

БГСХА 104, БГСХА 105. Устойчивость выше средней имели сортообразцы БГСХА 106, БГСХА 107, средняя степень устойчивости была у сортообразцов БГСХА 109 и БГСХА 111, слабой устойчивостью характеризовались БГСХА 108 и БГСХА 110, а БГСХА 112 оказался неустойчивым.

Результаты исследований показывают, что все сортообразцы относятся к ранней и очень ранней группе спелости, особое внимание стоит обратить на сортообразцы с эпигональным типом ветвления БГСХА 110 и БГСХА 112, поскольку они созревают на 11 дней раньше контроля, а урожайность достоверно превышает контроль. Среди сортообразцов с симподиальным типом ветвления лучшим по урожайности был сорт Соперник и сортообразец БГСХА 111, которые в дальнейшем могут использоваться в качестве источников высокой урожайности. Высокой устойчивостью к засухе обладают сортообразцы БГСХА 98, БГСХА 100, БГСХА 101, БГСХА 102, БГСХА 103, БГСХА 104, БГСХА 105, сорта Муза и Соперник, однако менее других подверглись депрессии в растворе сахарозы сортообразцы БГСХА 100 и БГСХА 102, следовательно, их стоит использовать в дальнейших селекционных программах в качестве источников устойчивости к засухе.

### **Библиографический список**

1. Гапонов, Н. В. Люпин– Наилучшая бобовая культура для создания высокопротеиновых концентратов [Текст] / Гапонов Н. В. // Комбикорма. – 2019. – № 6. – С. 40-42.
2. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2021–2025 годы // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mshp.gov.by/documents/ab2025.pdf> – Дата доступа: 22.02.2023. – с.17.
3. Новик, Н. В. Новые сорта и сортообразцы люпина желтого селекции ВНИИ люпина [Текст] / Новик Н.В. // Аграрная наука и развитие отраслей сельского хозяйства региона. Сборник научных трудов по материалам научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 100-летию института. Калуга – 2020. С. 79-82.
4. Гатальская, Д. В. Селекция желтого люпина на семенную продуктивность и резистентность к антракнозу / Д. В. Гатальская, Ю. С. Малышкина, Е. В. Равков // Вестник БГСХА . - 2020. - № 3 - с. 117-121.
5. Государственный реестр сортов [Текст] / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений; ред. В. А. Бейня. - Минск: ИВЦ Минфина, 2021. - 268 с.

УДК 581.1

## АНАЛИЗ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОЙ ЗАСУХИ

*Глушаков Денис Александрович, младший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений ФГБНУ "Омский АНЦ", glushakov@anc55.ru*

*Юсова Оксана Александровна, к. с.-х. н., ведущий научный сотрудник, зав. лаборатории биохимии и физиологии растений ФГБНУ "Омский АНЦ", yusova@anc55.ru*

*Юсов Вадим Станиславович, к. с.-х. н., ведущий научный сотрудник, зав. лаборатории селекции твердой яровой пшеницы ФГБНУ "Омский АНЦ", yusov@anc55.ru*

*Аннотация.* В статье представлены данные исследования трёх вегетационных индексов группы сортов (пять образцов) яровой твёрдой пшеницы в искусственных засушливых условиях и при стандартной увлажнённости.

**Ключевые слова:** Вегетационные индексы, сельское хозяйство.

Влияние климатических изменений оказывает существенное влияние на сельское хозяйство. Одной из серьёзнейших проблем с которой сталкивается сельское хозяйство сегодня является засуха, оказывающая существенное, влияет как на качество, так и количество получаемого урожая. Твёрдая пшеница одна из важнейших сельскохозяйственных культур, особенно ценится за содержание витаминов группы В, Е, РР, а также калия, кальция, фосфора, железа, углеводов, клетчатки, но также возможности полученной из зерна твёрдой пшеницы макаронных и кондитерских изделий, крупы, продуктов для детского и диетического питания [1].

Помимо этого, засуха может негативно сказаться на физических и химических свойствах зерна твёрдой пшеницы. Увеличение температуры и снижение влажности в почве может привести к уменьшению размера зёрен, а также уменьшению их содержания белка и минералов. Эти изменения могут отрицательно повлиять на качество пищевых продуктов, производимых из зерна твёрдой пшеницы. Одним из методов оценки влияния засухи на растения является использование так называемых «вегетационных индексов». Вегетационные индексы являются одним из важных инструментов для определения реакции культур растений на внешние условия среды, а также для анализа устойчивости культур к этим условиям. Преимущество данной технологии является отсутствие воздействия (разрушения целостности структуры) анализируемых растений. Подобные индексы представляют собой комплексные метрики, которые используют информацию о растительном покрове, фотосинтетической активности и других факторах, связанных с ростом и развитием растений. Несмотря на все это не все индексы имеют

дополнительные значения для оценки засухоустойчивости, так как данный факт мало отмечен в научной литературе.

Поэтому нашей целью являлось оценить взаимосвязь и ценность определённой группы вегетационных индексов в различные периоды развития твёрдой пшеницы.

Таким образом, изучение последствий засухи на твёрдую пшеницу является важной задачей для сельскохозяйственной науки и практики. Понимание механизмов, которые приводят к негативным изменениям в урожае твёрдой пшеницы при засухе, может помочь в разработке эффективных мер по улучшению устойчивости этой культуры к засухе.

В качестве исследуемого материала использовались пять сортов яровой твёрдой пшеницы различного происхождения: Памяти Чеховича (СамНЦ РАН, г. Самара), Жемчужина Сибири и Омский коралл (Омский АНЦ, г. Омск), Гусельская (ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов), Odisseo (Италия). Исследования проводились в 2023 г. посредством использования искусственных засушников на базе лаборатории яровой твёрдой пшеницы Омского АНЦ.

В контроле уровень водообеспечения составлял 80% (сорт контроль) от полной влагоемкости почвы. Засуху создавали в период кущения – колошения на уровне 30% от полной влагоемкости почвы. Содержание воды контролировали ежедневно весовым методом.

В качестве инструмента для анализа вегетационных индексов применялся листовой спектрометр CL-710S. В исследованиях анализировались три вегетационных индекса: Zarco-Tejada & Miller (ZMI), Water Band Index (WBI), Vogelmann Red Edge Index 1 (VRE1) [3, 5, 6].

Оценка фотосинтетической активности является актуальным направлением исследований, определяющим потенциальные продуктивные возможности сорта [4]. В среднем по питомнику, достоверных различий по индексу ZMI между растениями, выращенными в условиях оптимального увлажнения и в условиях засухи не обнаружено (разница по исследуемому индексу варьировала от -0,05 до 0,012 усл. ед., при  $НСР_{05} = 0,09$ ). Учитывая, что рекомендованный диапазон данного индекса составляет 0,5...1,5 усл. ед. [5], можно предположить, что растения стабильно находились в стрессовых условиях, независимо от условий увлажнения. Либо, для условий южной лесостепи Западной Сибири актуален будет иной диапазон индекса ZMI. В среднем за период исследований, индекс ZMI составлял 1,607 усл. ед. в фазе кущения, снизился до 1,581 усл. ед. в фазе выхода в трубку и повысился до 1,759 усл. ед. в фазе кущения. Данной тенденции соответствовали сорта Жемчужина Сибири, Омский коралл, Odisseo контроль, Памяти Чеховича и Гусельская (1,581...1,685; 1,502...1,633; 1,587...1,871 усл. ед. соответственно), рис. А.

У сортов Жемчужина Сибири и Омский коралл контроль, а также Odisseo отмечено последовательное повышение индекса в каждой последующей фазе развития (от 1,491...1,646 усл. ед. в фазе кущения до 1,742...1,842 усл. ед. в фазе выхода в трубку), рис. Б.

Анализ индекса Water Band Index (WBI) в среднем по питомнику (аналогично предыдущему рассмотренному индексу) указывает на несущественные различия между растениями, выращенными при стандартной увлажнённости и в условиях засухи (в зависимости от фаз развития разница составила от -0,003 до 0,006 усл. ед.),  $НСР_{05} = 0,07$ . Анализируя изменение индекса WBI у сортов яровой твёрдой пшеницы в зависимости от уровня увлажнения, можно отметить существенную сортовую специфику. Так, сорта Жемчужина Сибири и Омский коралл, при уровне 30% уровне от полной влагоемкости почвы характеризовались снижением данного индекса в фазе выхода в трубку (рис. В). В то время как при оптимальном увлажнении трубку (рис. Г) у данных сортов отмечено непрерывное повышение индекса ZMI. Учитывая, что сорта Жемчужина Сибири и Омский коралл являются адаптивными для условий Западной Сибири, можно предположить, что данная тенденция развития растений по индексу ZMI должна являться эталонной. Рекомендованный диапазон индекса WBI составляет 0,2-0,9 усл. ед. [5], в наших исследованиях наблюдается соответствие значений данного индекса верхней границе (от 0,9 до 1,0). В фазе выхода в трубку при воздействии как засухи, так и увлажнённых условий отмечен тренд к несущественному увеличению значений водного индекса ( $WBI = 1,006$  и  $1,009$  усл. ед.). В фазу колошения наблюдается его резкое снижение относительно фазы кущения ( $WBI = -0,003$  и  $-0,013$  усл. ед.). Данному условию (как в оптимальных, так и в засушливых условиях) соответствовали сорта Жемчужина Сибири, Омский коралл, Odisseo и Памяти Чеховича ( $WBI = 0,987...1,008$ ;  $1,001...1,013$ ;  $0,988...0,998$  усл. ед.) в фазах кущения, выхода в трубку и колошения соответственно, рис. В. Сорт Гусельская характеризовался снижением данного индекса (от 1,015 до 0,997 усл. ед.), рис. Г. Учитывая, что подавляющее большинство исследуемых сортов соответствовали тенденции повышения индекса WBI в фазе выхода в трубку с последующим его снижением – очевидно, что данную тенденцию следует считать нормой для условий южной лесостепи Западной Сибири.

Оценивая индекс водной полосы (VREI1) можно сказать, что в условиях нормального увлажнения и условиях засухи значения данного индекса не отличались (разница составляла  $-0,0002...+0,014$  усл. ед.;  $НСР_{05}=0,08$ ), в среднем по питомнику. Согласно литературным данным, общепринятый диапазон VREI1 для здоровых растений составляет от 0,7 до 1,0 усл. ед. [3], данные наших исследований превышают его верхнюю границу и варьируют от 1,207 до 1,278 усл. ед. В процессе роста и развития растений индекс VREI1 имел тенденцию к увеличению: от 1,246 усл. ед. в фазе кущения до 1,306 усл. ед. в фазе колошения, в среднем по питомнику. Соответствовали данной тенденции сорта Жемчужина Сибири и Омский коралл (контроль), а также сорт Odisseo ( $1,203...1,338$  усл. ед.), рис. Е. Учитывая, что в условиях оптимального увлажнения индекс VREI1 последовательно повышается в процессе роста и развития растений у адаптивных сортов местной селекции, можно предположить, что данная тенденция индекса является нормой.

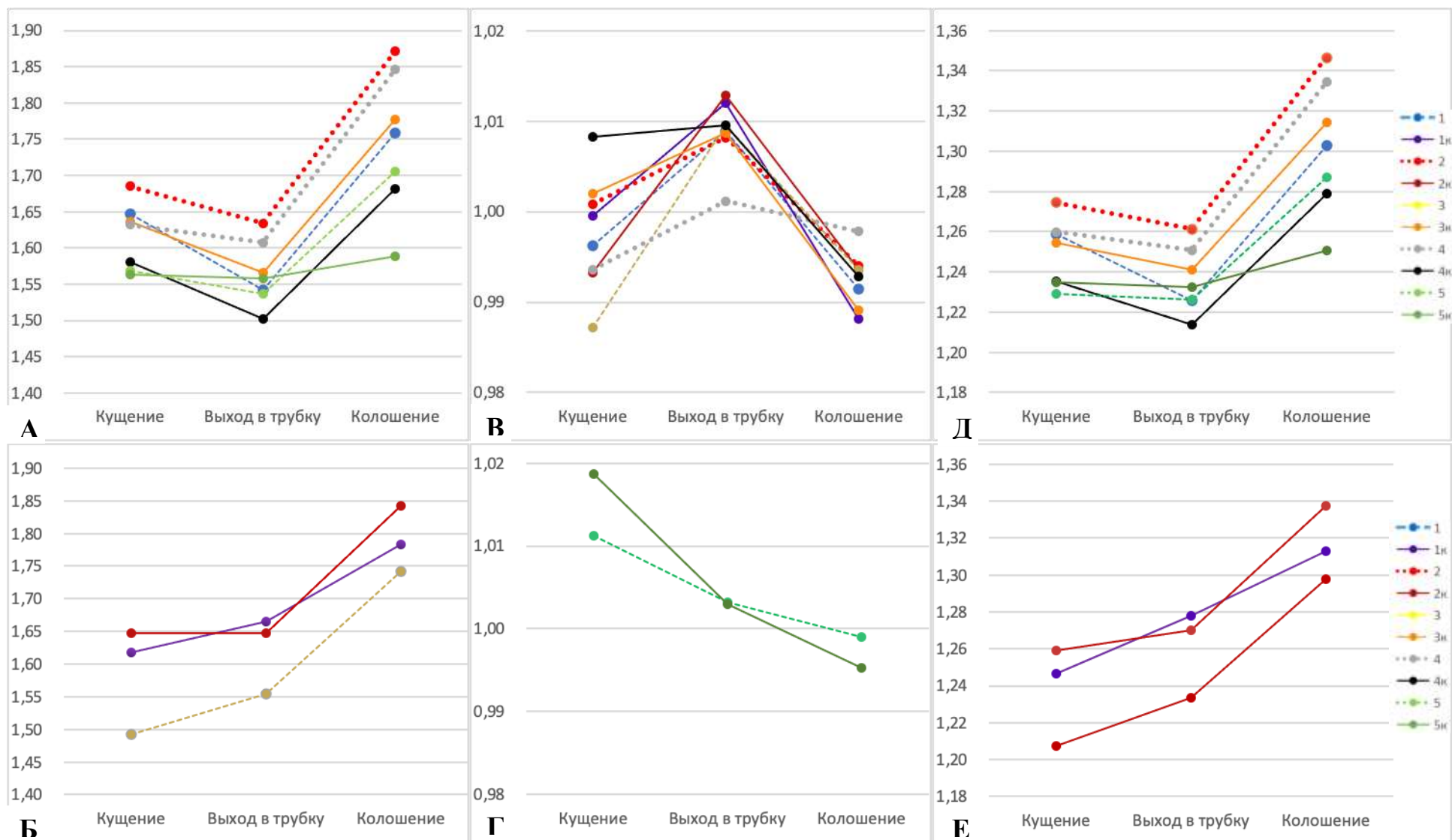


Рисунок - Группа сортов, характеризующихся снижением индекса ZMI в фазе выхода в трубку (А); повышением индекса ZMI в фазе выхода в трубку (Б); повышением индекса WBI в фазе выхода в трубку (В); снижением индекса WBI в фазе выхода в трубку (Г); снижением индекса VREI в фазе выхода в трубку (Д); повышением индекса VREI в фазе выхода в трубку (Е): к – контроль; 1 - Жемчужина Сибири, 2 - Омский коралл, 3 – Odisseo, 4 - Памяти Чеховича контроль, 5 – Гусельская.

У прочих исследуемых сортов наблюдалось снижение индекса VREI1 (от 1,228...1,274 усл. ед. в фазе кущения до 1,214...1,261 усл. ед. в фазе выхода в трубку); в следующей фазе отмечено его резкое возрастание до 1,250...1,347 усл. ед.

Анализ данных вегетационных индексов может указывать на то, что имеющиеся сорта твердой пшеницы имеют различную генетическую адаптацию растений к условиям среды [2]. Благодаря этому можно судить о том, что сорта имеют отличные друг от друга механизмы ответа на условия внешней среды.

#### **Выводы:**

1. Анализ индексов ZMI, WBI и VREI1 показал отсутствие существенной разницы между растениями, выращенными в условиях оптимального увлажнения и в засушливых. Применение данных индексов для оценки засухоустойчивости сортов не представляется возможным.

2. При сравнении с литературными данными, полученные в наших исследованиях значения индексов ZMI, WBI и VREI1 имеют более широкий диапазон, что требует дальнейших исследований.

3. Отмечена существенная сортовая специфика при анализе индексов ZMI, WBI и VREI1 у блока сортов. С целью выявления оптимальных тенденций развития растений в соответствии с исследуемыми индексами, предлагается брать за основу реакцию местных районированных сортов Жемчужина Сибири и Омский коралл.

4. Индексы ZMI и VREI1 имеют тенденцию в росту в течение периода вегетации (ZMI = 1,607...1,759; VREI1 = 1,249...1,302); индекс WBI, напротив, снижается от 1,001 до 0,993.

#### **Библиографический список**

1. Кирьякова, М. Н. Оценка адаптивной способности перспективных линий яровой твердой пшеницы в условиях Омской области / М. Н. Кирьякова, В. С. Юсов, М. Г. Евдокимов, Д. А. Глушаков // Вестник НГАУ. – 2020. – № 2(55). – С. 18-26.

2. Плотникова, Л. Я. Результаты изучения засухоустойчивости твердой пшеницы и ее компонентов в Западной Сибири / Л. Я. Плотникова, Д. А. Глушаков, В. С. Юсов // Вестник ОмГАУ. – 2022. – № 4(48). – С. 56-70.

3. Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика. – № 2. – 2011. – С. 98- 102

4. Юсова, О. А. Оценка фотосинтетической активности яровой твердой пшеницы для условий южной лесостепи Западной Сибири / О. А. Юсова, В. С. Юсов // Итоги и перспективы развития агропромышленного комплекса. – 2019. – С. 191-194.

5. Assessment of crop traits retrieved from airborne hyperspectral and thermal remote sensing imagery to predict wheat grain protein content / A. Longmire, T. Poblete, J.R. Hunt, et al. // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2022. – Vol. 193. P. 284 – 298.

6. Estimating Water Stress in Plants Using Hyperspectral Sensing / C. Jones, P. Weckler, N. Maness, et al. // CSAE/SCGR. – 2004 – P. 284 – 298.

7.

УДК 57.085.23

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АДАПТАЦИИ МИКРОКЛОНОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ *MENTHA PIPERITA* L. И *MELISSA OFFICINALIS* L. К УСЛОВИЯМ *EX VITRO***

**Гущин Артем Владиславович**, ассистент кафедры биотехнологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, [temagushchin@yandex.ru](mailto:temagushchin@yandex.ru)

**Калашникова Елена Анатольевна**, профессор кафедры биотехнологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, [kalash0407@mail.ru](mailto:kalash0407@mail.ru)

**Киракосян Рима Нориковна**, доцент кафедры биотехнологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, [mia41291@mail.ru](mailto:mia41291@mail.ru)

**Аннотация:** Разработан способ адаптации микрорастений разных таксономических групп к условиям *ex vitro*. Выявлено, что микроклоны лекарственных растений *Mentha piperita* L. И *Melissa officinalis* L. результативнее адаптируются к условиям, если использовать аэропонные технологии перед пересадкой их в почвенный субстрат, так как прямое разбрызгивание питательного раствора со свободным кислородом стимулируют рост корневой системы, корневых волосков и, следовательно, самого побега.

**Ключевые слова:** лекарственные растения, клональное микроразмножение, *in vitro*, аэропонные технологии

Ученые предсказывают, что нынешнее население мира, которое составляет 7,89 миллиарда человек, увеличится почти на миллиард в течение следующих десяти лет, а к 2050 году количество людей составит 9,7 миллиардов [1]. В связи с этим увеличится так же спрос на продовольствие и лекарственные препараты, а вместе с этим и на землю для выращивания растений [2]. Чтобы избежать данную тенденцию, сравнительно недавно стали применять новый способ выращивания растений, а именно, на гидропонике. Данный способ широко применяется для выращивания, как правило, овощных культур, а также для вертикального озеленения. В последнее время пользуется другой способ выращивания растений, модифицированная гидропоника – это аэропонные установки. Аэропонные технологии сейчас широко применяются в сельском хозяйстве, например, в качестве вертикальных ферм [3].

Поскольку аэропонные технологии до конца не изучены и не отработаны режимы выращивания растений разных таксономических групп, то интерес к данным технологиям постоянно растет. Например, на сегодняшний момент до конца не изучено влияние различных составов питательных растворов на накопление зеленой биомассы некоторых лекарственных растений, которые являются источником ценных вторичных метаболитов, широко применяемых в