

На правах рукописи

Abdul Hossain

ХОССАИН АКБАР

**ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
СЕВЕРА БАНГЛАДЕШ НА СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ И
ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ**

03.02.08 – экология (биология)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Саратов – 2013

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный университет» в научно-образовательном центре экологического земледелия «Астэко»

Научный руководитель: Лозовская Марина Вячеславовна, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный университет», ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра экологического земледелия «Астэко» (г. Астрахань)

Официальные оппоненты: Жужукин Валерий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФГНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы», заместитель директора по науке (г. Саратов)

Босхамджиева Светлана Григорьевна, кандидат биологических наук, ФГБОУ ВПО «Калмыцкий государственный университет», доцент кафедры ботаники и зоологии (г. Элиста)

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет» (г. Нальчик)

Защита состоится 25 апреля 2013 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.243.13 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по адресу: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83; e-mail: biosovet@sgu.ru; факс 8(8452)27-85-29

С диссертацией можно ознакомиться в зональной научной библиотеке им. В.А. Артисевича ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» или на сайте ВАК РФ

Автореферат разослан 24 марта 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



С.А. Невский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Адаптация биосистем, их приспособленность выражается в способности к перестройке своей структуры и метаболизма так, чтобы частично или полностью нивелировать внешние воздействия, оптимизировать систему. Адаптация посредством разных механизмов возвращает биосистему к оптимальному состоянию, для которого характерна максимальная при данных условиях эффективность превращения поступающей энергии в собственную биомассу (Лозовская, 2005).

Способность растения изменять метаболизм в ответ на действие различных факторов окружающей среды обусловлена генетически. Чем выше способность растения изменять метаболизм, тем шире норма его реакции, лучше способность к адаптации. Сорта культурных растений, обладая различной нормой реакции, представляют собой своеобразные модельные объекты для экспериментов в системе «организм-среда». Действие высоких температур в условиях водного дефицита изменяет фенологию культур, приводит к уменьшению транспирации, торможению процессов фотосинтеза, дыхания, снижению активности фитогормонов. Жаростойкость отдельных сортов растений связана, как правило, с рядом приспособлений: наличием термостабильных белков, увеличением вязкости цитоплазмы, повышенной концентрацией осмотически активных веществ. Атмосферная засуха часто бывает причиной временного или глубокого завядания, мобилизации запасных веществ для поддержания жизнеспособности. Водный дефицит и завядание обуславливают сдвиг в физиологическом состоянии растительного организма: обратимый или необратимый. Водный стресс изменяет нормальный ход фотосинтеза и дыхания. Разные органы растения по-разному реагируют на водный стресс. Так происходит перераспределение воды от старых к молодым листьям, от корневой системы, отмирают корневые волоски, редуцируются завязи и соцветия. Способность растений к восстановлению после воздействия стрессоров разной природы – генотипический признак. Следовательно, разные сорта обладают разной репаративной способностью, что важно знать при их культивировании. Настоящее исследование посвящено оценке адаптивного потенциала восьми новых сортов яровой мягкой полукарликовой пшеницы при воздействии физических стрессоров – повышенной температуры и недостаточной влажности.

В Бангладеш по важности среди зерновых пшеница стоит на втором месте после риса, и улучшение производительности этой культуры играет главную роль в производстве продуктов питания. Тем не менее, урожайность пшеницы по сравнению с другими развитыми странами мира очень низкая – примерно 1,90 т/га (FAO, 1999; Hossain, Teixeira da Silva, 2013). Причина такой низкой урожайности кроется в неблагоприятных агроклиматических условиях выращивания, недостаточной осведомленности фермеров, несбалансированном использовании удобрений и других факторах, связанных с возделыванием данной культуры (Rahman *et al.*, 2009).

Оптимальное время для посева пшеницы в Бангладеш – с середины ноября до первой недели декабря. На севере Бангладеш около 85% засеваемой пшеницы имеет предшествующую культуру - поздний сорт риса Аман. Около 60% пшеницы высевают с опозданием срока посева вследствие слишком поздних сроков уборки риса сорта Аман. В результате поздних сроков сева растения пшеницы в репродук-

тивную стадию развития испытывают температурный стресс из-за высокой температуры воздуха (Badrudin *et al.*, 1994). Вместе с тем оптимальные границы повреждения и устойчивости сортов, новых линий и форм зерновых культур на разных этапах роста и развития к водному и температурному стрессам, оцениваемые по морфологическим, физиологическим и биохимическим параметрам, изучены еще недостаточно. Получение таких данных важно для создания сортов сельскохозяйственных культур с эффективным типом водопотребления для засушливых районов Бангладеш.

В связи с этим настоящее исследование посвящено оценке влияния климатических факторов на стрессоустойчивость и продуктивность некоторых выведенных в Бангладеш мягких полукарликовых сортов пшеницы.

Цель исследования – оценить влияние экологических факторов на продуктивность и стрессоустойчивость перспективных мягких полукарликовых сортов яровой пшеницы в условиях севера Бангладеш.

Задачи исследования:

1. Охарактеризовать влияние погодных условий на продолжительность фенологических фаз растений пшеницы в условиях севера Бангладеш;
2. Оценить влияние сроков посева на площадь флагового листа, сухую биомассу;
3. Выявить влияние климатических условий севера Бангладеш на рост и развитие пшеницы, в том числе на густоту стояния, кустистость;
4. Определить экологическую пластичность сортов яровой пшеницы по урожайности на севере Бангладеш;
5. Установить теплорезистентность некоторых сортов пшеницы.

Научная новизна работы

Впервые на севере Бангладеш проведены комплексные исследования по оценке экологической пластичности, продуктивности, стрессоустойчивости перспективных мягких полукарликовых сортов яровой пшеницы. Выявленная изменчивость и пластичность морфо-физиологических параметров позволит проводить раннюю диагностику состояния растений и, в соответствии с этим, регулировать агротехнические мероприятия по повышению урожайности испытываемых сортов.

Теоретическая и практическая значимость работы

Расширены представления о биологии и экологии испытываемых сортов, позволившие установить основные параметры оценки их адаптационных возможностей. Подтверждены сведения о влиянии экстремальных факторов на основные показатели роста и развития сортов, в особенности, на продолжительность жизни и продукционные процессы. По результатам исследования, сорта БАРИ Гом-26 и Шатабди могут быть рекомендованы как перспективные мягкие полукарликовые сорта яровой пшеницы, которые в условиях водного дефицита и температурного стресса способны формировать урожай зерна на уровне 3,5–4,3 и 3,4–4,0 т/га соответственно.

Степень достоверности и апробация результатов

Результаты исследований были представлены на ежегодной конференции сельскохозяйственного научно-исследовательского института «Научно-исследовательский центр пшеницы» (Бангладеш, г. Зойдебпир, 2009, 2011 гг.); на

международных научно-практических конференциях: «Социально-производственное развитие сельских муниципальных образований аридных территорий» (Россия, Астраханская обл., с. Соленое Займище, ГНУ ПНИИАЗ, 2010 г.), «Проблемы рационального природопользования и сохранения экологического равновесия в аридных зонах» (Россия, Астраханская обл., с. Соленое Займище, ГНУ ПНИИАЗ, 2012 г.), «Человек и животные» (Россия, г. Астрахань, Астраханский государственный университет, 2012г.), Всероссийской научно-практической конференции «Исследования молодых ученых – вклад в инновационное развитие России» (Россия, г. Астрахань, Астраханский государственный университет, 2012г.).

Декларация личного участия автора

Экспериментальные исследования выполнялись автором лично или при его непосредственном участии в составе научных групп в период с 2009 по 2011 годы.

Анализ полученных данных и их интерпретация, оформление осуществлено автором самостоятельно.

В совместных публикациях вклад соискателя составил от 40 до 60%.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 11 научных статей, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК РФ.

Объем и структура работы. Диссертация написана на 124 страницах компьютерного текста, состоит из введения, 6 глав, выводов, списка использованной литературы, включающего 180 наименований, в том числе 87 - на иностранном языке. Работа содержит 19 таблиц, 40 рисунков.

Положения, выносимые на защиту:

1. мягкие сорта полукарликовой яровой пшеницы проявляют экологическую пластичность при воздействии факторов окружающей среды севера Бангладеш;
2. температурный и водный стресс ускоряют все этапы развития, снижают продуктивность яровой пшеницы;
3. урожайность мягких полукарликовых сортов яровой пшеницы на севере Бангладеш сортов зависит от срока посева.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, цель, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Литературный обзор» дается оценка яровой пшенице как основной зерновой культуре, выращиваемой в Бангладеш, приводятся биологические особенности яровой пшеницы, влияние эдафических условий на возделывание яровой пшеницы, влияние погодных условий на продолжительность фенологических фаз, рост и развитие, структуру урожая, влияние засухи на культуру и ее стрессоустойчивость.

Во второй главе «Объекты исследований, методика и условия проведения опытов» дается характеристика объектов исследований, почвенно-климатических особенностей севера Бангладеш, приводится методика исследований.

Исследования проводились в течение 2009–2011 гг. в ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный университет». Объектами исследований явились мягкие сорта яровой пшеницы: Соурав, Гоураб, Шатабди, Суфий, Биджой, Продип, БАРИ Гом-25 и БАРИ Гом-26, выведенные в Научно-исследовательском центре пшеницы НИИ сельского хозяйства Бангладеш. Размещение вариантов систематическое. Повторность трехкратная. Учетная площадь делянки – 6,4 м² (4 м × 1,6 м). Исследовались четыре срока посева: ранний (8 ноября), средний (22 ноября), поздний (13 декабря) и очень поздний (27 декабря). Норма высева – 120 кг/га, ширина междурядий при посеве – 20 см. Перед посевом семена обрабатывались фунгицидным препаратом, содержащим карбоксин и тирам «Provaх-200 WP». Минеральные удобрения, содержащие азот, фосфор, калий, серу и бор, вносились в рекомендованных ПНИЦ дозах: 100, 27, 40, 20, 1 кг/га. Две трети нормы азотных удобрений и полный объём других удобрений применялись в качестве базового удобрения во время окончательной подготовки земли под посев. Треть нормы азотных удобрений вносилась после первого полива (21-й день после посева). Второй и третий полив производился на стадии выхода растений в трубку (55 дней после посева) и во время налива зерна (75 дней после посева).

Для фенологических наблюдений использовалась методика определения этапов Задока (ЗЭ) (*Zadoks et al.*, 1974) и описание фенологических фаз развития зерновых культур в соответствии с рекомендациями D.M. Harrel *et al.* (1993): посев – выход в трубку, посев – колошение, посев – физиологическое созревание, посев – созревание.

Для структурного анализа продуктивности растений определяли площадь флагового листа (см²), сухую биомассу флагового листа (г), густоту стояния (шт./м²), количество продуктивных стеблей (шт./м²), сухую биомассу (т/га); а также проводили оценку относительной урожайности (ОУ%) и индекс стрессовосприимчивости (ИСВ) в пересчёте на урожай зерна.

Урожайность сортов яровой пшеницы оценивали по следующим критериям: длина колоса (см), число колосков в колосе (шт.), число зёрен в колосе (шт.), масса 1000 зёрен (г), урожайность (т/га).

Статистическая обработка полученных результатов проведена с использованием стандартных методов при помощи MSTAT-C (O.F. Russell, 1994). Для оценки достоверных различий между сортами по отдельным анализируемым признакам использовался факторный анализ, в частности определялась величина наименьшей значимой разницы между сортами по каждому из признаков при вероятности P = 0,95 (Удольская, 1976).

Непосредственно перед посевом проводили анализ почв, включающий оценку ее плодородия (Воробьева, 1998), изменение pH, определение катионно-анионного состава водной вытяжки (Агрохимические методы..., 1975).

Эксперименты были проведены в окрестностях г. Динаждпур. Округ Динаждпур располагается на Старой гималайской подгорной равнине, в первой агро-экологической зоне. Географическое положение данной области: 25°38' с.ш. и 88°41' в.д., 38,20 м н.у.м. Общая площадь округа – 3437,89 км². Экспериментальные площадки расположены в дельте реки Пурнабхаба, на

пойменных почвах Баринда и пойменных почвах Тисты. Пойменные почвы Баринда относятся к старым аллювиальным образованиям и обычно состоит из массивных глинистых пластов бледного красновато-коричневого цвета, который при выветривании часто кажется желтоватым. рН почвы колеблется между 4,5 и 6,5. Почвы испытывают дефицит азота и фосфора. Пойменные почвы Тисты в целом плодородные и богатые калием и фосфатами. Их рН колеблется от 5,5 до 6,5.

Бангладеш расположена в зоне тропического муссонного климата, характеризующегося высокими значениями и широкой сезонной амплитудой температуры и влажности. Региональные климатические различия в этой стране незначительны. Наблюдаются, как правило, три сезона: горячий, душный летний период (с марта до июня), жаркий, влажный сезон дождей (с июня до ноября) и теплый/жаркий и сухой зимний период (с декабря до февраля). Максимальная температура летом колеблется, в основном, между 38 и 41 °С. Апрель, май и июнь – самые жаркие месяцы в большинстве регионов страны. Январь – самый холодный месяц: средняя температура на большей части страны опускается днем до +16...+20 °С, а ночью колеблется около +10 °С. В северных и центральных районах преобладают ветра, дующие в зимнее время с севера и северо-запада со скоростью 1–3 км/ч, недалеко от побережья – 3–6 км/ч. Около 80 % осадков в Бангладеш приходится на лето (сезон дождей).

Климат в Динаджпуре тропический, жаркий и влажный. Район имеет ярко выраженный муссонный сезон со среднегодовой температурой +25 °С. Температура самого холодного месяца (январь) составляет +18 °С, самого теплого месяца (август) – +29 °С. Самая высокая относительная влажность воздуха (%) наблюдается с июня до августа, а самая низкая – в феврале-марте. Недостаточная увлажненность почвы вследствие малого количества осадков с ноября по март – одна из основных проблем при выращивании пшеницы в этом регионе, поэтому при возделывании данной культуры необходимо орошение.

Анализируя продолжительность фенологических фаз, рост, развитие и урожайность пшеницы, нашими исследованиями подтверждаются данные, что влажность почвы, относительная влажность воздуха, а также температура воздуха являются лимитирующими факторами от прорастания семян до созревания зерновых культур. Начиная с 8 ноября (при раннем посеве) максимальная температура (T_{\max}) в фазе вегетации была $\geq +29$ °С, минимальная температура (T_{\min}) $\leq +17$ °С; в стадии налива зерна $T_{\max} \geq +23$ °С, T_{\min} составила +10...+12 °С. Максимальная температура в фазе вегетативного развития была выше +26 °С, что препятствует получению в дальнейшем хорошего урожая. Hossain *et al.* (2009; 2011; 2012), Hakim *et al.* (2012), Kumer *et al.* (1994) отмечали, что при раннем посеве яровой пшеницы (1-я и 2-я недели ноября) в тропическом климате (например, в Индии, Пакистане и Бангладеш) растения подвергаются неблагоприятным условиям в фазе вегетативного развития (высокая температура), в результате чего снижается кустистость. Несмотря на то, что стадии колошения и налива зерна совпадают с благоприятной температурой (в январе и феврале), такая пшеница не оправится от стресса, которому она подвергалась в начале вегетации. В период наблюдений с 22 ноября (при среднем посеве пшеницы) средняя T_{\max} в фазе вегетативной стадии была около +26 °С, а T_{\min} – около

+12 °С; в стадии наполнения зерна средняя T_{max} была около +25 °С, T_{min} – около +13...+14 °С. Такие температуры подходят для хорошего урожая пшеницы в тропическом климате (Наким *et al.*, 2012; Hossain *et al.*, 2009, 2011, 2012). Наблюдения, начатые 27 декабря (при очень позднем посеве), показали, что фаза максимального вегетативного роста пшеницы проходила в условиях температурного стресса при $T_{max} \geq +26$ °С, а $T_{min} \leq +15$ °С; фаза налива зерна – при $T_{max} > +34$ °С, $T_{min} \leq +18...+20$ °С (март-апрель). Такие температуры отразились на росте и развитии культуры. Это предположение также поддерживает S.R. Stewart *et al.* (1990); M. Farooq *et al.* (2008), которые отмечают, что низкая температура ($\leq +10$ °С) в сроки посева сказывается на стадиях прорастания семян и ранней рассады.

Экспериментальные участки, на которых выращивалась пшеница, расположены на севере Бангладеш, на территории старых дельт и сложены пойменными почвами Баринда, пойменными почвами Тисты. Расположение участков на возвышенностях предохраняет их от воздействия полых вод, однако отсутствие ежегодных плодородных наносов, приходящих с реками, и интенсивная эксплуатация почвы приводят к их обеднению.

Результаты анализа почвы до посева показали, что рН почвы экспериментального участка составило 5,46, а содержание органического вещества – 1%. Содержание азота составило всего 0,05%, что значительно ниже критического уровня (т.е. почва испытывала дефицит азота). Уровень питательных веществ для растений – кальция, магния, калия, серы, бора и цинка – был критически низким, а фосфора – напротив, высоким. Таким образом, почва испытывала дефицит азота и других элементов, за исключением фосфора, рН почвы сдвинут в кислую сторону (табл. 1).

Таблица 1

Некоторые свойства почвы опытного поля перед посевом

Показатель	рН	Органическое вещество	Общий N	Ca	Mg	K	P	S	B	Zn
		%		мг-экв. на 100 г почвы			мг на г почвы			
Экспериментальные данные	5,46	1,0	0,05	0,80	0,40	0,07	15,0	13,0	0,13	1,41
Нормативные данные	–	–	0,12	2,0	0,80	0,2	14,0	14,0	0,20	2,00
Оценка	Кислый	Низкий	Очень низкий	Низкий	Низкий	Низкий	Высокий	Низкий	Низкий	Низкий

Температура является лимитирующим фактором на всех этапах развития яровой пшеницы, включая прорастание, кущение, колошение, цветение и зрелость, так как температурные условия влияют на скорость подачи воды и других поверхностей необходимы для роста, но варьируется в зависимости от вида растений,

разнообразии и фенологические фазы. Морфогенез яровой пшеницы в различных условиях представлен на основе характеристики межфазных периодов и их изменчивости (Hossain *et al.*, 2009, 2011, 2012).

В настоящем опыте всем сортам потребовалось меньше времени при всех видах теплового стресса и больше времени при среднем посеве для достижения фазы выхода в трубку. По сравнению со средним сроком посева все сорта серьезно пострадали при раннем (ранний температурный стресс) и очень позднем (очень поздний температурный стресс) посевах. При среднем сроке посева сорту Шатабди потребовалось больше времени (64 дня) от посева до стадии выхода в трубку, что было статистически похоже на ситуацию у сортов Продип, Биджой и Соурав. Исследования, проводимые в тепличных и парниковых условиях показали, что к воздействию высоких температур особо чувствительны растения на стадии выхода в трубку, когда происходит закладка генеративных органов. Такая чувствительность сохраняется в течение 10-15 дней после воздействия (Foolad *et al.*, 2005).

Продолжительность периода «посев – колошение» у яровых зерновых культур определяется, в основном, температурой воздуха и длиной дня (Сергеев, 1970; Уваров, 2005). Длительность этого периода является устойчивым сортовым признаком и обусловлена биологическими особенностями сортов.

В настоящем эксперименте при среднем сроке посева всем сортам потребовалось много времени и значительно меньше времени при раннем посеве (ранний температурный стресс) для перехода от посева к стадии колошения. При очень позднем посеве (поздний температурный стресс) растениям всех сортов потребовалось от 64 до 66 дней для перехода к фазе колошения, хотя все показатели статистически одинаковы. Существенные различия между сортами были обнаружены при среднем посеве. Так сорту Шатабди при среднем посеве потребовалось больше времени (76 дней), а Гоураб в условиях раннего температурного стресса перешел к стадии колошения уже через 63 дня. Вероятно, это происходит из-за высокой нагрузки температурой, сокращающей продолжительность жизни.

Сроки наступления физиологического созревания пшеницы варьируют в зависимости от сорта (Shahzad *et al.*, 2007), но зависят от различных условий окружающей среды (Spink *et al.*, 1993).

Продолжительность периода «посев – физиологическое созревание» всех тестируемых сортов пшеницы значительно снижалась, начиная с раннего до позднего посева. Незначительные различия были обнаружены среди сортов, а также среди посевов в отношении времени, необходимого для достижения физиологической зрелости. Это может быть связано с сортовой генетикой и особенностями взаимодействия каждого сорта с окружающей средой.

В ходе настоящего эксперимента в раннем посеве были получены следующие результаты: у сорта Шатабди было зарегистрировано самое продолжительное время от посева до созревания (134 дня), чуть меньше (в порядке убывания) – сортам Соурав (132 дня), Биджой (131 день), Продип и БАРИ Гом-25 (131 день); Суфий (130 дней) и БАРИ Гом-26 созрели почти одновременно (рис. 1).

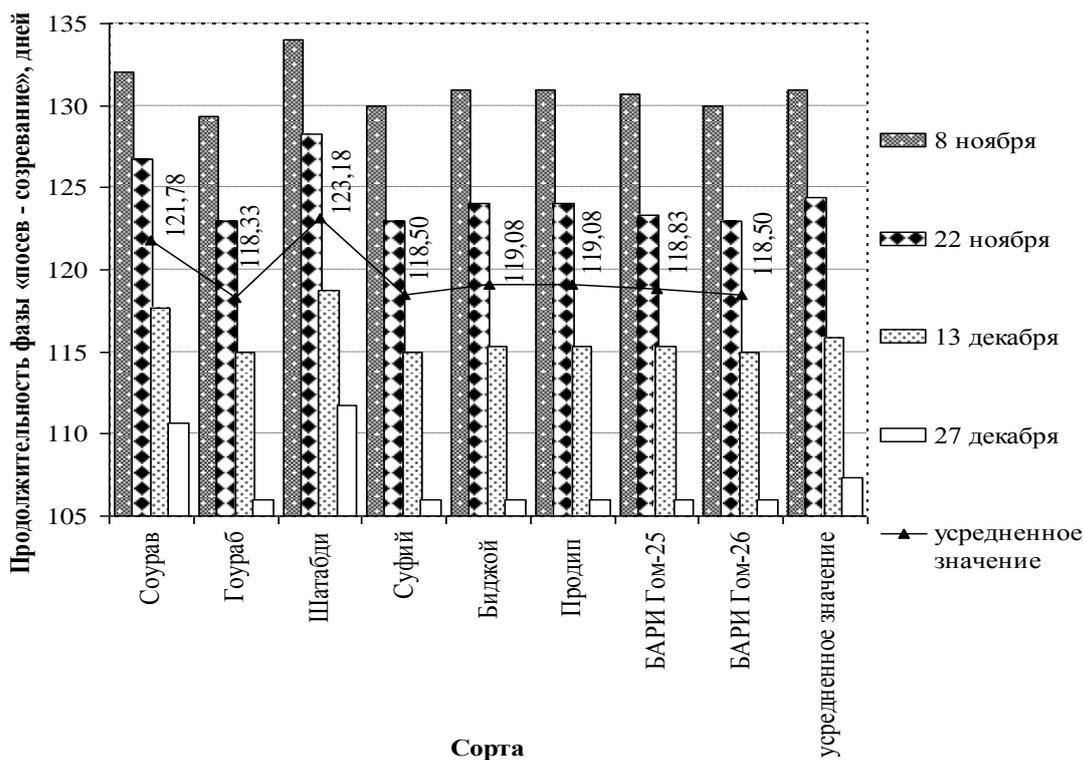


Рис. 1. Влияние сроков посева на продолжительность периода «посев – созревание» яровой пшеницы

Наименьшая значимая разность при $p < 0,05 - 0,50$; коэффициент вариации – 0,26

В условиях позднего теплового стресса продолжительность жизни до созревания также оказалась самой высокой у Шатабди (111,7 дня), далее следовал Соурав (110,7 дня). Аналогичный результат был также получен М.А.З. Sarker *et al.* (2009) в экспериментах с тремя сортами пшеницы (Шатабди, Суфий и Продип): Шатабди созрел позднее по сравнению с Суфий и Продип. Различия в днях при позднем и очень позднем посевах до стадии зрелости между сортами Гоураб, Суфий, Биджой, Продип, БАРИ Гом-25 и БАРИ Гом-26 были статистически незначительным. Из нашего опыта видно, при раннем, позднем и очень позднем сроках посевах на севере Бангладеш зерновые культуры сильно страдали от высокой температуры воздуха. В результате этого им потребовалось меньше дней, чтобы достичь зрелости, чем при среднем посевах. На севере Бангладеш из-за высокой температуры продолжительность данной фазы «посев – созревание» у исследуемых сортов снизилась на 6–7 % при позднем и на 13–15% при очень позднем посевах (рис. 2). По данным М.А. Nakim *et al.* (2012); А. Hossain *et al.* (2009; 2011; 2012) and М.А. Rahman *et al.* (2009), поздние посева приводят к сокращению продолжительности фенологических фаз.

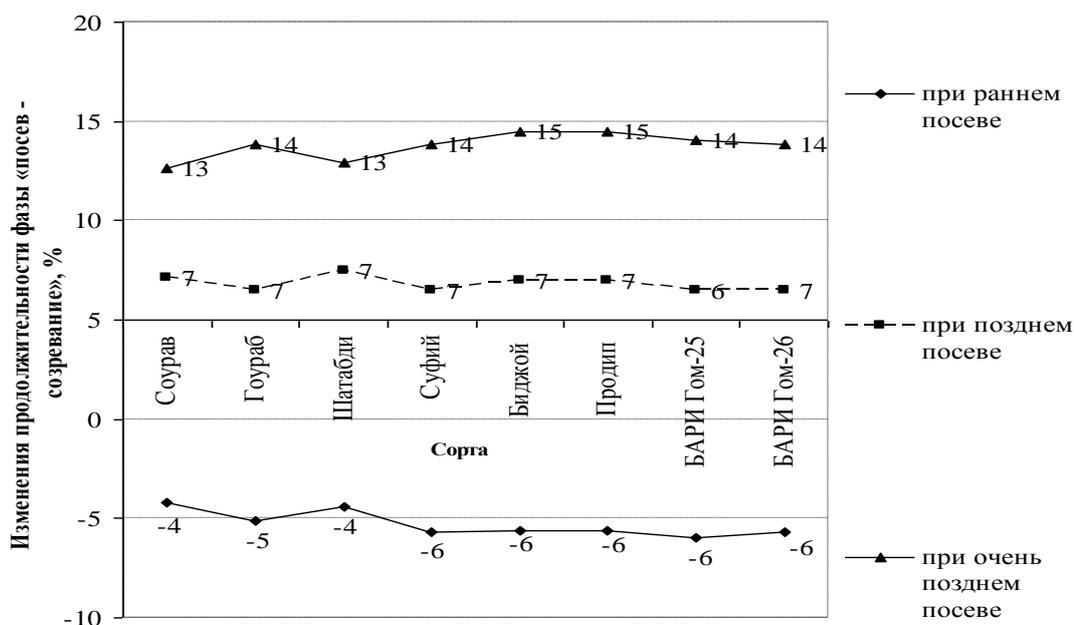


Рис. 2. Изменения продолжительность периода «посев – созревание» под влиянием разных сроков посева у яровой пшеницы
Приведены показатели, полученные при раннем, позднем, очень позднем посевах, в сравнении со средним сроком посева

Рост и развитие яровой пшеницы зависят от многих факторов окружающей среды: температуры, недостатка влаги и света, а также физических и химических свойств почвы. Исследования ученых показали, что высокие температуры нарушают правильный ход фотосинтеза в растениях пшеницы, приостанавливают их рост и развитие (Красовская, 1935). На севере Бангладеш, наряду с внедрением новых сортов яровой пшеницы, важным представляется изучение стресс-толерантности растений при разных сроках посева. Следовательно, актуальной проблемой для Бангладеш является подбор сортов яровой пшеницы, которые способны приспособиться к параметрам вегетационного сезона.

Флаговый лист является одним из наиболее важных органов (43% вклада) пшеницы, от которого зависит урожай зерна пшеницы (GRDC, 2002). В настоящее время в литературе имеется большой фактический материал о роли листьев в развитии и урожайности яровой пшеницы (Кумаков, 1986). Повышение температуры выше 41°C снижает фотосинтетическую активность листьев у восприимчивых сортов пшеницы (Volkova and Koshin, 1984).

В ходе исследований посевов яровой мягкой полукарликовой пшеницы на севере Бангладеш было установлено, что более высокая жизнеспособная площадь листьев у всех генотипов наблюдается при среднем сроке посева. В среднем посеве наибольшая площадь флаговых листьев зафиксирована у сорта Суфий, за ним следуют Шагабди и Продип, что статистически достоверно. С другой стороны, незначительные различия были отмечены у всех сортов при очень позднем посеве, кроме пшеницы Гоураб. Это, возможно, связано с ранним старением листьев, вызванным высокой температурой, при которой площадь зелёных листьев уменьшается. Из-за высокой температуры площади флагового листа снизилась в среднем для

всех сортов на 0–42% при раннем, 17-35% при позднем и на 35-53% при очень позднем посеве.

Температурный стресс является одной из наиболее важных причин снижения урожайности и производства сухого вещества пшеницу (Giaveno, Ferrero, 2003). А. Hossain и J. A. Teixeira da Silva (2012) отмечали, что посев пшеницы при высоких температурах приводит к ускоренному развитию растений, что в конечном итоге приводит к снижению биомассы и бесплодию и, следовательно, плохому урожаю. В настоящем исследовании было отмечено, что растения пшеницы, посеянной слишком рано, сильно пострадали от температурного стресса, как и при позднем и очень позднем посевах.

При раннем посеве растения подвергались стрессу высокой температурой от всходов до вегетативной стадии, что привело к снижению прорастания, снижению кустистости, потере жизнеспособной площади листьев и уменьшению продолжительности жизни зеленого листа и, в конечном счете, препятствовало фотосинтезу.

По сравнению с остальными генотипами, растения сорта Шатабди, посеянные в среднем и позднем сроках, производили максимальное количество сухого вещества. Самые низкие значения сухого вещества отмечены при позднем посеве в растениях пшеницы Гоураб. Далее следуют сорта Соурав и Суфий при раннем посеве. По сравнению со средним посевом наблюдалось следующее снижение количества сухого вещества при раннем, позднем и очень позднем посевах под воздействием теплового стресса, из-за высокой температуры воздуха вес сухого вещества снизился в среднем для всех сортов на 16–41% при раннем, на 2–18% при позднем и на 7–25% при очень позднем посевах (рис. 3).

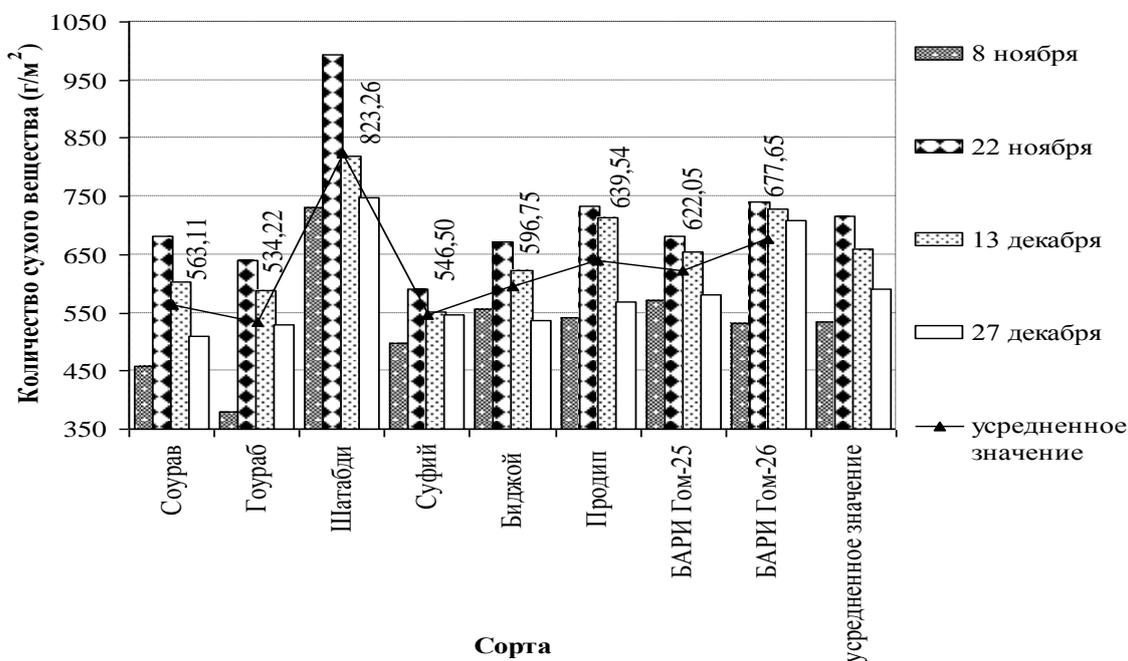


Рис. 3. Влияние сроков посева на количество сухого вещества яровой пшеницы. Наименьшая значимая разность при $p < 0,05$ – 51,1; коэффициент вариации– 5,0.

Семена каждого сорта представляют собой популяцию, в которой одни семена прорастают при более высоком осмотическом давлении, другие – при низком,

поэтому, чем больше в популяции первых семян, тем выше процент их прорастания при средней осмотической давлении. По данным R.A. Fischer (1985), всходы при действии высокой температуры (30°C) появляются, однако рост и развитие корневой системы их существенно тормозится. Благоприятной для прорастания температурой является 12–25°C, а нагрев почвы до 30–45°C уже препятствует прорастанию семян (Наким *et al.*, 2012). Густота стояния у разных сортов пшеницы зависит от качества семян (Sarker *et al.*, 2009).

В нашем опыте эффект интеракции (совместный эффект срока посева и сортов), рассчитанный на 10, 12, 14 и 16 дни после посева, не зависел от времени посева и сорта для появления проростков. Среднесуточная температура при раннем посеве в стадии прорастания составляла +19...+23°C, при среднем посеве – +18...+19°C, при позднем посеве – +14...+19°C и при очень позднем посеве – +14...+15°C, что не превышает оптимальный и максимальный диапазоны для прорастания. Различия, выявленные при всех четырех посевных сроках, могут быть связаны с сортовыми особенностями.

Кустистость сортов пшеницы зависит от сроков посева. В нашем исследовании максимальную кустистость при оптимальном и раннем посевах отметили у сорта Шатабди, затем шли сорта Гоураб и Суфий. Это может быть связано со способностью указанных сортов легко переносить высокие температуры в фазе кущения. При позднем и очень позднем посевах максимальное кущение зафиксировано у пшеницы Суфий, вероятно, из-за лучшей всхожести и лучшей вегетации, чем у других сортов. С учетом всех сроков посева и всех сортов наилучшая кустистость отмечена у растений пшеницы Суфий, чуть ниже – у Шатабди и Биджой. R. Kumar *et al.* (1994) отмечали, что при раннем посеве в условиях Бангладеш (1 и 2-я недели ноября) пшеница сталкивается с неблагоприятной окружающей средой (высокая температура) в вегетативной стадии, что приводит к меньшему кущению. Несмотря на то, что колошение и этап налива зерна совпадает с благоприятными низкими температурами (январь-февраль), растения не оправляются от стресса, испытанного на стадии начала вегетации.

Структура урожая яровой пшеницы включает количество продуктивных стеблей на единицу площади, массу 1000 зерен, длину колоса, число колосков в колосе, число зерен в колосе. В настоящей работе проведена оценка количества продуктивных стеблей на 1 квадратный метр площади у новых сортов мягкой полужесткой пшеницы. Установлено, что все сорта, посеянные в средние сроки посева, продемонстрировали максимальное число стеблей с колосьями, а минимальное количество таких стеблей было у растений при раннем посеве. При этом наибольшее количество стеблей с колосом в средние сроки посева наблюдалось у сорта Соурав, а затем (по убывающей) у Шатабди, Суфий и Гоураб, в то время как у БАРИ Гом-25 оно было самым низким. При раннем и очень позднем посевах число стеблей с колосом преобладало у сорта Суфий, самым низким этот показатель был у сорта Продип. E.J.M. Kirby *et al.* (1985) и N. Longnecker *et al.* (1993) также подчеркивали, что способность к производительной кустистости и выживанию у пшеницы зависит от сорта, расстояния между растениями, агрономических условий и плодородия почвы, а также экологических факторов, особенно температуры воздуха.

Длина колоса и число колосков в колосе считаются устойчивыми сортовыми признаками, способными изменяться под влиянием внешних условий. Характеристика колоса имеет большое значение в определении продуктивности, так как в колосе пшеницы формируется урожай. Длина колоса способна изменяться под воздействием внешних условий: уменьшения или увеличения влажности почвы, температуры воздуха и др.

В настоящем исследовании сорт Продип отличился самым длинным колосом при всех видах посева, далее шел БАРИ Гом-25. Самый короткий колос оказался у сорта Гоураб, за ним по этому показателю следовали БАРИ Гом-26, Шатабди, Суфий и Биджой. При раннем и очень позднем посевах, в сравнении с поздним посевом, у всех изучаемых сортов колос был короче, так же сократилось число колосков и количество зёрен в колосе. Незначительное сокращение длины колоса у БАРИ Гом-26 на 8 и 2%, а также у сортов Шатабди, Суфий и Биджой мы связываем с жаростойкостью этих сортов. С другой стороны, значительное снижение данного показателя на 20 и 16% у пшеницы Гоураб и на 15 и 9% – у сорта Соурав указывает на теплочувствительность данных сортов. Это связано с тем, что при раннем посеве (8 ноября) в вегетативной стадии максимальная температура составляла $\geq +26^{\circ}\text{C}$, а минимальная – $\leq +15^{\circ}\text{C}$, на стадии налива зерна $T_{\max} \geq +25^{\circ}\text{C}$, $T_{\min} = +10...+12^{\circ}\text{C}$. Температура в вегетативной стадии не способствовала получению хорошего урожая в дальнейшем.

Число колосков в колосе – генотипический признак, способный варьировать под действием внешних факторов. Это положение подтверждается данными В. Chakrabarti *et al.* (2011) и Y.A. Refay (2011), посвященными изучению генотипической изменчивости в различных условиях: действие низкой температуры ($<10^{\circ}\text{C}$), высокой температуры ($> 30^{\circ}\text{C}$) и засухи (дефицит почвенной влаги). В ходе наших исследований установлено, что у всех исследуемых сортов максимальное количество колосков в колосе развивается при средних сроках посева, в отличие от посевов с напряженными температурными условиями. Сорт Суфий, а затем Продип продемонстрировали наибольшее количество колосков в колосе при всех сроках посева. Наименьшее количество колосков в колосе показали растения сорта Гоураб при раннем, среднем и позднем посевах и Шатабди при очень позднем посеве. Мы связываем этот факт с генотипическими и фенотипическими характеристиками данных сортов, изменившимися в условиях окружающей среды.

Число зерен в колосе является основным показателем структуры урожая, поэтому между озерненностью колоса и урожайностью зерна отмечается зависимость (Кузнецов 1980). В проведенном опыте озерненность колоса у коллекционных образцов варьировала в зависимости от сорта и посева. Наибольшее число зёрен в колосе отмечено у БАРИ Гом-26 при всех сроках посева. Сорта Продип и Шатабди в среднем сроке посева продемонстрировали статистически большее количество зёрен в колосе. При среднем посеве культур температура всегда была благоприятной, в результате чего в колосе развилось максимальное число зёрен. В вегетативной стадии растения раннего посева сталкивались с высокой температурой, поэтому, несмотря на то, что в репродуктивной стадии они развивались при благоприятной температуре, количество зёрен в колосе снизилось. БАРИ Гом-26, а затем Суфий и Продип

при очень позднем посеве показали большее количество зёрен в колосе по сравнению с другими сортами, вероятно, из-за более высокой жаростойкости этих сортов.

По мнению М.Т. Labuschagne *et al.* (2009) и О. Veisz *et al.* (2008), урожай в значительной мере зависит от изменений массы 1000 зёрен, содержания крахмала в зернах, отзывчивых на влияние температурных стрессов и засухи. В ходе проведенных исследований наблюдалось некоторое варьирование массы 1000 зёрен у изучаемых сортов яровой пшеницы. Во всех посевных условиях самым крупнозёрным (масса 1000 зёрен – 60,5 г) оказался сорт БАРИ Гом-25, тогда как у стандартного сорта Суфий этот показатель был самым мелким и равен 39,3 г. Показатели массы 1000 зёрен всех сортов были статистически идентичными при раннем и позднем посевах; при очень позднем посеве данный показатель у всех сортов статистически отличался и был самым низким. По сравнению со средним сроком посева, в стрессовых условиях (высокая температурная нагрузка) этот показатель снизился на 31,30% у Соурав, на 35,09% – у Гоураб, на 23,65% – у Шатабди, на 25,90% – у Суфий, на 30,90% – у Биджой, на 25,84% – у Продип, на 28,55% – у БАРИ Гом-25 и 29,05% – у БАРИ Гом-26.

Масса зерна с единицы площади является одним из основных элементов структуры урожая и находится в прямой зависимости от числа зёрен в колосе и массы 1000 зёрен. Не существует идеального генотипа пшеницы, подходящего к различным регионам выращивания. Разные сорта по-разному реагируют на условия окружающей среды. Необходим рейтинг сортов по пластичности и урожайности для каждой местности (El-Morshidy *et al.*, 2001; Tawfelis, 2006).

В ходе настоящего исследования установлено, что величина урожайности изучаемых сортов яровой пшеницы значительно варьировала при разных стрессовых условиях (при раннем, позднем и очень позднем посевах). Так нами было установлено, что все сорта при среднем сроке посева произвели больший урожай зерна, чем в стрессовых условиях. Среди этих сортов самую высокую урожайность при всех сроках посева произвел сорт БАРИ Гом-26, затем Шатабди, Биджой, Продип и БАРИ Гом-25; у растений пшеницы сорта Суфий данный показатель был самым низким.

По сравнению со всеми сортами при всех сроках посева БАРИ Гом-26 отличился лучшей урожайностью при всех условиях стресса. Немного ниже урожайность была у сортов Соурав, Шатабди и Биджой при раннем посеве, Соурав, Шатабди, Биджой, Продип – при позднем посеве и Биджой и Шатабди - в очень позднем посеве из-за толерантности этих сортов к условиям теплового стресса. Из-за высокой температуры воздуха урожайность снизилась в среднем для всех сортов на 2–16% при раннем, на 3–7% при позднем и на 2–20% при очень позднем посевах (рис. 4,5).

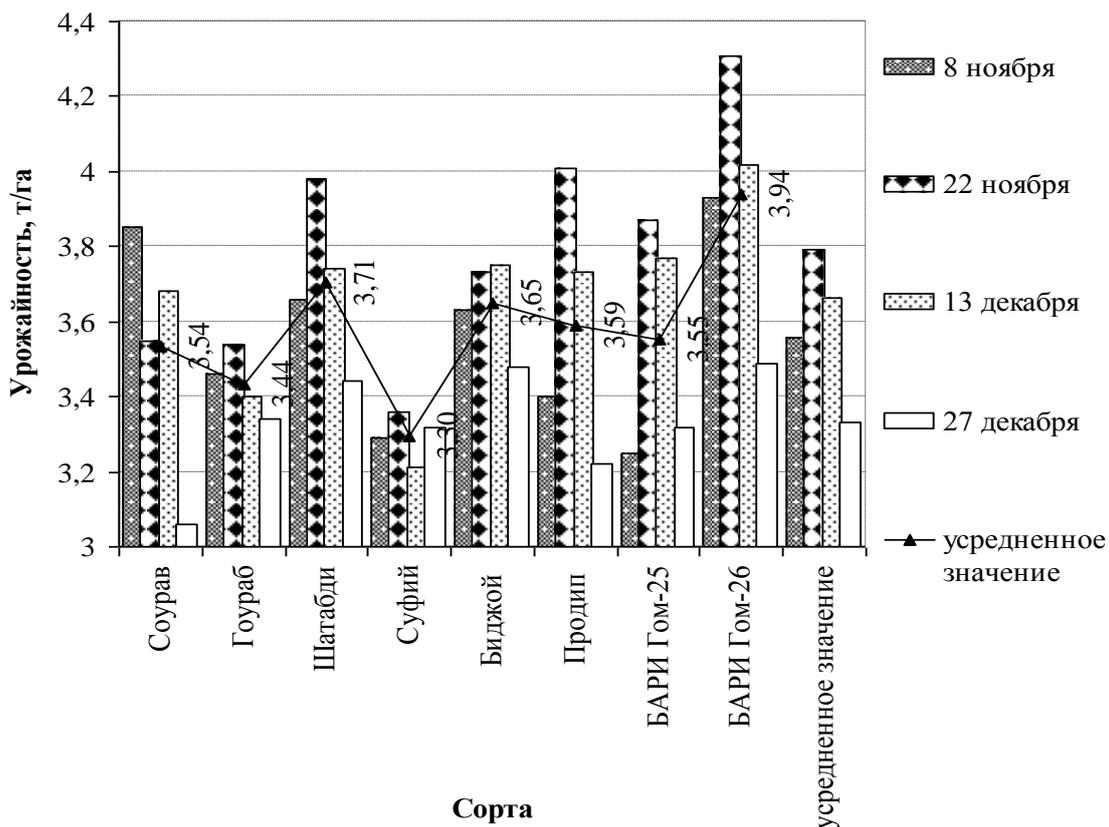


Рис. 4. Влияние сроков посева на урожайность яровой пшеницы (т/га)
 Наименьшая значимая разность при $p < 0,05$ – 0,32; коэффициент вариации – 5,5

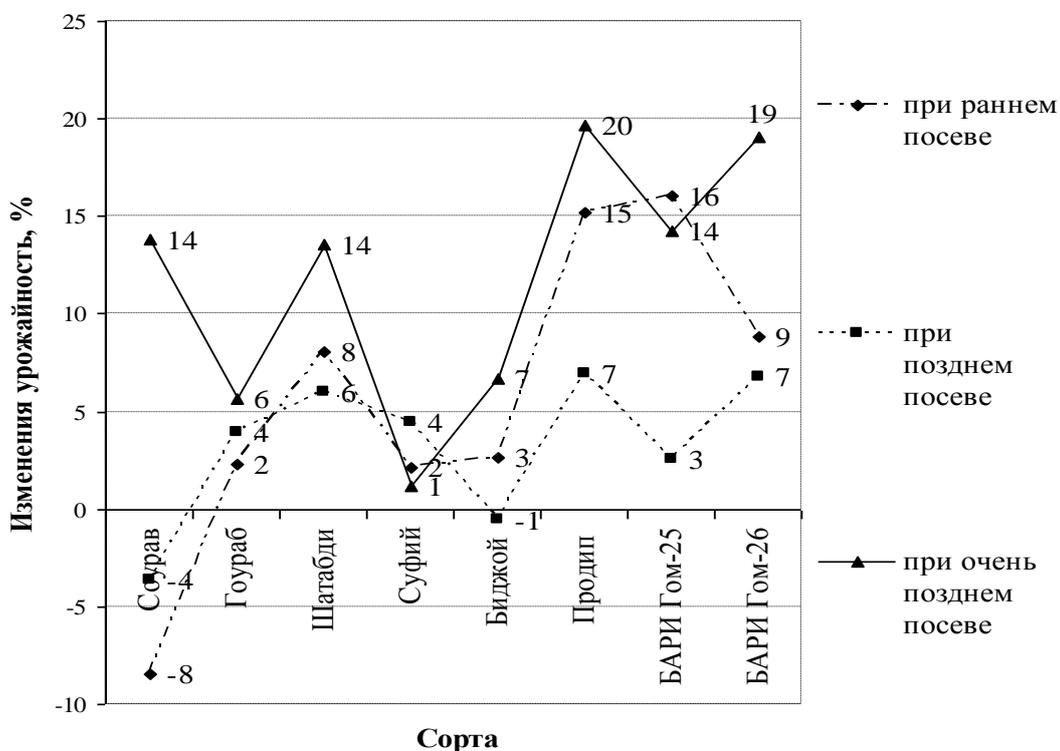


Рис. 5. Изменение урожайности под влиянием разных сроков посева у яровой пшеницы
 Приведены показатели, полученные при раннем, позднем, очень позднем посевах, в сравнении со средним сроком посева

Для определения стрессоустойчивости оценивали относительную урожайность (ОУ%) по формуле R.D. Asana и R.F. Williams (1965). При расчете относительной урожайности (ОУ) можно выяснить, подвергался ли данный сорт тепловому стрессу. Согласно R.D. Asana и R.F. Williams (1965), более высокое значение ОУ сорта указывает на толерантность по отношению к тепловому стрессу, более низкое значение – на тепловосприимчивость. Высокая относительная урожайность при раннем и позднем посевах отмечена у растений БАРИ Гом-26 (98 и 93%, соответственно), что указывает на толерантность данного сорта по отношению к тепловому стрессу. ОУ была так же высокой у сорта Шатабди при раннем посеве (96%), у Суфий – при раннем и позднем посевах (91 и 88%), в то время как сорт Гоураб оказался чувствительным к раннему, позднему и очень позднему тепловому стрессу (60, 73 и 55%, соответственно). С другой стороны, Суфий при очень позднем посеве оказался толерантным сортом по отношению к количеству тепла (89 %), так же как и БАРИ Гом-26 (80%) и Шатабди (81%). Структура урожая этих сортов в условиях теплового стресса была лучше, чем у других генотипов, что указывает на их устойчивость к таким условиям (рис. 6).

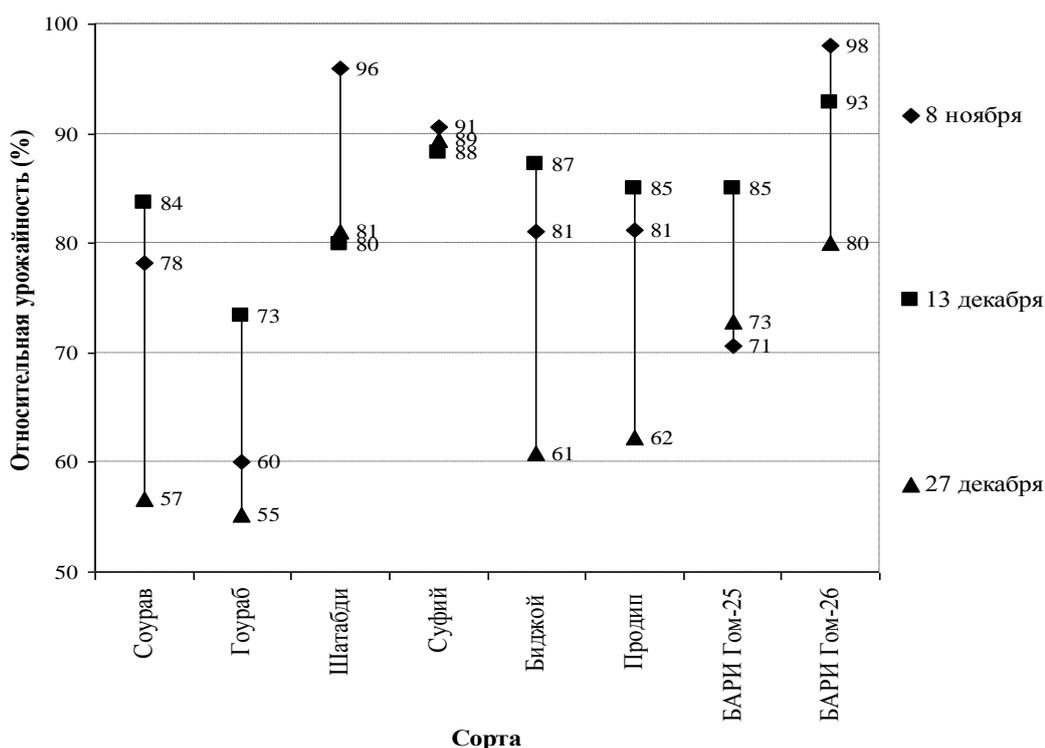


Рис. 6. Относительная урожайность яровой пшеницы при раннем (8 ноября), позднем (13 декабря) и очень позднем посеве (27 декабря)

Индекс стрессовосприимчивости (ИСВ) был рассчитан для каждого сорта по формуле R.A. Fisher и R. Maurer (1978). По формуле R.A. Fisher и R. Maurer (1978); Clarke et al. (1984), установлено, что значение индекса стрессовосприимчивости (ИСВ) < 0,5 характеризует сорт как сильно теплоустойчивый; если значение ИСВ > 0,5, но < 1,0, то сорт имеет умеренную теплоустойчивость. Значение ИСВ > 1,0 ха-

рактирует сорт как восприимчивый к температурному стрессу. Нами было установлено, что индекс стрессовосприимчивости (ИСВ) у сортов Соурав, Гоураб, Биджой, Продип и БАРИ Гом-25 составил $>1,0$, что указывает на отсутствие толерантности температурному стрессу (при раннем и очень позднем тепловом стрессе). Значения индекса стрессовосприимчивости остальных трех сортов пшеницы указывали на различные уровни их устойчивости к высокой температуре. Среди них - БАРИ Гом-26 (ИСВ = 0,10 и 0,65) и Шатабди (ИСВ = 0,22 и 0,62) были сильно и умеренно устойчивы к температурному стрессу соответственно при раннем и очень позднем температурном стрессе. С другой стороны, сорт Суфий оказался сильно (ИСВ = 0,35) и умеренно толерантным (ИСВ = 0,51) в очень позднем и раннем температурном стрессе соответственно. Суфий, БАРИ Гом-26 и Шатабди также показали высокую относительную урожайность при температурном стрессе. Таким образом, есть все основания утверждать, что эти сорта теплоустойчивы (рис. 7).

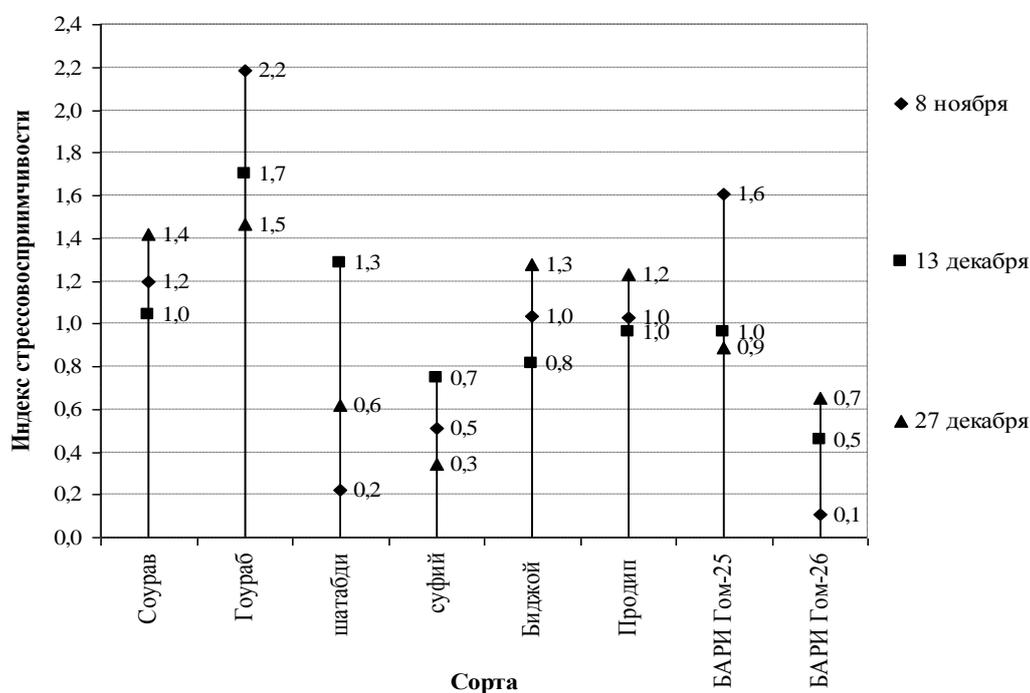


Рис. 7. Индекс стрессовосприимчивости яровой пшеницы при раннем (8 ноября), позднем (13 декабря) и очень позднем посеве (27 декабря)

ВЫВОДЫ

1. Оптимальной температурой вегетативной стадии развития яровой пшеницы является 19°C . В таких условиях полноценное прохождение фенологических фаз отмечено у сортов Шатабди, Продип, Биджой, Соурав.

2. При оптимальных сроке посева, температуре выращивания наибольшая площадь флаговых листьев, вносящих существенный вклад в биологическую продуктивность растений, а также масса сухого вещества листьев, сухая биомасса отмечена у сортов Суфий, Шатабди, Продип.

3. Тепловой стресс, вызванный высокой температурой на ранних стадиях развития яровой пшеницы на севере Бангладеш, приводит к снижению кустистости, потере жизнеспособной площади листьев, уменьшению биологической продуктив-

ности растений. Повышение температуры (выше 30°C) в репродуктивной стадии развития приводит к приостановке роста и развития.

4. При всех сроках посева на севере Бангладеш наибольшая урожайность отмечена у мягкого сорта полукарликовой яровой пшеницы БАРИ Гом-26 (до 4,3 т/га), что указывает на экологическую пластичность данного сорта. Следующим по урожайности сортом является Продип (до 4,01 т/га), Шатабди (до 3,98 т/га), Соурав (до 3,85 т/га), Биджой (до 3,75 т/га). Сорта Гоураб, Суфий, БАРИ Гом-25 не рекомендуются к выращиванию в экологических условиях севера Бангладеш.

5. Наибольшей теплорезистентностью в условиях севера Бангладеш обладают следующие мягкие сорта полукарликовой яровой пшеницы: БАРИ Гом-26, Шатабди, Суфий.

6. Оптимальным сроком посева яровой пшеницы на севере Бангладеш является 22 ноября (средний срок). Посев яровой пшеницы в оптимальный срок позволяет минимизировать воздействие температурного и водного стрессов.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

* - публикации в печатных изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК РФ

1. ***Hossain Akbar**. Effect of soil and climatic conditions on yield-related components performance of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties in the Northern Bangladesh / Akbar Hossain, Marina V. Lozovskaya, Vacheslav P. Zvolinsky, Jaime A. Teixeira da Silva // *Естественные науки*. – 2012. – № 2 (39). – С. 77–86. – ISSN 1818-507X. (0,72 п.л.)

2. ***Hossain Akbar**. Effect of soil and climatic conditions on phenology of spring wheat varieties in the Northern Bangladesh / Akbar Hossain, Marina V. Lozovskaya, Vacheslav P. Zvolinsky, Jaime A. Teixeira da Silva // *Естественные науки*. – 2012. – № 2 (39). – С. 86–93. – ISSN 1818-507X. (0,64 п.л.)

3. ***Hossain Akbar**. Effect of agro-climatic factors on grain yield of spring wheat varieties in the northern Bangladesh / Akbar Hossain, Marina V. Lozovskaya, Vacheslav P. Zvolinsky // *Естественные науки*. – 2012. – № 3 (40). – С. 117–124. – ISSN 1818-507X. (0,6 п.л.)

4. ***Hossain Akbar**. Effect of phosphate fertilizers on the yield of spring wheat under acid soil of northern Bangladesh / Akbar Hossain, Marina V. Lozovskaya, Vacheslav P. Zvolinsky // *Естественные науки*. – 2012. – № 3 (40). – С. 124–133 – ISSN 1818-507X. (0,5 п.л.)

5. **Hossain Akbar**. Effect of sowing dates on yield of wheat varieties and lines developed since 1998 / Akbar Hossain, Mohammad A. Z. Sarker, M. Saifuzzaman, Mst. M. Akhter, Mohammad S. N. Mandal // *Journal of Progressive Science & Technology*. – 2009. – No 7 (1). – P. 5–8. – ISSN 1609–5260.

6. Rahman M. M. Performance of wheat genotypes under optimum and late sowing condition / Mohammad M. Rahman, Akbar Hossain, Mohammad A. Hakim, Mohammad. R. Kabir, Mohammad M.R. Shah // *International Journal of Sustainable Crop Production*. – 2009. – No. 4 (6). – P. 34–39. – ISSN 1991-3036 (Online), 2075-1621 (Optical). – Available at: http://www.ggfagro.com/books/IJSCP/IJSCP%20V_4%20I_6%20NOV%2009/34-39.pdf

7. **Hossain Akbar**. Effect of temperature on yield and some agronomist characters of spring wheat / Akbar Hossain, Mohammad A. Z. Sarker, Mohammad A. Hakim, Marina V. Lozovskaya, Vacheslav P. Zvolinsky // *International Journal of Agricultural Research Innovation & Technology*. – 2011. – No 1 (1&2). – P. 9–15. – ISSN 2224-0616 (Online). – Available at: <http://ijarit.webs.com/IJARIT%201%281&2%29,%202011.pdf>

8. **Hossain Akbar**. Phenology, growth and yield of three wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties as affected by high temperature stress / Akbar Hossain, Jaime A. Teixeira da Silva // *Notulae Scientiae Biologicae*. – 2012. – No. 4 (3). – P. 97 –109. – ISSN 2067-3205 (Print); 2067-3264 (Online). – Available at: <http://notulaebiologicae.ro/nsb/article/view/7879/6988>

9. **Hossain Akbar**. The Effect of High Temperature Stress on the Phenology, Growth and Yield of Five Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes / Akbar Hossain, Jaime A. Teixeira da Silva J, Marina V.

Lozovskaya, Vacheslav P. Zvolinsky // The Asian and Australasian Journal of Plant Science and Biotechnology. – 2012. – No. 6 (1). – P. 14–23. – ISSN 1752-3818. – Available at: http://www.globalsciencebooks.info/JournalsSup/12AAJPSB_6_1.html

10. Hakim M. A. Yield, protein and starch content of 20 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes exposed to high temperature under late sowing conditions / Mohammad A. Hakim, **Akbar Hossain**, Jaime A. Teixeira da Silva, Vacheslav P. Zvolinsky, Mohammad M. Khan // Journal of Scientific Research. – 2012. – No. 4 (2). – P. 477–489. – ISSN 2070-0237 (Print), 2070-0245 (Online). – Available at: <http://www.banglajol.info/index.php/JSR/article/view/8679>

11. Zvolinsky V. P. Effect of Soil Resources and Climatic Factors (Temperature) on spring wheat and barley in the northern Bangladesh and southern Russia / Vacheslav P. Zvolinsky, Natella V. Tutuma, **Akbar Hossain**, Marina V. Lozovskaya // Пути повышения продуктивности орошаемых агроландшафтов в условиях аридного земледелия: Сб. мат-лов Международной научно-практической конф.- М.: Вестник РАСХН, 2012. – С. 305-314.