

Параметры моделей погодных факторов для формирования урожая яровой сильной пшеницы в условиях степной зоны Оренбургской области

*Г.Н. Сандакова, К.Т.Н., В.И. Елисеев, К.С.-Х.Н.,
ФГБНУ Оренбургский НИИСХ*

В степной зоне Оренбургской области яровая мягкая пшеница является основной продовольственной культурой [1]. Этот регион по природным условиям, а именно обилию тепла и света, свойствам почвенного покрова, отвечает биологическим требованиям яровой мягкой пшеницы сильных сортов, обладающих высокими технологическими и хлебопекарными свойствами.

Однако часто повторяющиеся почвенные и атмосферные засухи (30–40% лет) приводят к высокой variability урожая данной культуры [2]. Основными лимитирующими факторами в степной зоне области являются недостаток влаги в почве, высокий температурный режим и суховеи с нарастающим их напряжением уже к фазе колошения.

Для повышения стабильности производства сильной пшеницы и эффективности внедряемых агротехнических мероприятий необходим учёт особенностей погоды данной территории, изучение влияния её на урожайность, выявление наиболее оптимальных параметров погодных факторов, способствующих формированию высокой урожайности данной культуры.

Проблема влияния агрометеорологических условий степной зоны области на формирование урожайности яровой мягкой пшеницы находится в центре внимания оренбургских учёных и требует дальнейшего изучения [2–7].

Материал и методы исследования. Работа базировалась на многолетних (1976–2015 гг.) экспе-

риментальных данных по урожайности, полученных в стационарном опыте на почвах чернозёма обыкновенного центральной засушливой степной зоны области, и агрометеорологических данных Оренбургского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за тот же период времени.

Объектом исследования служила яровая мягкая пшеница сильного сорта. Наблюдения и учёты выполнены по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [8]. Математическая обработка урожайных данных проведена по Б.А. Доспехову [9]. Поскольку в схему опыта входили варианты с различными дозами удобрений, чтобы исключить их влияние, урожайные данные были взяты из варианта – контроль (без удобрений). Связь урожайности с погодными факторами осуществляли методом нелинейного корреляционного и множественного регрессионного анализов на ПЭВМ с помощью прикладных программ Exsel и Statistika.

Результаты исследования. Формирование урожайности яровой сильной пшеницы в центральной зоне области в основном проходило в условиях засушливых – 21% лет (ГТК = 0,65–0,78 ед.) и очень засушливых – 52% лет (ГТК = 0,08–0,60 ед.).

Колебания погоды привели к высокой variability ($V=44,9\%$) урожайности по годам, при среднемноголетнем её значении 13,53+5,99 ц с 1 га урожайность изменялась от 3,4 ц с 1 га в крайне засушливом 2010 г. (ГТК = 0,08) до 28,0 ц с 1 га в засушливом 1976 г. (ГТК = 0,66, запас влаги к севу – 146 мм).

Очень сильная засуха наблюдалась в 1988, 2010, 2012 гг. (9% лет), урожайность в такие годы формировалась в пределах 3,4–6,1 ц с 1 га, а её снижение против среднемноголетней составляло 54–75% [8].

Сильная засуха наблюдалась в 1981, 1995, 1998, 2002, 2014 гг. (15% лет), урожайность в такие годы колебалась от 7,0 до 8,2 ц с 1 га, а её снижение составило 39–48%.

В годы очень сильных и сильных засух наблюдался повышенный температурный режим воздуха на протяжении всего периода вегетации. Средние и максимальные температуры в среднем за весь период вегетации в такие годы превышали среднемноголетние ($19,75 \pm 1,62$ и $28,13 \pm 3,69^\circ\text{C}$) и составляли соответственно $21,29 \pm 1,49$ и $30,93 \pm 4,07^\circ\text{C}$, в 2010 г. они повышались до $23,92$ и $35,72^\circ\text{C}$.

В связи с этим важно было оценить роль температуры в формировании урожайности, выявить её параметры и найти величины, оптимальные для формирования высокой урожайности сильной пшеницы.

Поиск количественных связей урожайности с температурой методом нелинейного корреляционно-регрессионного анализа позволил получить математические (регрессионные) модели «температура – урожайность» яровой сильной пшеницы по периодам вегетации и в целом за период вегетации.

При рассмотрении связей урожайности со средней температурой воздуха установлено существование сильных зависимостей между этими факторами ($\eta_{yx} = 0,793–0,938$), которые описываются уравнениями регрессии в 63–88% случаев.

Анализ полученных зависимостей (табл.) позволил выявить, что максимальная урожайность (16,4–21,3 ц с 1 га) формируется при более низких средних температурах первого периода вегетации (посев – колошение) – $15,7^\circ\text{C}$, второго периода (колошение – полная спелость) – $18,3^\circ\text{C}$ и в целом за период вегетации (посев – полная спелость) – $17,1^\circ\text{C}$.

Повышение средней температуры в первый период вегетации до $21,9^\circ\text{C}$, во второй период вегетации – до $26,7^\circ\text{C}$ и в целом за период вегетации – до $23,9^\circ\text{C}$ способствует формированию минимальной урожайности 6,6; 4,7; 4,8 ц с 1 га соответственно.

Результат моделированных связей показал, что урожайность яровой сильной пшеницы в 65–71% случаев находится в высокой степени зависимости ($\eta_{yx} = 0,804–0,844$) от максимальных температур воздуха. Согласно полученным уравнениям удалось выявить, что максимальная урожайность (15,7–18,5 ц с 1 га) формируется при более низких максимальных температурах второго периода вегетации (колошение – полная спелость) – $24,5^\circ\text{C}$ и в целом за период вегетации (посев – полная

спелость) – $23,6^\circ\text{C}$. Повышение максимальной температуры во второй период вегетации (колошение – полная спелость) – до $32,1^\circ\text{C}$ и в целом за период вегетации – до $29,2^\circ\text{C}$ способствует формированию минимальной урожайности 7,6 и 9,5 ц с 1 га соответственно.

В годы (1976, 1978, 1979, 1980, 1983) с самой высокой урожайностью (20,5–28,0 ц с 1 га) средние температуры ($17,1–19,0^\circ\text{C}$) и максимальные ($23,7–26,0^\circ\text{C}$) были ниже среднемноголетних.

Основными источниками снабжения яровой мягкой пшеницы влагой в степной зоне являются запасы почвенной влаги в метровом слое (зона основного расположения корневой системы) и осадки за период вегетации.

Статистическая обработка исходных данных показала, что за изученный период (34 года) запасы продуктивной влаги к севу составили в среднем $147 \pm 19,4$ мм ($V = 13\%$) с колебаниями по годам от 106 (1997 г.) до 182 мм (2003 г.). В 21% лет запасы были очень хорошие (более 160 мм), в 58% лет – хорошие (160–130 мм) и в 21% лет – удовлетворительные (130–90 мм).

В засушливые (1988, 2010, 2012) годы при недостаточном количестве осадков за период вегетации (19–70 мм, или 17–62% от среднемноголетних) хороший запас почвенной влаги к севу 135–177 мм оказался единственным источником водоснабжения мягкой пшеницы, однако снижение урожайности в эти годы составляло 54–75%.

И, напротив, в годы с удовлетворительным запасом (125–128 мм) продуктивной влаги к севу (1991, 1992), но большим количеством осадков (79–120 мм, или 70–106% от среднемноголетних) была получена урожайность, на 18–47% превышающая среднемноголетнюю.

Осадков за период вегетации яровой сильной пшеницы (посев – полная спелость) в центральной зоне Оренбургской области выпадает в среднем 113 ± 56 мм ($V = 49\%$) с колебаниями по годам от 19 (2010 г.) до 232 мм (2000 г.), которые составили 30% годовых осадков. Распределение осадков различно по фазам развития сильной пшеницы. Большая часть осадков – 64% от общего количества приходилась на первую половину вегетации – посев – колошение, когда происходит формирование репродуктивных органов, и меньшая часть – 36% – на период созревания зерна (колошение – полная спелость).

Однако суховеи, характерные для степной зоны области, приводят к быстрому истощению почвенных запасов влаги, особенно корнеобитаемого слоя почвы. Так, на начало июля (период колошения пшеницы) среднемноголетний запас продуктивной влаги снизился до $78 \pm 39,5$ мм, в 61% лет запас почвенной влаги ниже среднемноголетнего, в 1995 г. он составил всего лишь 11 мм, а снижение урожайности составило 43%.

Зависимость урожайности яровой сильной пшеницы от температурного режима за период вегетации в центральной зоне Оренбургской области (1976–2015 гг.)

Коррелируемая величина	Параметры величин (M±G)	Коэффициент вариации, V, %	η_{yx}	F	
				факт.	теор.
Посев – колошение					
Средняя температура воздуха, °C	(x ₁)	$\frac{15,7-21,9}{18,6\pm 1,8}$	8,7	–	–
Урожайность, ц/га	(y ₁)	$\frac{4,1-19,4}{13,3\pm 3,6}$	27,4	0,839	3,16
$Y_1 = -21,132 + 5,418x_1 - 0,190x_1^2 \pm 2,05$ ц/га, для 70,37% случаев					
Колошение – полная спелость					
Средняя температура воздуха, °C	(x ₂)	$\frac{18,3-26,7}{21,6\pm 2,1}$	9,6	–	–
Урожайность, ц/га	(y ₂)	$\frac{5,6-18,1}{13,3\pm 3,4}$	26,0	0,793	2,53
$Y_2 = (-15,356 + 3,864x_2 - 0,116x_2^2) \pm 2,17$ ц/га, для 62,93% случаев					
Максимальная температура воздуха, °C	(x ₃)	$\frac{24,5-32,1}{28,2\pm 2,3}$	8,2	–	–
Урожайность, ц/га	(y ₃)	$\frac{7,5-19,8}{14,1\pm 3,6}$	25,1	0,804	2,59
$Y_3 = (-162,154 + 13,634x_3 - 0,260x_3^2) \pm 2,21$ ц/га, для 64,69% случаев					
Посев – полная спелость					
Средняя температура воздуха, °C	(x ₄)	$\frac{17,1-23,4}{19,6\pm 1,5}$	7,5	–	–
Урожайность, ц/га	(y ₄)	$\frac{5,8-21,9}{13,9\pm 4,0}$	28,3	0,938	7,76
$Y_4 = (109,456 - 7,148x_4 + 0,116x_4^2) \pm 1,54$ ц/га, для 87,94% случаев					
Максимальная температура воздуха, °C	(x ₅)	$\frac{23,6-29,1}{26,1\pm 1,6}$	5,9	–	–
Урожайность, ц/га	(y ₅)	$\frac{8,9-18,5}{14,3\pm 3,0}$	20,9	0,844	3,32
$Y_5 = 154,194 - 98,761 \cdot \text{Lg}(x_5) \pm 1,64$ ц/га, для 71,23% случаев					

В связи с этим важно было оценить роль осадков и запасов продуктивной влаги в почве в формировании урожайности, выявить их параметры и найти величины, оптимальные для формирования высокой урожайности сильной пшеницы.

Поиск количественных связей урожайности с осадками методом нелинейного корреляционно-регрессионного анализа позволил получить математические (регрессионные) модели «осадки – урожайность» яровой сильной пшеницы по периодам вегетации и в целом за период вегетации.

Результат моделированных связей показал, что за период вегетации (посев – полная спелость) урожайность яровой сильной пшеницы находится в высокой степени зависимости ($\eta_{yx} = 0,833$) от осадков, а полученная зависимость в 69% случаев описывается уравнением регрессии. В первом и втором периодах вегетации связь урожайности с осадками менее тесная ($\eta_{yx} = 0,688-0,734$), на долю осадков в данном случае выпало 47–54% общей дисперсии, оставшаяся часть дисперсии приходится на другие факторы и ошибки измерения.

Результаты анализа моделированных связей позволили установить параметры осадков, наиболее существенно влияющие на формирование урожайности мягкой пшеницы.

Формированию теоретически высокой урожайности (16,3–17,1 ц с 1 га) яровой мягкой пшеницы способствуют осадки первого периода вегетации (посев – колошение) в количестве 112 мм, второго периода вегетации (колошение – полная спелость) – 92 мм и в целом за период вегетации (посев – полная спелость) – 143 мм.

Выявлена средняя корреляционная связь ($\eta_{yx} = 0,613$) урожайности с запасом продуктивной влаги в почве к севу. Анализ уравнения регрессии позволил считать, что теоретически наибольшая урожайность яровой сильной пшеницы (15,1 ц с 1 га) формируется при запасах продуктивной влаги к севу 136 мм, снижение запасов до 106 мм и увеличение до 182 мм приводит к снижению урожайности соответственно до 12,1 и 8,6 ц с 1 га.

За вегетацию (посев – полная спелость) яровая мягкая пшеница располагает ресурсом суммарной влаги (сумма запасов продуктивной влаги к севу и осадков) в среднем $260 \pm 61,2$ мм ($V = 23\%$) с колебаниями по годам от 160 (1998 г.) до 374 мм (1990 г.).

Получены регрессионные модели «суммарная влага – урожайность» яровой сильной пшеницы по периодам вегетации и в целом за период вегетации.

Зависимость урожайности от суммарной влаги в первую половину вегетации (посев – колошение) и за весь период вегетации (посев – полная спелость) высокая ($\eta_{yx} = 0,828-0,829$), полученные зависимости описываются уравнениями регрессии в 68–69% случаев. Во второй половине вегетации (колошение – полная спелость) связь урожайности с суммарной влагой менее тесная ($\eta_{yx} = 0,646$), на долю суммарной влаги приходится 42% общей дисперсии.

Анализ полученных зависимостей позволил выявить, что максимальные значения урожайности (15,2–16,0 ц с 1 га) обеспечивает суммарная влага первого периода вегетации (посев – колошение) – 246 мм, второго периода (колошение – полная спелость) – 249 мм и в целом за период вегетации (посев – полная спелость) – 284 мм.

Выводы. Для повышения стабильности производства сильной пшеницы и эффективности внедряемых агротехнических мероприятий необходимо учитывать особенности погоды предстоящего сезона. Разработанные регрессионные модели влияния погодных факторов на урожайность («температура – урожайность», «осадки – урожайность», «запасы продуктивной влаги к севу – урожайность», «суммарная влага – урожайность») по периодам вегетации и в целом за период вегетации могут быть применены на практике для прогноза

урожайности яровой сильной пшеницы в засушливой степи Оренбургской области.

Литература

1. Сандакова Г.Н., Крючков А.Г. Научное обоснование зон оптимального размещения производства и глубокой переработки высококачественного зерна яровой пшеницы в степи Южного Урала. Оренбург, 2012. 222 с.
2. Тихонов В.Е. Погода и урожай в Оренбургском Приуралье. Оренбург, 2009. 236 с.
3. Долгалев М.П., Тихонов В.Е. Адаптивная селекция яровой пшеницы в Оренбургском Приуралье. Оренбург, 2005. 290 с.
4. Крючков А.Г. Основные принципы и методология агроэкологического районирования зерновых культур. М., 2006. 704 с.
5. Сандакова Г.Н., Елисеев В.И. Оценка агрометеорологических факторов с помощью методов математического моделирования для формирования урожая яровой твёрдой пшеницы в условиях степной зоны Оренбургской области // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН (электронный журнал). 2015. № 4. С. 1–11.
6. Сандакова Г.Н. Динамика погодных факторов и их вероятность для формирования зерна яровой сильной пшеницы с высоким содержанием клейковины в центральной зоне Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 5 (61). С. 18–22.
7. Сандакова Г.Н. Модели погодных условий и агротехнических приёмов возделывания для формирования зерна яровой мягкой пшеницы с высоким содержанием клейковины в центральной зоне Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 6 (62). С. 21–25.
8. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур // Зерновые, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. Вып. 2. М., Колос, 1971. 239 с.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.