

УДК 631.8

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОРМ ЖЕЛЕЗА В УЛУЧШЕНИИ
МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА РАННИХ СТАДИЯХ
РАЗВИТИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ**

Захаров Д.А.*инженер,**Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук,
Москва, Россия***Аннотация**

В работе оценена эффективность различных форм и источников железа для раннего онтогенеза озимой пшеницы — прежде всего для роста coleoptile и формирования корневой системы как ключевого органа извлечения и доставки питательных веществ из почвенно-абсорбционного комплекса. Наиболее выраженное удлинение coleoptile обеспечивали варианты с Fe(III) 0,1%, природный источник «Шишкин лес», а также FeNaEDTA 0,05%. Для корневой системы установлены оптимумы, обеспечивающие максимальный прирост длины: Fe(III) 0,05% (+13,3%), «Шишкин лес» (+12,6%) и Fe Na 0,1% (+11,7%). Между длиной зеленой части саженца и корней выявлена достоверная положительная связь, что указывает на согласованное усиление как надземного, так и подземного роста при правильно подобранных режимах обеспечения железом.

Ключевые слова: тритерпеновые кислоты, стимуляторы роста, хелатные формы микроэлементов, физиология роста зерновых культур, трехвалентное железо, озимая пшеница, «Скипетр».

**COMPARATIVE EFFECTIVENESS OF IRON FORMS IN IMPROVING
MORPHOLOGICAL PARAMETERS AT THE EARLY STAGES OF WINTER
WHEAT DEVELOPMENT**

Zakharov D.A.*Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia***Abstract**

This study assesses the effectiveness of different iron forms and sources during the early ontogenesis of winter wheat—focusing on coleoptile growth and root system formation as the key organ for extracting and delivering nutrients from the soil sorption

complex. The strongest coleoptile elongation was observed with Fe(III) 0.1%, the natural source “Shishkin Les,” and FeNaEDTA 0.05%. For the root system, the optima providing the greatest increase in length were Fe(III) 0.05% (+13.3%), “Shishkin Les” (+12.6%), and FeNaEDTA 0.1% (+11.7%). A statistically significant positive correlation was found between shoot (green part) length and root length ($r = 0.61$; Pearson's $r > 0.5$), indicating coordinated enhancement of both above- and below-ground growth under appropriately selected iron supply regimes.

Keywords: triterpene acids, growth stimulants, chelated forms of trace elements, physiology of cereal growth, ferric iron (Fe(III)), winter wheat, cv. “Skipetr”.

Введение

Современное сельское хозяйство сталкивается с вызовами, связанными с необходимостью повышения урожайности сельскохозяйственных культур при одновременном снижении экологической нагрузки на окружающую среду. Устойчивое развитие аграрного сектора требует внедрения новых технологий и подходов, которые обеспечат высокую продуктивность растений с минимальным использованием агрохимикатов. Одним из перспективных направлений является применение природных и химических стимуляторов роста растений, а также адаптация агротехнологий к изменяющимся климатическим условиям.

Особый интерес представляет исследование влияния различных соединений железа (Fe(III), FeNaEDTA) и композитных материалов на основе хитозана и диоксида титана на ростовые процессы озимой пшеницы. Железо играет важную роль в метаболических процессах растений, участвуя в синтезе хлорофилла и регуляции активности ферментов. Однако оптимизация его концентраций и формы применения требует дополнительного изучения.

Кроме того, важным фактором является качество воды, используемой для обработки семян и полива растений. Природные источники воды, обладающие уникальными химическими и физическими характеристиками, могут стать экологически безопасной альтернативой традиционным химическим средствам.

Исследование взаимодействия природных водных ресурсов с физиологическими процессами растений позволит углубить понимание их роли в повышении урожайности сельскохозяйственных культур.

Современное сельское хозяйство сталкивается с вызовами, связанными с необходимостью повышения устойчивости культур к неблагоприятным условиям среды, улучшением агротехнологий и снижением экологического воздействия сельскохозяйственного производства. Важным направлением исследований является поиск инновационных решений для улучшения роста и развития растений на начальных этапах их вегетации, особенно для таких стратегически важных культур, как озимая пшеница [1, 2].

Применение агрохимикатов нового поколения стало важной темой исследований в агрономии. Эти вещества, выступая в качестве биопротекторов, способны не только обеспечивать защиту растений, но и стимулировать их рост и развитие. Как отмечено в ряде исследований, использование агрохимикатов позволяет снизить потери урожайности, вызванные стрессовыми факторами на ранних стадиях вегетации. Концентрация микроэлементов, таких как железо, играет ключевую роль в развитии зерновых культур. Однако традиционные подходы к внесению удобрений часто сталкиваются с проблемой потерь питательных веществ в результате испарения или их перехода в формы, недоступные для растений [3, 4].

В последние десятилетия биологически активные вещества, такие как регуляторы роста и ферменты, активно внедряются в технологии выращивания зерновых. Эти вещества обладают способностью улучшать обменные процессы растений, повышая их устойчивость к неблагоприятным условиям. Например, использование пролонгированных форм удобрений, обеспечивающих постепенное высвобождение питательных веществ, позволяет более эффективно использовать ресурсы почвы. Современные исследования показывают, что такие вещества способствуют лучшему прохождению начальных стрессовых фаз развития растений. Инновационные подходы к агротехнологиям Одной из Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМН ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

актуальных тем является применение высокотехнологичных методов внесения удобрений и агрохимикатов. Новые разработки позволяют достичь высокой эффективности даже при минимальных объемах внесения. Это особенно важно для озимой пшеницы, где поддержание оптимальных условий роста на ранних стадиях развития определяет будущий урожай. Исследования показывают, что внедрение инновационных форм агрохимикатов приводит к значительному повышению биологической продуктивности растений [5, 6, 7].

Наиболее критичными этапами в развитии зерновых являются начальные фазы, такие как кущение и выход в трубку. В этот период закладываются основы будущего урожая. В литературе подчеркивается, что стрессовые условия, такие как недостаток влаги или дефицит питательных веществ, оказывают наиболее значительное воздействие на ростовые процессы. Исследования показали, что применение препаратов с пролонгированным действием позволяет поддерживать равномерный рост и развитие растений в сложных условиях [8, 9].

Экологические условия, такие как температура и влажность, также играют важную роль в росте и развитии зерновых культур. В литературе подчеркивается важность адаптации агротехнологий к климатическим изменениям, чтобы минимизировать их влияние на урожайность. Введение технологий, позволяющих сохранить питательные вещества в доступной форме для растений, особенно в условиях меняющегося климата, является приоритетным направлением.

Исследования показывают, что ни один из отдельно взятых методов защиты растений (химический, биологический или агротехнический) не способен полностью решить проблемы, связанные с фитопатологией. Только интегрированные системы защиты, включающие рациональное применение удобрений, обработку почвы, использование устойчивых сортов и мониторинг фитосанитарной ситуации, способны обеспечить стабильное повышение урожайности [10,11,12].

Цель данного исследования: изучение влияния современных агрохимикатов и природоподобных средств на рост и развитие проростков озимой пшеницы сорта "Скипетр" с использованием различных инновационных методов выращивания.

Методы исследований

Лабораторный опыт проводился с целью выявления влияния растворов железа и стимулятора роста «Новосил» на биометрические показатели сортовой пшеницы. В качестве испытуемых выступали следующие растворы.

1. Водные субстраты: 7 вариантов (Родник, Большие Вяземы, Голицыно, Малые Вяземы, Шишкин Лес, Дистиллированная вода(контроль)).
2. Растворы металлов: 6 вариантов (FeNa (0,01%, 0,05%, 0,1%) Fe(III)HEDP (0,01%, 0,05%, 1%)
3. Стимулятор Роста «Новосил»: 1 вариант (разведение по рабочей жидкости для пшеницы: 0.3мл на 3 л воды)

Варианты с использованием хелатных форм железа предоставил Институт Органической Химии им. Зелинского, и расшифровываются следующим образом:

- Fe Na (FeNaEDTA)- Этилендиаминтетрауксусная кислота используется в качестве хелатирующего агента в культуре растительных тканей.
- Fe (III) – Трёхвалентное железо входит в состав ферментов, а также участвует в синтезе хлорофилла и обмене веществ. Железо имеет большое значение в процессе дыхания растений, т. к. является составной частью дыхательных ферментов.

Список откуда добывались водные растворы представлен ниже:

- Родник. Г. Голицыно, р.п Большие Вяземы, городок 17, «Солнечное»
- Большие Вяземы. Набранная в скважине возле школьного поселка.
- Голицыно. Ж.К Князь. Водопроточная вода.

- Малые Вяземы. Петровское шоссе д.5. Водопроводная вода
- Шишкин Лес. Покупная вода, общедоступная, положительный контроль
- Дистиллированная вода. - Контроль

В качестве объекта исследования выступала озимая пшеница сорта «Скипетр» (Включен в Госреестр).

В исследовании применялась методика проращивания зерен в рулонах, только вместо стандартного раствора (воды), использовались варианты испытуемых, в разных концентрациях.

Применялись различные концентраций испытуемых растворов: от 1%, до 0,01%. Опыт выдерживали при световом дне присущий Московской области. Учет проводили на 7 день с момента закладки вариантов опыта. Подсчет и измерение основных органов проростка пшеницы, проводили за один день и с точностью 0,1 см.



Рисунок 1 – Вегетационные сосуды закрытого типа с закладываемыми вариантами опыта.

Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа (Доспехов, 1985) с помощью программ

Excel (Microsoft) и Statistica 5.0 for Windows. Уравнения регрессии и графики строили с помощью программы Excel (Microsoft).

Результаты исследований

Начальный период роста и развития озимой пшеницы - самый сложный и стрессовый период в онтогенезе растений. Данное исследование позволяет раскрыть потенциал пшеницы сорта «Скипетр» как с помощью агрохимикатов нового поколения, так и из доступных природных источников. Таким образом, многофункциональное исследование позволило нам получить следующие результаты (табл. 1).

Варианты опыта	Средняя длина листа, см	Средняя длина главного корня, см	Средняя длина coleoptily, см
Fe (III) 3 0,01	8.69±0.43	8.82±0.44	4.34±0.21
Fe (III) 0,05	7.86±0.39	6.46±0.32	3.97±0.19
Fe (III) 1%	6.85±0.34	3.08±0.15	4.40±0.21
Fe Na 0,01	7.63±0.38	8.46±0.42	3.99±0.19
Fe Na 0.05%	8.83±0.44	9.22±0.46	4.60±0.23
Fe Na 0,1%	8.04±0.40	9.09±0.45	4.31±0.21
Голицыно	7.52±0.37	8.52±0.42	4.21±0.21
Родник	8.04±0.40	8.08±0.40	4.10±0.20
Малые Вяземы	7.76±0.38	7.73±0.38	4.33±0.21
Шишкин лес	8.67±0.43	9.17±0.45	4.51±0.22
Контроль	7.33±0.36	8.14±0.40	4.06±0.20
Стимулятор Новосил	6.86±0.34	8.13±0.40	4.4±0.10
НСР ₀₅	0.70	0.65	0.35

Таблица 1. Влияние агрохимикатов, микроэлементов, природных средств и видов воды на рост и развитие пшеницы сорта «Скипетр». $n=3 \pm SD$

Полученные данные достаточно обширны и нуждаются в детальном рассмотрении по отдельным критериям: длина ростка, длина главного корня и длина coleoptily.

На Рисунке 2 показан график влияния рассматриваемых препаратов и воды на длину листа со стандартной ошибкой

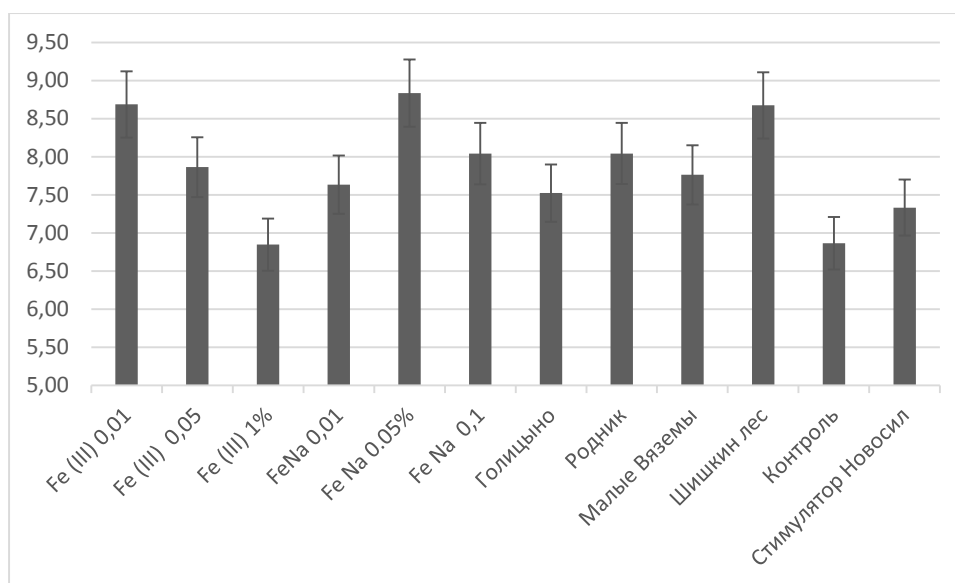


Рисунок 2. Влияние вариантов концентраций агрохимикатов, регуляторов роста на развитие проростка пшеницы сорта «Скипетр»

Железо (Fe III) давало наилучший результат в концентрации (0,01%) по приросту до 8,69 см (+1,8 см от контроля). Второй результат железа (Fe III) с концентрация (0,05%) показал результат проростка 7,86 см (+1 см от контроля). Третий результат железа (Fe III) с концентрацией (1%) показал наихудший результат по приросту 6,85 см (-0,01 от контроля), но существенного эффекта ингибирования в данной концентрации нами не получено. FeNa с концентрацией (0,01%) показал результат проростка 7,63 см (+0,77 см от контроля). FeNa с концентрацией (0,05%) показал наилучший результат по приросту до 8,83 см (+1,97 см от контроля). Концентрация FeNa (0,1%) обеспечивала результат 8,04 см (1,18 см от контроля). Вода проточная города «Голицыно» показала результат 7,52 см (+0.66 см от контроля), нами существенного влияния на стимуляцию или ингибирования роста и развития не установлено. Вода, взятая с «Родник», показала результат по проростку 8,04 (+1,18 см от контроля), обладала явно улучшающими свойствами развития озимой пшеницы сорта «Скипитер». Проточная вода «Малые Вяземы» показала результат 7,76 см проростка (+0,9 см от контроля). Агропрепарат «Новосил» результат проростка 8,67 (+1.81 см от

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМН ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

контроля). Питательная вода, купленная в супермаркете «Шишкин Лес» показала результат развития проростка 7,33 см (+0,4 см от контроля).

Достоверно показано, что доступность питания на в период всходов уменьшает длину корневой системы, что показано на рисунке 3

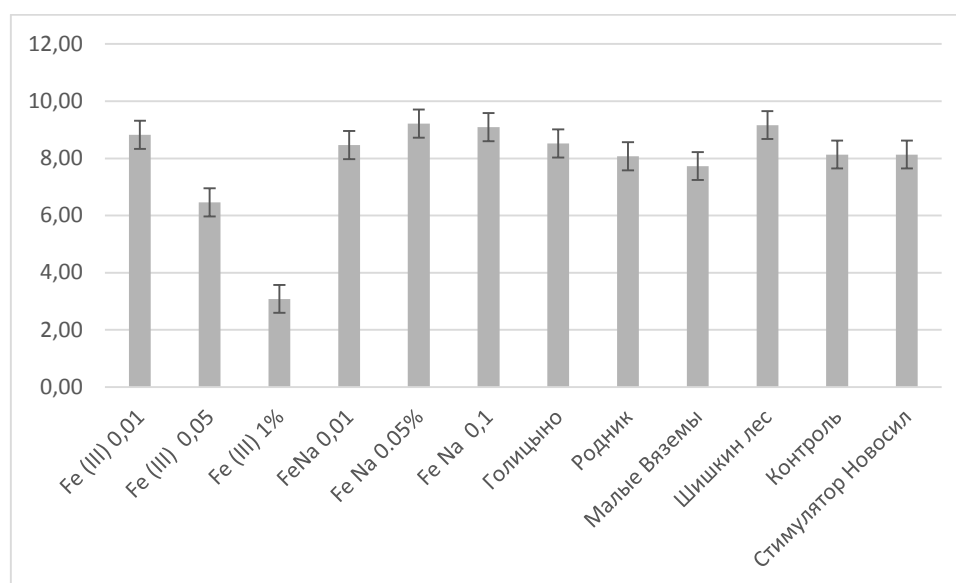


Рисунок 3. Влияние вариантов концентраций агрохимикатов, регуляторов роста на среднее значение размера корней пшеницы сорта Скипетр, 2023 год

Первый вариант опыта с добавлением железа Fe (III) в концентрации (0,01%) показал результат 8,82 см (+0,69 см от контроля). Второй вариант Fe (III) с концентрацией (0,05%) показал результат 6,46 см от контроля 8,13 см (-1,67 см). Третий вариант с применением Fe (III) с концентрацией (1%) показал результат корней 3,08 см (-5,05 см от контроля), что говорит о ингибировании корневой системы или достаточности питательных веществ. Вариант четвертый с добавлением агрохимиката FeNa (0,01%) показал результат на корневое значение 8,46 см от контроля 8,13 (+0,33 см). Вариант с добавлением FeNa (0,05%) показал наилучший результат 9,22 см от контроля (+1,09 см). Шестой вариант с добавлением FeNa (0,1%) показал результат 9,09 см (+0,33 см). Седьмой, восьмой, девятый варианты, по результатам опыта, практически не отличаются от

контроля, что показывает нам, отсутствия значимой разницы. Биологический препарат «Новосил» (вариант десятый), который является эталоном, показал существенный прирост размера корней, в среднем, на 1,04 см. . Последний вариант опыта, общедоступная марка питьевой воды «Шишкин лес», при использовании данного субстрата, существенной разницы с контролем выявлено не было.

Влияние выбранных препаратов на coleoptile показан на рисунке 4

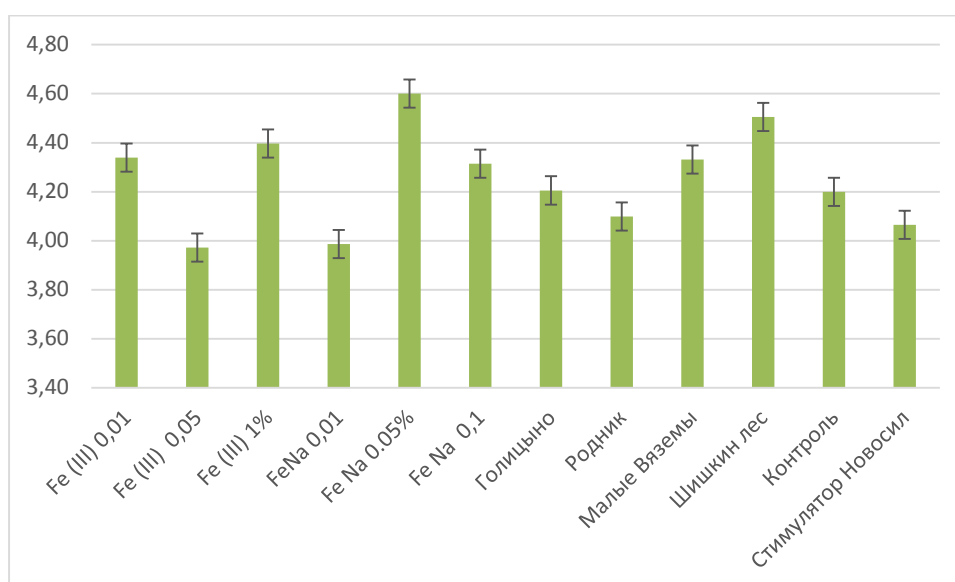


Рисунок 4. Влияние вариантов концентраций агрохимикатов, регуляторов роста на среднее значение размера coleoptile пшеницы сорта Скипетр

Вариант первый с добавлением Fe (III) в концентрации (0,01%) показал результат до 4,34 см (-0,14см от контроля). Второй вариант с добавлением железа Fe (III) в концентрации (0,05%) показал стимуляцию 3,97 см coleoptеля (+0,23 см от контроля). Вариант третий с добавлением Fe (III) с концентрацией 0,01% показал результат 4,40 см от контроля (-0.20 см). Вариант четвертый с добавлением агрохимического вещества FeNa с концентрацией-0,01% показал стимуляцию 3,99 см coleoptеля от контроля (+0,21см). Вариант пятый с

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМН ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

добавлением FeNa с концентрацией 0,05%, показал наибольшее ингибирование до 4,60 см (-0,4 см от контроля). Вариант с добавлением FeNa с концентрацией 0,1%, показал результат с 4,31 (+0,11 см от контроля). Вариант седьмой, вода проточная города «Голицыно» показала результат 4,21 см (-0,01 см от контроля). Вариант восьмой, взяты с «Родник» показал результат 4,10 см (0,1 см от контроля),), нами существенного влияния на стимуляцию или ингибирования роста и развития не установлено, так же как и с проточная водой с Малых Вязем - показала результат 4,33 см coleoptilia (-0,13 см от контроля). Агропрепарат «Новосил»: длина coleoptilia 4,51 см (-0,31 см). Питательная вода, купленная в супермаркете «Шишкин Лес» показала результат развития проростка 4,06 см (+0,14 см от контроля).

Выводы

Наиболее эффективными вариантами увеличения coleoptilia являются те, которые используют Fe(III) (0,1%) «Шишкин лес» и Fe Na 0,05%. Для корневой системы, как органа извлечения и доставки питательных веществ из почвенно-абсорбционного комплекса, определены концентрации Fe(III) (0,05%) с увеличением размера на 13,3%; «Шишкин лес» – на 12,6% и Fe Na (0,1%) – на 11,7%. Достоверная корреляция получена при изучении соотношений двух доминирующих показателей (длины зеленой части (саженца) и корней) и составляет 0,61 (критерий Пирсона > 0.5)

Проведенные исследования раскрывают перспективы широких возможностей для менее дорогостоящего использования высокотехнологичных форм железа, а в конкретных случаях позволяют использовать природные источники для обеспечения эффективного развития растений озимой пшеницы.

Библиографический список

1. Абаимов, В.Ф., Щукин, В.Б. Продуктивность посева и качество зерна озимой пшеницы при некорневых подкормках азотом и микроэлементами // Зерновые культуры. - 1997. - №2. – с. 17 – 18.
2. Агроклиматические ресурсы Оренбургской области. – Л.: Гидрометеиздат, 1971.
3. Вавилов, П.П. Растениеводство / П.П. Вавилов, В.В. Гриценко, В.С. Кузнецов. – М.: Колос, 1979. – 524 с.
4. Васильева, Г.Г. Особенности питания яровой пшеницы азотом мочевины при действии неблагоприятных температурных факторов // Агрохимия. - 2002. - №9 – с. 11-13.
5. Вильдфлуш, И.Р. Продуктивность, вынос элементов питания и агроэкономическая эффективность применения макро-, микроудобрений и регуляторов роста при возделывании яровой и озимой пшеницы / И.Р. Вильдфлуш, О.И. Мишура, С.Р. Чуйко // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. — 2018. — № 1. — С. 23-27. — ISSN 2076-5215. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/306709> (дата обращения: 05.05.2020).
6. Вишневская, О.М., Карижская, С.Г. Состояние производства и качество пшеницы в Удмуртской республике // Зерновое хозяйство. – 2002. - №6. – с. 13 – 14.
7. Годунова, Е.И., Шаповалова, Н.Н. Влияние длительного применения минеральных удобрений на содержание гумуса в чернозёме обыкновенном Центрального Предкавказья // Известия ОГАУ. – 2017. - № 4 (66). – с. 20 – 24.
8. Дубачинская, Н. Н. Технологии производства продукции растениеводства: учебное пособие / Н. Н. Дубачинская. — Оренбург: Оренбургский ГАУ, 2011. — 328 с. — ISBN 978-5-88838-651-4. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/134460> (дата обращения: 04.05.2020).

9. Елисеев, В.И. Зависимость содержания белка в зерне яровой мягкой пшеницы от систематического внесения различных доз минеральных удобрений // Известия ОГАУ. – 2017. - № 2 (64). – с. 14 – 16.

10. Иванов, В. М. Производство продукции растениеводства : учебное пособие / В. М. Иванов, Н. И. Тихонов ; под редакцией В. М. Иванова. — Волгоград : Волгоградский ГАУ, 2017. — 280 с. — ISBN 978-5-4479-0050-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/100806> (дата обращения: 04.05.2020).

11. Красников, С.В. Влияние комплексного концентрированного органоминерального удобрения «гумат калия-натрия с микроэлементами» на урожайность яровой пшеницы на черноземах южных Оренбургского Предуралья // Вестник ОГУ. – 2009. - №2/февраль. – с. 176 – 177.

12. Колодина, Н.Ф. Методика исследования потенциала регионального продовольственного рынка / Н.Ф. Колодина // Известия ОГАУ. – 2012. - №5 (37). – С.197 – 200.

Оригинальность 84%