

Модели погодных условий и агротехнических приёмов возделывания для формирования высокобелкового зерна яровой мягкой пшеницы в центральной зоне Оренбургской области

Г.Н. Сандакова, к.т.н., ФГБНУ Оренбургский НИИСХ

Белок является одним из самых важных показателей качества зерна пшеницы, который определяет не только питательную ценность зерна и продуктов его переработки, но и технологические свойства [1]. Большинство исследователей считают, что чем больше в зерне пшеницы белка, тем выше качество продуктов его переработки. Белки пшеничного зерна – важнейшие компоненты питания. В рационе человека они составляют примерно треть потребляемого белка [2]. Для нормальной жизнедеятельности взрослый человек должен получать 40–65 г растительного белка в суточном рационе [3].

В России согласно ГОСТу Р 52554–2006 содержание белка в товарном зерне мягкой пшеницы 1-го класса должно быть не менее 14,5%, 2-го класса – не менее 13,5%, 3-го класса – не менее 12,0%, 4-го класса – не менее 10,0%, 5-го класса – не менее 10,0% [4].

Природно-климатические условия Оренбургской области способствуют производству яровой сильной пшеницы, обладающей высокими технологическими и пищевыми достоинствами. Современное состояние производства в области характеризуется сокращением посевных площадей данной культуры и снижением её качества. 35% партий зерна яровой мягкой пшеницы в Оренбургской области содержат белок ниже 13,5%, т.е. не соответствуют требованиям ГОСТа, предъявляемым к сильным пшеницам [5]. Поэтому одной из основных задач сельхозпроизводителей региона является наращивание производства сильной пшеницы и улучшение её качества.

В связи с этим выявление роли климатических факторов и агротехнических приёмов в формировании зерна яровой мягкой пшеницы с высоким содержанием белка (13,5% и более), их совместного влияния на данный показатель качества, а также разработка математических моделей «погода – белок зерна» в зависимости от агротехнических приёмов возделывания в условиях Оренбургской области приобретают особую важность. Работ по моделированию показателей качества, в частности белка, в связи с погодными условиями и агротехническими приёмами немного, а в Оренбургской области их практически нет [6–7].

Материал и методы исследования. Для исследования были использованы материалы Государственной хлебной инспекции по Оренбургской области по обследованию качества зерна яровой

мягкой пшеницы сильного сорта Саратовская 42 за 1966–2006 гг., материалы гидрометеостанций (АГМС г. Оренбурга и «Чебеньки») за период май – август 1966–2006 гг. (с 2007 г. обследования зерна Государственной хлебной инспекцией не проводятся) и данные полевых опытов по технологии выращивания яровой мягкой пшеницы, проведённые на базе ОПХ «Урожайное» Оренбургского НИИСХ. Условия вегетации яровой мягкой пшеницы соответствовали засушливому типу степной зоны.

Поиск связей содержания белка в зерне с агрометеорологическими факторами и агротехническими приёмами возделывания яровой мягкой пшеницы, разработка моделей (регрессионных) осуществлены методом нелинейного корреляционно-регрессионного и множественного регрессионного анализов на ПЭВМ с помощью прикладных программ Excel, Statistika.

Результаты исследования. В условиях степной зоны Оренбургской области на формирование белка яровой мягкой пшеницы наибольшее влияние оказывают погодные условия, на их долю приходится 79–91% общей дисперсии.

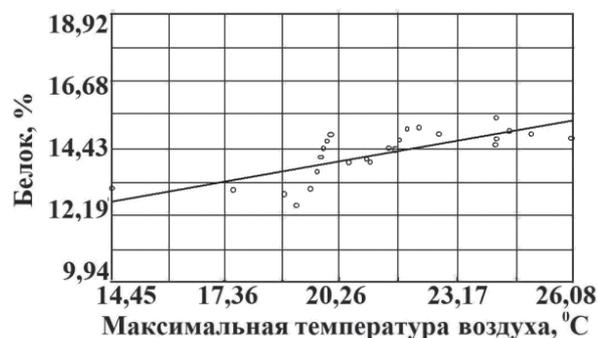
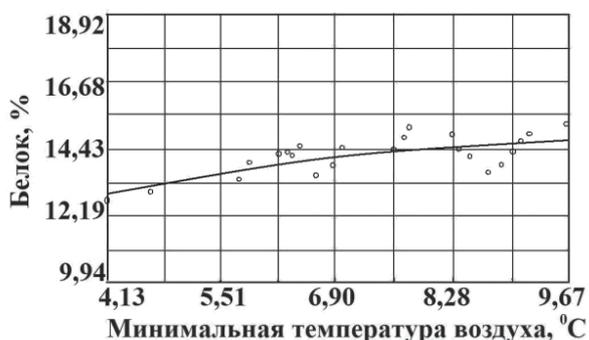
Нами были получены математические модели «погода – белок зерна» яровой мягкой пшеницы, научно обоснованы параметры погодных факторов для формирования высокого содержания белка за период вегетации яровой мягкой пшеницы в Оренбургской области. Результаты моделированных связей содержания белка в зерне с погодными факторами в разрезе месяцев вегетационного периода представлены графически (рис.).

На основании полученных регрессионных уравнений и их графического анализа были определены параметры погодных факторов за изученный период времени, наиболее существенно влияющие на формирование высокого содержания белка (13,5% и более). В мае таковыми следует считать повышенный температурный режим с минимальной температурой воздуха не менее 5,2°C, максимальной – не менее 18,1°C. Наибольшее содержание белка (14,7–15,3%) формируется при максимальных значениях изученных температурных факторов. В июне формированию белка 13,5% и более способствует сухая погода и повышенный температурный режим: средняя температура воздуха не менее 17,1°C, минимальная – не менее 10,8°C, максимальная – не менее 23,7°C, средняя относительная влажность воздуха не более 67%, минимальная – не более 46%, средний дефицит влажности воздуха не менее 8 мбар. Наибольшее содержание белка (14,1–15,9%) формируется при

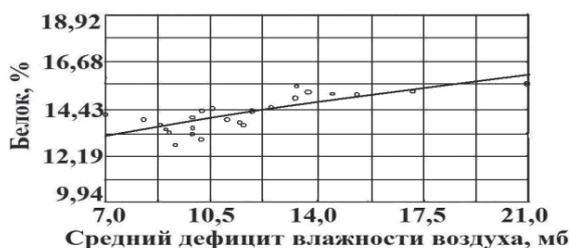
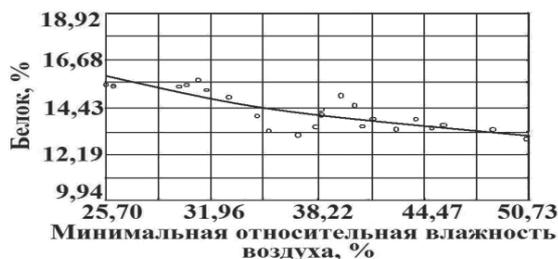
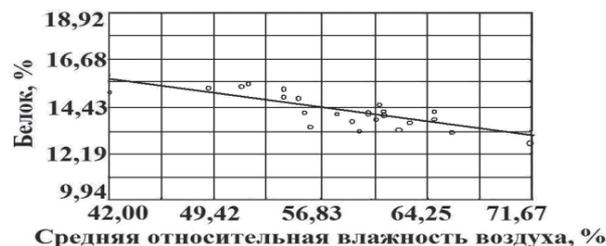
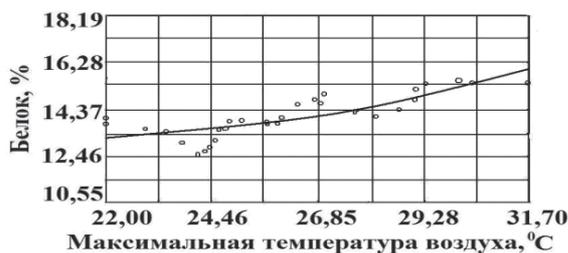
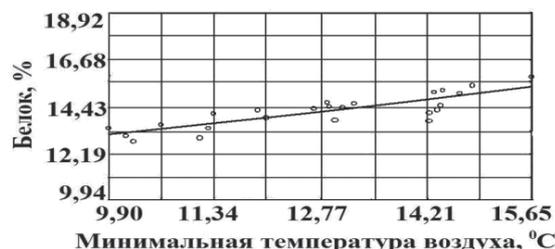
максимальных значениях температурных факторов, среднего дефицита влажности воздуха и минимальных значениях относительной влажности воздуха. В июле к благоприятным погодным факторам, способствующим накоплению белка в зерне, относятся сухая погода и повышенный температурный режим воздуха, средняя температура воздуха не менее 19,7°C, минимальная – не менее 14,0°C, максимальная – не менее 25,5°C, средний дефицит влажности воздуха – не менее 8,5 мбар. Налив зерна при максимальных значениях температуры воздуха, среднего дефицита влажности и минимальных значениях относительной влажности воздуха способствует росту белка до 14,0–16,1%.

В августе накоплению белка способствует сухая,

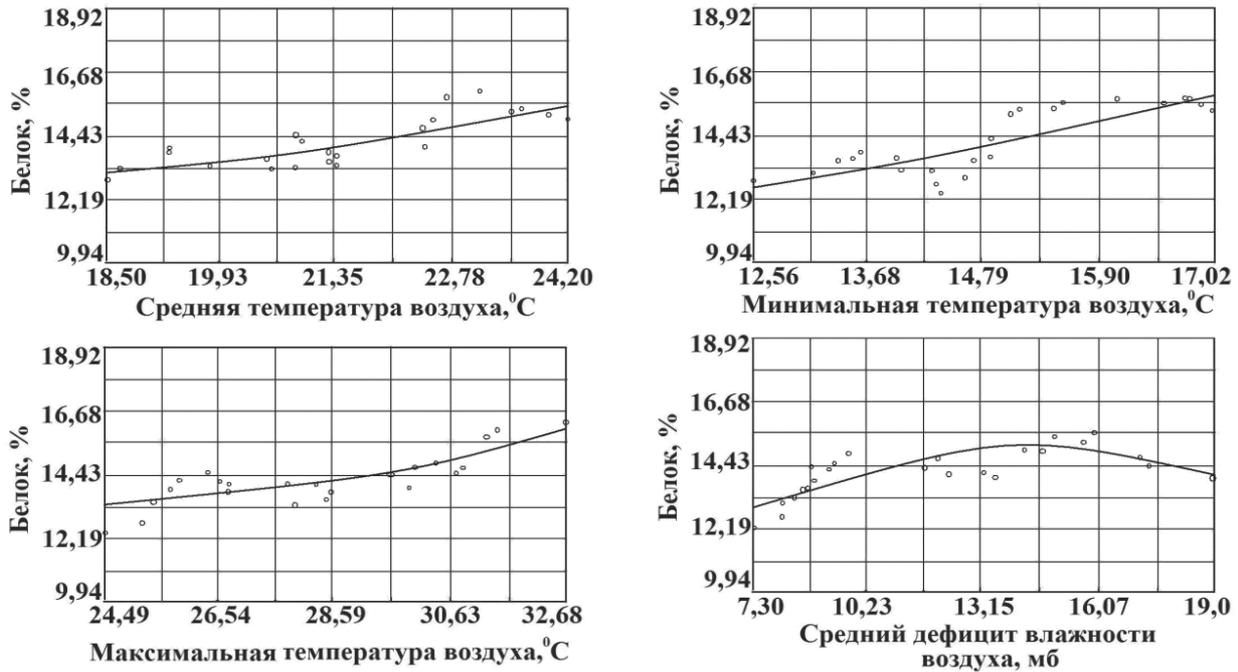
тёплая погода, средняя температура воздуха не менее 17,3°C, максимальная – не менее 24,0°C, минимальная относительная влажность воздуха в пределах 27–53%, сумма средней относительной влажности воздуха 1409–2356%, средний дефицит влажности воздуха 6–17 мбар, потребность в воде 91–257 мм. В период посева – полной спелости повышению белка в зерне благоприятствуют средняя относительная влажность воздуха в пределах 52–64%, минимальная – не более 39%, средний дефицит влажности воздуха не менее 9,0 мбар, сумма средних дефицитов влажности воздуха не менее 837 мбар, запас продуктивной влаги к севу не более 151 мм, потребность в воде не менее 408 мм, коэффициент влагообеспеченности не



Май



Июнь



Июль

Рис. – Зависимость содержания белка яровой мягкой пшеницы от погодных условий в центральной зоне Оренбургской области, 1966–2006 гг.

Множественный регрессионный анализ за период вегетации яровой мягкой пшеницы (посев – полная спелость) показал совокупное влияние на формирование белка в зерне ряда погодных факторов, которое описывается уравнением вида:

$$Y = 56,195 - 0,097x_1 - 0,612x_2 - 0,294x_3 \pm 0,531\%$$

$$F_{\text{факт.}} = 229,58 > F_{\text{теор.}} = 2,70,$$

где x_1 – продолжительность периода вегетации, дни;

x_2 – максимальная температура воздуха, °C;

x_3 – средняя относительная влажность воздуха, %.

Из уравнения следует, что в период посева – полной спелости при данном сочетании погодных факторов в изученных пределах снижение максимальной температуры на 1°C (в пределах 24,9–29,4°C) и относительной влажности воздуха на 1% (в изученных пределах 53–64%), а также сокращение периода вегетации на 1 день (84–98 дн.) приводит к повышению содержания белка на 0,61; 0,29; 0,10% соответственно. Данные погодные факторы детерминируют 78% дисперсии белка, оставшаяся часть дисперсии приходится на невыявленные факторы и ошибки измерения.

Было установлено, что на формирование высокого содержания белка (13,5% и более) оказывают совместное влияние погодные условия и агротехнические приёмы. Из трёх технологических приёмов (срок сева, норма высева, фон удобрения) на белок оказывают влияние срок сева и фон удобрения, норма высева статистически не значима.

Исследования по моделированию связей белка с погодными факторами и сроками сева позволили получить множественные регрессионные модели «погода – белок – сроки сева», описывающие эти зависимости в межфазный период вегетации колошение – молочная спелость, для других межфазных периодов связи недостоверны (табл. 1).

На основании полученных уравнений были сделаны выводы, что погодные условия межфазного периода колошение – молочная спелость (при изменении их на единицу измерения) совместно с агротехническим приёмом – первым сроком сева позволяют увеличить содержание белка на 0,80%, в том числе первый срок сева способствует увеличению белка на 0,44%.

При данном сочетании погодных факторов в изученных пределах наибольшее положительное влияние в дисперсию белка в этот межфазный период вегетации в первый срок сева вносят: средняя температура воздуха ($\beta = 3,171$); средний дефицит влажности воздуха ($\beta = 1,097$) и отрицательное – максимальная температура воздуха ($\beta = -4,107$). Увеличение средней температуры воздуха на 1°C (в изученных пределах 19,2–25,4°C), среднего дефицита влажности на 1 мбар (в пределах 8,9–19,5 мбар) и уменьшение максимальной температуры воздуха на 1°C (24,9–34,1°C) приводят к увеличению белка на 2,06, 0,39 и 1,97% соответственно. Второй и третий сроки сева снижают белок на 0,21 и 0,19% соответственно.

Исследования по моделированию связей содержания белка с погодными факторами и дозами

1. Множественные регрессионные модели совместного влияния погодных факторов и разных сроков сева на содержание белка яровой мягкой пшеницы в период колошение – молочная спелость в центральной зоне Оренбургской области

Независимая переменная (погодные и абиотические факторы)	Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	T-значение	Уровень значимости	β – коэффициент
Первый срок сева					
Свободный член	28,184	2,013	14,000	0,000	-
Средняя t воздуха, °C (x_1)	2,060	0,163	12,661	0,000	3,171
Максимальная t воздуха, °C (x_2)	-1,972	0,135	-14,602	0,000	-4,107
Средняя относительная влажность воздуха, % (x_3)	-0,123	0,025	-4,949	0,000	-0,675
Средний дефицит влажности воздуха, мбар (x_4)	0,389	0,048	8,031	0,000	1,097
Первый срок сева (x_5)	0,444	0,095	4,655	0,000	0,185
Для полной регрессии: стандартная ошибка оценки = 0,580%; $R^2 = 0,747$; $F_{\text{отношение}} = 109,91$; $F_{\text{теор.0,05}} = 2,30$					
Второй срок сева					
Свободный член	26,493	2,101	12,611	0,000	-
Средняя t воздуха, °C (x_1)	2,022	0,174	11,652	0,000	3,113
Максимальная t воздуха, °C (x_2)	-1,926	0,142	-13,518	0,000	-4,011
Средняя относительная влажность воздуха, % (x_3)	-0,103	0,026	-3,951	0,000	-0,567
Средний дефицит влажности воздуха, мбар (x_4)	0,407	0,052	7,872	0,000	1,141
Второй срок сева (x_5)	-0,206	0,099	-2,072	0,040	-0,086
Для полной регрессии: стандартная ошибка оценки = 0,606%; $R^2 = 0,724$; $F_{\text{отношение}} = 97,596$; $F_{\text{теор.0,05}} = 2,30$					
Третий срок сева					
Свободный член	25,231	1,985	12,710	0,000	-
Средняя t воздуха, °C (x_1)	1,896	0,168	11,271	0,000	2,918
Максимальная t воздуха, °C (x_2)	-1,845	0,139	-13,263	0,000	-3,842
Средняя относительная влажность воздуха, % (x_3)	-0,083	0,024	-3,402	0,001	-0,457
Средний дефицит влажности воздуха, мбар (x_4)	0,447	0,050	9,017	0,000	1,259
Третий срок сева (x_5)	-0,192	0,095	-2,013	0,046	-0,080
Для полной регрессии: стандартная ошибка оценки = 0,606%; $R^2 = 0,724$; $F_{\text{отношение}} = 97,426$; $F_{\text{теор.0,05}} = 2,30$					

удобрений позволили получить множественные регрессионные модели «погода – белок – удобрения», описывающие эти зависимости в межфазный период вегетации колошение – молочная спелость, для других межфазных периодов связи недостоверны (табл. 2).

Отсутствие удобрений (контроль) в сочетании с погодными условиями межфазного периода колошение – молочная спелость приводит к снижению белка на 0,32%, внесение повышенной дозы

удобрения $N_{80}P_{80}K_{40}$ в сочетании с погодными факторами в этот межфазный период способствует увеличению содержания белка на 0,32% и превышению контроля за годы исследований. В сочетании с удобрением $N_{80}P_{80}K_{40}$ наибольшее положительное влияние в дисперсию белка вносят температура средняя ($\beta = 2,27$) и средний дефицит влажности воздуха ($\beta = 1,35$), отрицательное – максимальная температура ($\beta = -3,26$). Увеличение средней температуры на 1°C, среднего дефицита влажности на

2. Множественные регрессионные модели совместного влияния погодных факторов и разных доз удобрений на содержания белка яровой мягкой пшеницы в период колошение –молочная спелость в центральной зоне Оренбургской области

Независимая переменная (погодные и абиотические факторы)		Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	T-значение	Уровень значимости	β – коэффициент
Свободный член		33,153	1,998	16,592	0,000	-
t, °C	средняя (x ₁)	1,479	0,156	9,487	0,000	2,276
	максим. (x ₂)	-1,565	0,126	-12,450	0,000	-3,260
Средняя относительная влажность воздуха, % (x ₃)		-0,106	0,021	-5,019	0,000	-0,585
Средний дефицит влажности воздуха, мбар (x ₄)		0,475	0,043	11,072	0,000	1,338
Скорость ветра, м/с (x ₅)		-0,541	0,071	-7,597	0,000	-0,390
Контроль: без удобрений (x ₆)		-0,324	0,087	-3,723	0,000	-0,124
Для полной регрессии: стандартная ошибка оценки = 0,522%, R ² = 0,796; F _{отношение} = 120,45, F теор. _{0,05} = 2,19						
2. Доза удобрений N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ , уравнения статистически не значимы						
3. Доза удобрений N ₈₀ P ₈₀ K ₄₀						
Свободный член		33,066	1,999	16,536	0,000	-
t, °C	средняя (x ₁)	1,473	0,156	9,439	0,000	2,268
	максим. (x ₂)	-1,563	0,126	-12,421	0,000	-3,256
Средняя относительная влажность воздуха, % (x ₃)		-0,106	0,021	-4,979	0,000	-0,581
Средний дефицит влажности воздуха, мбар (x ₄)		0,479	0,043	11,156	0,000	1,349
Скорость ветра, м/сек (x ₅)		-0,550	0,071	-7,711	0,000	-0,397
Удобрение N ₈₀ P ₈₀ K ₄₀ (x ₆)		0,319	0,087	3,663	0,000	0,122
Для полной регрессии: стандартная ошибка оценки = 0,522%, R ² = 0,796; F _{отношение} = 120,12; F теор. _{0,05} = 2,19						
4. Доза удобрений N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₄₀ , уравнения статистически не значимы						

1 мбар и уменьшение максимальной температуры на 1°С привело к увеличению белка на 1,47; 0,48 и 1,56% соответственно.

Литература

1. Коданев И.М. Агротехника и качество зерна. М.: Колос, 1970. 232 с.
2. Конарев В.Г. Белки пшеницы. М.: Колос, 1980. 351 с.
3. Ряховский А.В., Батулин И.А., Березнев А.П. Агрономическая химия. Оренбург, 2004. 283 с.
4. ГОСТ Р 52554-2006 Пшеница. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2006. 9 с.
5. 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.
6. Дегтярева Г.В. Погода, урожай и качество зерна яровой пшеницы. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 216 с.
7. Долгалев М.П., Тихонов В.Е. Адаптивная селекция яровой пшеницы в оренбургском Приуралье. Оренбург, 2005. 290 с.