рZn | 7,3 | 1,3 | 21,7 | 7,9 | 1,0 | 14,4 |
| NP+0,1%р Zn | 7,3 | 1,3 | 21,7 | 7,5 | 0,4 | 8,7 |
| HCP ₀₅ | 0,96 | | | 0,45 | | |

Примечание NP* – оптимальная расчетная доза удобрений с учетом содержания элементов в почве В 2005 г – N₃₃P₄₆, в 2006 г – N₁₅P₃₉, в 2007 г – N₂₁P₂₀

Как показали данные полевых опытов № 1-3, кукуруза хорошо реагирует на цинковые удобрения, применяемые различными способами. Об этом свидетельствуют и установленная высокая функциональная зависимость урожайности зерна кукурузы (Y_1 – Омка 130, Y_2 – Омка 150, т/га) от доз цинковых удобрений, внесенных в почву (X , кг д в /га) на оптимальном азотно-фосфорном фоне [уравнения (1)–(2)]

$$Y_1 = 0,142X + 5,82, \quad r = 0,97 \quad (1) \quad Y_2 = 0,157X + 7,14, \quad r = 0,98 \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) следует, что коэффициент интенсивности действия (" b_1 ") единицы поступившего цинка в почву (кг д в /га) на формирование величины урожая зерна гибридов Омка 130 и Омка 150 составляет 0,142 и 0,157 т/га соответственно

В соответствии с исследованиями Ю И Ермохина (1983, 1995), зависимость между дозой удобрений и элементами питания в почве обратно пропорциональная, следовательно, чем выше величина содержания элементов в почве, тем ниже дозы внесения удобрений.

Математически это можно выразить следующей формулой

$$D_o \cdot X_o = D_n \cdot X_n, \quad (3)$$

где D_o – установленная оптимальная доза питательных веществ удобрений в кг д в /га при соответствующем содержании элементов в почве перед посевом, мг/кг (X_o),

D_n – доза удобрений в кг д в /га, прогнозируемая в зависимости от содержания элементов питания в почве конкретного поля, мг/кг (X_n)

Отсюда
$$D_n = \frac{D_o \cdot X_o}{X_n} \quad (4)$$

Основываясь на лучшем варианте опыта (Zn_{18}) при сбалансированном азотно-фосфорном питании, нами предлагается формула для расчета доз цинка в основное внесение, (кг/га)

$$D_{Zn} = \frac{11,7}{Zn_{мг/кг}} \quad (5)$$

Предложенная формула расчета доз цинка под кукурузу позволяет отойти от простого эмпиризма с применением удобрений и ориентироваться на конкретные дозы с учетом содержания доступного элемента в почве

Диагностика потребности кукурузы в удобрениях на основе химического анализа почвы

С помощью математических методов были установлены взаимосвязи между содержанием доступных элементов питания в почве и урожайностью зерна кукурузы. Получены эмпирические уравнения зависимости формирования урожайности зерна кукурузы (Y , т/га) от содержания элементов питания в почве (X_1 – N-NO₃ и X_2 – P₂O₅, мг/кг)

$$Y = 5,97 + 0,073X_1, \quad r = 0,98 \quad (6) \quad Y = 4,96 + 0,070X_2, \quad r = 0,97 \quad (7)$$

В данном случае при изменении в почве содержания нитратного азота или подвижного фосфора (2%-ная CH₃COOH вытяжка) на 1 мг/кг почвы урожай зерна кукурузы изменяется на 0,07 т/га

В наших опытах наивысшая урожайность зерна гибридов кукурузы Омка 130 и Омка 150 была получена в пределах 10 т/га при внесении цинка в дозе 18 кг/га на фоне сбалансированного азотно-фосфорного питания ($N-NO_3 = 44$ и $P_2O_5 = 260$ мг/кг почвы), при оптимальном сочетании $P_2O_5 \approx 6N-NO_3$ (стандартный метод определения)

Располагая средним нормативным показателем " b_2 " (0,088–0,092 мг/кг) интенсивности действия поступившего в почву цинка D (кг д.в./га) на содержание его в почве, для решения практических задач предлагается модель прогнозирования оптимального уровня питания кукурузы цинком (C , мг/кг) для определенных уровней урожая зерна (в нашем случае 10 т/га) [формула (8)]

$$C = C_1 + D \cdot b_2, \quad (8)$$

где C_1 – содержание элемента в почве до посева, мг/кг;

D – доза внесения элемента в почву, кг д.в./га,

" b_2 " – коэффициент интенсивности действия единицы внесенного цинка на содержание данного элемента в почве, мг/кг

Применение 1 кг цинка в почву обеспечивает прибавку урожая зерна гибридов кукурузы Омка 130–0,142 т/га и Омка 150–0,157 т/га. Для повышения содержания подвижного цинка в почве на 1 мг/кг почвы требуется внести цинка 11 кг/га ($\frac{1}{0,088(0,092)}$), который повысит урожайность зерна гибрида Омка 130 на 1,56 т/га (11 кг/га 0,142 т/га), Омки 150 – на 1,73 т/га (11 кг/га 0,157 т/га)

На основе полученных оптимальных и фактических уровней содержания цинка в почве для данной культуры и нормативов потребности цинка почвы (1 мг/кг) для формирования урожая зерна кукурузы 1,56 и 1,73 т/га, можно спрогнозировать получение прибавки урожая зерна (Π , т/га), и затем рассчитать дозу (D , кг д.в./га) применения цинка под растение по формулам (9) и (10)

$$\text{Омка 130 } \Pi = (Zn_o - Zn_{\phi}) 1,56, \quad \text{Омка 150 } \Pi = (Zn_o - Zn_{\phi}) 1,73, \quad (9)$$

$$D = (Zn_o - Zn_{\phi}) 11, \quad \text{или} \quad D = (Zn_o - Zn_{\phi}) 0,089/0,092, \quad (10)$$

где Zn_o и Zn_{ϕ} – оптимальный и фактический уровень содержания подвижного цинка в слое почвы 0–30 см, мг/кг; 1,56 и 1,73 – формирование зерна кукурузы гибридов Омка 130 и Омка 150 (т/га) от содержания цинка 1 мг/кг почвы, 11, 0,088(0,092) – нормативы затрат дозы цинка 11 кг для увеличения содержания его в почве на 1 мг/кг или увеличение цинка в почве на 0,089(0,092) мг/кг при внесении 1 кг цинка

Многолетние исследования показали, что для создания 1 тонны зерна гибрида Омка 130 требуется 29 кг азота, 4 кг фосфора, 15 кг калия и 0,004 кг цинка, а гибрида Омка 150 – 23 кг азота, 4 кг фосфора, 14 кг калия и 0,005 кг цинка. Коэффициенты использования питательных веществ из почвы (КИП) изменяются в широких пределах по азоту от 53 до 75%, по фосфору от 8

до 34%, по калию от 35 до 89%, что связано с погодными условиями, определяющими урожайность и химический состав растений кукурузы *КИП* по цинку по годам исследований почти не изменялся (8–9%) При формировании наилучших урожаев гибридов Омка 130 и Омка 150 *КИУ* цинка составили 1,8 и 3,1% соответственно

Химический анализ растений как метод определения потребности кукурузы в удобрениях (растительная диагностика)

Улучшение питания растений макроэлементами способствует наибольшему потреблению ряда микроэлементов из почвы и применяемых удобрений Так, в наших исследованиях с гибридами кукурузы Омка 130 и Омка 150 установлено, что при недостаточном уровне содержания фосфора и азота в почве применение фосфора под кукурузу от 30 до 60 кг д в /га и сбалансированного азотно-фосфорного удобрения способствовало лучшему усвоению цинка гибридами Процент содержания цинка в растениях в фазу цветения по сравнению с фоном увеличивается соответственно Омка 130 – на 53,2, 49,1 и 140,4%, Омка 150 – на 76,0, 54,3 и 57,7% (табл 2)

Такая же закономерность по цинку наблюдалась и в более позднюю фазу – восковой спелости зерна Отсюда можно сделать вывод о том, что устранение лимитирующего фактора в питании кукурузы, прежде всего содержания цинка, фосфора и азота в лугово-черноземной почве способствовало лучшему усвоению растением цинка Коэффициент интенсивности действия каждого килограмма внесенного фосфора в почву в дозе от 30 до 60 кг на поступление цинка в растения в фазу цветения составил в среднем Омка 130 – 0,257, а Омка 150 – 0,274 мг/кг При сбалансированном азотно-фосфорном питании коэффициент "b" был выше у Омки 130 (0,286 мг/кг), а у Омки 150 – 0,152 мг/кг (табл 2)

Таблица 2

Влияние цинка, применяемого в основное внесение на фоне фосфорных и азотно-фосфорных удобрений, на содержание цинка в растениях кукурузы в фазу цветения

| Вариант опыта | Омка 130 | | | Омка 150 | | |
|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------|-----------------------|-----------------------------------|------------|
| | Zn в растениях, мг/кг | увеличение Zn, $\frac{мг/кг}{\%}$ | "b", мг/кг | Zn в растениях, мг/кг | увеличение Zn, $\frac{мг/кг}{\%}$ | "b", мг/кг |
| P ₃₀ | 19,0 | 10,1 | 0,337 | 15,0 | 11,4 | 0,380 |
| P ₃₀ + Zn | 29,1 | 53,2 | | 26,4 | 76,0 | |
| P ₆₀ | 21,6 | 10,6 | 0,177 | 18,6 | 10,1 | 0,168 |
| P ₆₀ + Zn | 32,2 | 49,1 | | 28,7 | 54,3 | |
| | среднее | | 0,257 | среднее | | 0,274 |
| NP | 16,1 | 22,6 | 0,286 | 20,8 | 12,0 | 0,152 |
| NP+ Zn | 38,7 | 140,4 | | 32,8 | 57,7 | |

Таким образом, оптимизация питания кукурузы фосфором и азотом способствует лучшему усвоению цинка растением и в конечном итоге формированию величины урожая

Закономерности поступления микроэлементов в растения и их воздействие на продуктивность культуры изучали многие ученые (А.З Ламбин, 1959, Т.А. Парибок, 1970, Н.Г. Зырин, В.И. Рерих, Ф.А. Тихомиров, 1976, В.Б. Ильин, 1973, 1985, А. Кабата-Пендиас, 1989, Э.Д. Орлова, 1989, А.В. Синдирева, 2001 и др.) Исследования, проведенные нами, дали возможность получить математические модели, отображающие зависимости содержания цинка в растениях кукурузы (Zn, мг/кг) от накопления его в почве за счет внесения удобрений (X, кг/га). В результате получены эмпирические уравнения регрессионного типа (табл. 3, уравнения (11)–(14)). Математические модели позволяют связать конечный результат (накопление цинка растениями кукурузы) с действующими величинами (результатами применения доз цинка в почву).

Таблица 3

Математические модели содержания цинка в растениях (мг/кг) в зависимости от доз применяемых цинковых удобрений (X, кг/га) в основное внесение на оптимальном азотно-фосфорном фоне

| Фаза развития | Уравнение регрессии | r |
|-------------------------|----------------------------|------|
| Омка 130 | | |
| цветение початка | $Zn = 19,44 + 1,04X, (11)$ | 0,76 |
| восковая спелость зерна | $Zn = 13,48 + 0,82X, (12)$ | 0,97 |
| Омка 150 | | |
| цветение початка | $Zn = 23,04 + 0,75X, (13)$ | 0,84 |
| восковая спелость зерна | $Zn = 11,51 + 1,05X, (14)$ | 0,94 |

Полученные уравнения регрессии и высокие коэффициенты корреляции указывают на сопряженность содержания цинка в целом растении от доз вносимых цинковых удобрений.

Выявленные нормативные показатели (" b_3 ") интенсивности действия внесенного 1 кг цинка в почву на содержание его в растениях (мг/кг) [уравнения (11)–(14)] позволяют определить потребность кукурузы в цинковых удобрениях (D, кг д.в./га) при условии установления оптимальных величин содержания цинка в растениях по фазам развития, используя формулу (15) (табл. 4).

Таблица 4

Расчет доз цинковых удобрений под кукурузу по формуле (15) растительного анализа

| Фаза развития | " b_3 ", мг/кг | | Формула расчета доз цинка в подкормку, кг д.в./га |
|-------------------|------------------|----------|---|
| | Омка 130 | Омка 150 | |
| цветение початка | 1,04 | 0,75 | $D = \frac{(\mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_\phi)^2}{"b" \mathcal{E}_0} (15)$ |
| восковая спелость | 0,82 | 1,05 | |

Примечание \mathcal{E}_0 и \mathcal{E}_ϕ – оптимальное и фактическое содержание цинка в растениях для конкретных фаз роста и развития кукурузы

Отмечена достаточно высокая корреляция между дозой цинка (X , кг д.в./га), внесенного в почву [уравнения (16)–(17)], при опудривании семян [уравнения (18)–(19)], при некорневой подкормке [уравнения (20)–(21)] и содержанием этого элемента в зерне кукурузы (Y_1 – Омка 130, Y_2 – Омка 150, мг/кг) на оптимальном азотно-фосфорном фоне

$$Y_1 = 0,725X + 13,6, \quad r = 0,99 \quad (16) \quad Y_1 = 0,064X + 19,4, \quad r = 0,99 \quad (18)$$

$$Y_2 = 0,728X + 23,1, \quad r = 0,99 \quad (17) \quad Y_2 = 0,064X + 23,9, \quad r = 0,98 \quad (19)$$

$$Y_1 = 14X + 15,4, \quad r = 0,94 \quad (20)$$

$$Y_2 = 26X + 23,2, \quad r = 0,98 \quad (21)$$

Полученные зависимости позволяют прогнозировать содержание цинка в целых растениях и зерне кукурузы (X_n , мг/кг), при различных дозах (D) и приемах применения цинка по формуле (22)

$$X_n = X_o + D "b_3" \quad (22)$$

Известно, что с увеличением дозы химического элемента, вносимого под растения, концентрация его в тканях культур и величина урожая сопряжено возрастают до определенного уровня, на дальнейшее увеличение дозы применения растение реагирует отрицательно. В связи с этим нами была проведена оценка химического состава растений с учетом формирования продуктивности гибридов кукурузы.

Так как химический состав растений (X) является функцией химического состава почвы (Π) $X = f(\Pi \text{ почвы})$, а урожайность (Y) – функцией химического состава растений $Y = f(X \text{ раст})$, то химические элементы в растениях должны находиться в определенном количестве и соотношении. Характер связи между содержанием цинка в растении и величиной урожая зерна кукурузы отображается на графике в виде колоколообразной кривой (рис 1) и описывается уравнением квадратической параболы [уравнения (23)–(28)]. Например, связь урожая зерна (Y , т/га) с содержанием цинка в растениях кукурузы в фазу цветения початка (X_1 , мг/кг) и в период уборки (X_2 , мг/кг) выражается уравнениями (23)–(26)

$$Y_{\text{Омка 130}} = 0,018X_1^2 - 0,79X_1 + 13,98, \quad \eta = 0,95 \quad (23)$$

$$Y_{\text{Омка 150}} = 0,017X_1^2 - 0,74X_1 + 15,46, \quad \eta = 0,85 \quad (24)$$

$$Y_{\text{Омка 130}} = 0,002X_2^2 + 0,1X_2 + 4,25, \quad \eta = 0,98 \quad (25)$$

$$Y_{\text{Омка 150}} = 0,92X_2 - 0,018X_2^2 - 1,62, \quad \eta = 0,98 \quad (26)$$

Очень тесная связь наблюдается у обоих гибридов кукурузы между величиной урожая зерна (Y , т/га) и содержанием цинка в зерне (X_3 , мг/кг)

$$Y_{\text{Омка 130}} = 0,002X_3^2 + 0,12X_3 + 3,87, \quad \eta = 0,99 \quad (27)$$

$$Y_{\text{Омка 150}} = 0,004X_3^2 - 0,0008X_3 + 5,28, \quad \eta = 0,99 \quad (28)$$

Из данных зависимостей следует, что использование химического состава растений кукурузы в целях диагностики является достоверным, полнее отражает уровень урожайности культуры и позволяет ее прогнозировать

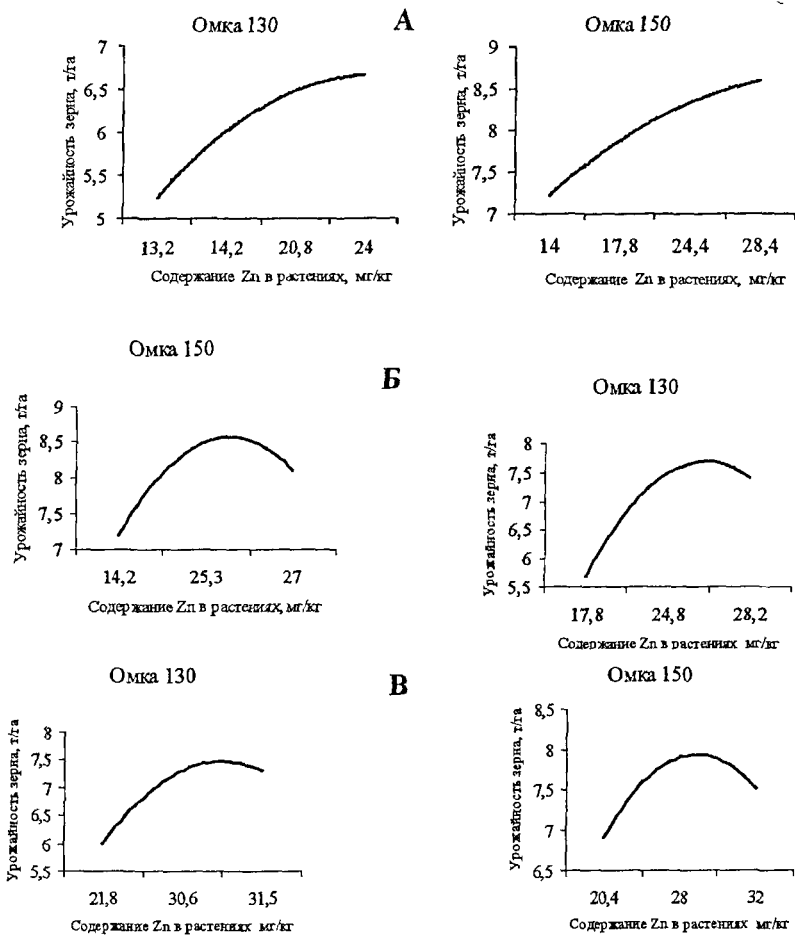


Рис 1 Связь между содержанием цинка в растениях (в фазу цветения, X, мг/кг) и урожайностью зерна кукурузы (Y, т/га)

А – основное внесение цинка, Б – опудривание семян,

В – опрыскивание растений

На основании многолетних данных полевых опытов с удобрениями, полученных величин урожая и химического состава раннеспелых гибридов кукурузы, выявленных математических зависимостей нами были установлены оптимальные уровни содержания и уравновешенный баланс питательных элементов в растениях, соответствующие максимальной урожайности зерна 8,5 т/га (Омка 130) и 10,1 т/га (Омка 150) хорошего качества (табл 5)

Оптимальные уровни содержания и уравновешенный баланс элементов питания в растениях кукурузы в течение вегетации (в среднем за 2005–2007 гг.)

| Фаза | Валовое содержание, % | | | | Неорганические формы, мг/100 г | | |
|----------------------------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|---|-----------|------------|
| | N | P | K | Zn | N | P | K |
| 8–10 листьев | <u>2,53*</u> | <u>0,32</u> | <u>3,49</u> | – | <u>120</u> | <u>43</u> | <u>598</u> |
| | <u>2,04</u> | <u>0,32</u> | <u>3,38</u> | – | <u>88</u> | <u>39</u> | <u>598</u> |
| | %N ≈ 7,2P ≈ 0,7K (29) | | | | N-NO ₃ ≈ 2,6P _н ≈ 0,2K _с | | |
| цветение початка | <u>2,86</u> | <u>0,27</u> | <u>2,47</u> | <u>34,8</u> | <u>79</u> | <u>43</u> | <u>530</u> |
| | <u>2,80</u> | <u>0,29</u> | <u>2,30</u> | <u>34,3</u> | <u>86</u> | <u>50</u> | <u>597</u> |
| | %N ≈ 10,2P ≈ 1,2K ≈ 0,08Zn | | | | N-NO ₃ ≈ 1,9P _н ≈ 0,2K _с | | |
| молочно- восковая спелость | <u>2,87</u> | <u>0,34</u> | <u>3,35</u> | – | <u>77</u> | <u>42</u> | <u>481</u> |
| | <u>2,73</u> | <u>0,33</u> | <u>3,83</u> | – | <u>57</u> | <u>30</u> | <u>498</u> |
| | %N ≈ 8,4P ≈ 0,8K | | | | N-NO ₃ ≈ 1,9P _н ≈ 0,2K _с | | |
| восковая спелость | <u>1,76</u> | <u>0,14</u> | <u>1,28</u> | <u>27,6</u> | – | – | – |
| | <u>1,62</u> | <u>0,15</u> | <u>1,23</u> | <u>29,8</u> | – | – | – |
| | %N ≈ 11,7P ≈ 1,4K ≈ 0,06Zn | | | | – | | |

Примечание * – в числителе Омка 130, в знаменателе Омка 150

Таким образом, строгое «нормирование» содержания и соотношения макро- и микроэлементов (N P K Zn) в растениях позволит прогнозировать эффективность удобрений, величину урожая кукурузы, а также экологическую ситуацию, связанную с химической нагрузкой в системе «почва – растение»

Диагностика качества урожая

Результаты анализов на качество продукции показали, что содержание нитратов в зеленой массе раннеспелых гибридов кукурузы в период уборки изменялось в зависимости от применяемых удобрений от 161 до 342 мг/кг (Омка 130) и от 195 до 281 мг/кг (Омка 150), но в целом содержание нитратов не превышало предельно-допустимой концентрации в зеленом корме (500 мг/кг). На основании выявленных закономерностей зависимости содержания нитратов в растениях кукурузы (Y_1 – Омка 130 и Y_2 – Омка 150, мг/кг) от доз вносимого цинка в почву (X , кг д.в./га) [уравнения (36)-(37)] можно определить задолго до уборки содержание нитратов в зеленой массе кукурузы

$$Y_1 = 295 - 3,02X, \quad r = 0,88 \quad (36) \quad Y_2 = 285 - 2,3X, \quad r = 0,68 \quad (37)$$

Средняя ошибка в прогнозе содержания нитратов не превышала 3,8%, следовательно, выявленные закономерности и полученные математические уравнения можно использовать в практических целях.

Наряду с традиционными показателями качества важное значение имеет содержание микроэлементов, поскольку недостаток или избыток их в кормах и продуктах питания приводит к нарушению обмена веществ в организме, а нередко и к заболеваниям. Содержание цинка в растениях кукурузы при использовании минеральных удобрений изменялось от 14,2 до 38,8 мг/кг, а в зерне – от 16,3 до 36,2 мг/кг, но не превышало ПДК цинка в продуктах питания, равной 40-60 мг/кг (Н.М. Майборода, 1980).

Исследовав связь между дозой используемого цинка в основное внесение (X, кг д.в./га), при низком уровне его содержания в почве, и содержанием протеина в растениях кукурузы к периоду уборки (Y_1 – Омка 130 и Y_2 – Омка 150, %) была установлена тесная корреляционная зависимость

$$Y_1 = 0,227X + 6,61, \quad r = 0,92 \quad (38) \quad Y_2 = 0,212X + 5,87, \quad r = 0,89 \quad (39)$$

Следует отметить и тесную зависимость содержания протеина в растениях кукурузы в фазу восковой спелости (Y_1 – Омка 130 и Y_2 – Омка 150, %) от доз применяемого цинка в подкормку (X_1 – опудривание семян, г/ц [уравнения (40)–(41)], X_2 – опрыскивание вегетирующих растений, % в растворе [уравнения (42)–(43)])

$$Y_1 = 0,03X_1 + 6,83, \quad r = 0,87 \quad (40) \quad Y_1 = 12X_2 + 7,20, \quad r = 0,92 \quad (42)$$

$$Y_2 = 0,02X_1 + 6,68, \quad r = 0,97 \quad (41) \quad Y_2 = 17X_2 + 6,61, \quad r = 0,99 \quad (43)$$

Применение цинка на оптимальном NP фоне положительно отразилось на качестве урожая зеленой массы раннеспелых гибридов кукурузы. Так, от внесения возрастающих доз цинка в почву содержание протеина в растениях кукурузы увеличивалось на 3,5%, при опудривании семян до посева на 1,4–2,2% и при опрыскивании вегетирующих растений на 1,5–3,2% по сравнению с фоном. На содержание протеина в зерне кукурузы цинк не оказал заметного влияния. При уборке кукурузы в фазу восковой спелости в 100 кг зеленой массы содержится 20,4–23,8 корм ед, на 1 корм ед приходится 19,9–25,3 г протеина. В 100 кг зерна содержится 113–115 корм ед, на 1 корм ед приходится 98–150 г протеина.

Эти данные указывают на то, что в нашем регионе есть все предпосылки возделывать кукурузу по зерновой технологии, получая высокий урожай товарного зерна или высококачественного силоса. Строго соблюдая технологию возделывания при выращивании раннеспелых гибридов кукурузы Омка 130 и Омка 150 и разработанную нами гибкую систему удобрений можно уверенно получать до 85–100 ц зерна с гектара и 210–330 ц/га высококачественной зеленой массы.

Биоэнергетическая и экономическая оценка эффективности применения цинка под кукурузу на оптимальном азотно-фосфорном фоне

Применение цинковых удобрений под кукурузу при сбалансированном азотно-фосфорном питании на лугово-черноземной почве энергетически эффективно, так как энергоотдача превышает единицу. Установлено, что на единицу энергетических затрат при применении Zn_{18} на расчетном опти-

мальном азотно-фосфорном фоне получено 4,1–4,3 единиц энергии, содержащихся в прибавке урожая

Результаты экономических расчетов показывают, что при использовании цинка в рекомендуемой нами дозе (18 кг/га) на оптимальном азотно-фосфорном фоне в благоприятные по метеословиям для развития растений кукурузы годы (2005–2006 гг) можно получать до 21500 рублей с 1 га чистого дохода (рентабельность 224%)

ВЫВОДЫ

1 На лугово-черноземной почве в условиях Западной Сибири установлены наилучшие дозы цинковых удобрений (Zn_{18}) под раннеспелые гибриды кукурузы на зерно на фоне сбалансированного азотно-фосфорного питания $P_2O_5 \approx 6N-NO_3$ (стандартный метод) Максимальная урожайность зерна стандартной влажности на этом варианте в среднем за 2005–2007 гг составила 8,5 т/га у гибрида Омка 130 и 10,1 т/га у гибрида Омка 150 Каждый килограмм действующего вещества цинка, внесенного в почву, давал дополнительно 0,142 (Омка 130) и 0,157 (Омка 150) т/га зерна [уравнения (1)–(2)]

2 На основе проведенных исследований с приемами подкормки растений кукурузы выявлено, что опудривание семян более эффективный метод, чем опрыскивание вегетирующих растений При опудривании семян прибавки урожайности зерна по отношению к вариантам без применения цинка составляют 31,6% (Омка 130) и 18,1% (Омка 150), а при опрыскивании 21,7 и 14,4% соответственно

3 На основе выявленной математической связи между урожайностью зерна кукурузы и дозами вносимого цинка установлены количественные характеристики ("b₁" для Омки 130–0,142, для Омки 150–0,157 т/га) интенсивности действия единицы поступившего элемента на урожайность зерна кукурузы и на основе этого предложена формула расчета для прогнозирования прибавок урожая зерна и дозы внесения цинка в почву $D = \frac{P}{"b"}$

4 Получена эмпирическая формула расчета доз цинковых удобрений под гибриды кукурузы с учетом содержания цинка в почве

$$Zn_{\text{кг/га}} = \frac{11,7}{Zn_{\text{мг/кг}}}$$

5 Выявлен нормативный показатель интенсивности действия единицы цинка, внесенного в почву (кг д в /га), на изменение содержания подвижного цинка в почве ("b₂"=0,088(0,092) мг/кг), что позволяет сделать ориентировочный прогноз накопления элемента в почве (мг/кг) по формуле $C = C_1 + D "b_2"$

6 Разработаны агрохимические и физиологические характеристики эффективности применения цинка на фоне сбалансированного азотно-фосфорного удобрения под кукурузу на лугово-черноземной почве коэффициенты использования элементов из почвы (КИП – N = 0,66, P₂O₅ = 0,19, Zn = 0,09), коэффициенты использования цинка из удобрений (КИУ Zn = 0,018–0,031), нормы потребления элементов питания, кг/т азота – 26, фосфора – 4, калия –

15, цинка – 0,005, количественная характеристика обогащения почвы доступным для растений азотом в процессе онтогенеза – $N_d = 183$ кг/га, коэффициенты "b₂" интенсивности действия поступившего в почву цинка на химический состав кукурузы (общий азот, цинк), мг/кг

7 Разработаны оптимальные уровни содержания азота, фосфора и цинка в почве, целых растениях, листьях ранних гибридов кукурузы как физиологические характеристики сбалансированного, оптимального питания растений при получении качественной продукции

8 Применение цинковых удобрений под кукурузу на фоне оптимального азотно-фосфорного питания способствует формированию качественной продукции. Выявленные функциональные зависимости между содержанием цинка в почве и цинка, нитратов, протеина в растениях (зерне) кукурузы [уравнения (10)–(13), (15)–(20), (36)–(43)] позволяют по формулам растительного анализа прогнозировать качество урожая

9 Установлена высокая биоэнергетическая эффективность применения цинковых удобрений на фоне сбалансированного азотно-фосфорного минерального питания ($\eta = 4,1-4,3$). При использовании цинка в рекомендуемой нами дозе (18 кг/га) в благоприятные по метеоусловиям для развития растений кукурузы годы получаем до 21500 рублей с 1 га чистого дохода (рентабельность 224%). Доля урожайности зерна кукурузы за счет применения удобрений составляет от 20,1 до 42,6%

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Для получения максимального урожая наилучшего качества зерна раннеспелой кукурузы на лугово-черноземной почве минеральные удобрения (азотные, фосфорные, цинковые) следует применять согласно разработанным «нормативам» комплексного метода почвенно-растительной оперативной диагностики (система «ПРОД»)

– оптимальный состав, мг/кг (а) и соотношение (б) элементов питания в почве

а) $N-NO_3 = 44$, $P_2O_5 = 260$, $Zn = 2,25-2,30$,

б) $P_2O_5 \approx 6N-NO_3$,

– коэффициенты использования элементов питания из почвы (КИП)

$N = 0,66$, $P_2O_5 = 0,19$, $Zn = 0,09$,

– нормы потребления элементов питания в среднем, кг/т

азота – 26, фосфора – 4, калия – 15, цинка – 0,005,

– оптимальные уровни содержания в растениях по фазам

а) валовое содержание, %

фаза 8–10 листьев – $N = 2,29$, $P = 0,32$, $K = 3,43$,

цветение початка – $N = 2,83$, $P = 0,28$, $K = 2,39$, $Zn = 34,5$,

молочно-восковая спелость – $N = 2,80$, $P = 0,34$, $K = 3,59$,

восковая спелость – $N = 1,69$, $P = 0,15$, $K = 1,25$, $Zn = 28,7$,

б) неорганические формы, мг/100 г

фаза 8–10 листьев – $N-NO_3 = 104$, $P_n = 41$, $K_c = 598$,

цветение початка – $N-NO_3 = 83$, $P_n = 47$, $K_c = 564$,

молочно-восковая спелость – $N-NO_3 = 67$, $P_n = 36$, $K_c = 490$,

– оптимальные соотношения элементов питания в растениях

а) при валовом содержании, %

фаза 8–10 листьев – $N \approx 7,2P \approx 0,7K$,

цветение початка – $N \approx 10,2P \approx 1,2K \approx 0,08Zn$,

молочно-восковая спелость – $N \approx 8,4P \approx 0,8K$,

восковая спелость – $N \approx 11,7P \approx 1,4K \approx 0,06Zn$,

б) при содержании неорганических форм, мг/100 г

фаза 8–10 листьев – $N-NO_3 \approx 2,6P_n \approx 0,2K_c$,

цветение початка и молочно-восковая спелость – $N-NO_3 \approx 1,9P_n \approx 0,2K_c$,

– формулы расчета доз цинковых удобрений, кг/га

а) основное удобрение $D_{Zn} = (Zn_{онм} - Zn_{факт}) 11$,

б) для коррекции питания в период вегетации $D_{Zn} = \frac{(Zn_{онм} - Zn_{факт})^2}{0,088(0,092) Zn_{онм}}$

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1 Склярова М.А. Оптимизация цинкового питания раннеспелых гибридов кукурузы, возделываемых на зерно в условиях Западной Сибири / М.А. Склярова // Энтузиасты аграрной науки Труды / Куб ГАУ – Краснодар, 2006 – Вып 5 – С 224–229

2 Склярова М.А. Диагностика потребности кукурузы в цинковых удобрениях на основе полевого опыта / М.А. Склярова // Вавиловские чтения материалы конф, посвященной 119-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова 4–8 дек 2006 г / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ» – Саратов, 2006 – С 56–61

3 Склярова М.А. Эффективность подкормок цинковыми удобрениями кукурузы, возделываемой на зерно в условиях Западной Сибири / М.А. Склярова // Агрохимические приемы рационального применения средств химизации как основа повышения плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур материалы 41-й Междунар науч конф 25–26 апр 2007 г / ВНИИА. – Москва, 2007 – С 139–141

4 Склярова М.А. Прогнозирование действия цинковых удобрений на урожайность и химический состав кукурузы на лугово-черноземной почве Омского Прииртышья / М.А. Склярова // Агрохимические приемы рационального применения средств химизации как основа повышения плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур материалы 41-й Междунар науч конф 25–26 апр 2007 г / ВНИИА. – Москва, 2007 – С 141–144

5 Ермохин Ю.И. Кукуруза на зерно в Сибири / Ю.И. Ермохин, М.А. Склярова // Плодородие – 2007 – Приложение к № 3 – С 32

6 Ермохин Ю.И. Оптимизация питания и эффективность применения цинковых удобрений под кукурузу на зерно в условиях лесостепи Омской области / Ю.И. Ермохин, М.А. Склярова // Вестник Бурятской ГСХА – Улан-Удэ, 2007 – Вып. IV (9) – С 39–45

Рег. № 29 (от 17 04 08) Подписано в печать 22 04 08
Формат 60×84 1/16 Бумага офсетная Гарнитура «Таймс»
Печать на ризографе Печ л 1,0 (0,93)
Уч -изд л 1,27 Тираж 120 экз Заказ 56

Издательство ФГОУ ВПО ОмГАУ
644008, Омск, ул Сябаковская, 4, тел 65-35-18

Отпечатано в типографии издательства ФГОУ ВПО ОмГАУ