

# СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОДУКТИВНОСТИ И КИНЕТИКА РОСТА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В БЕССМЕННЫХ ПОСЕВАХ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ БУРЯТИИ

Л.В. Будажапов, д.б.н., Р.Д. Норбованжилов, к.б.н., О.Ю. Давыдова, к.б.н.,  
С.В. Васильев, А.С. Семиусова, Бурятская ГСХА

Представлены результаты полевых опытов по оценке продуктивности и кинетике роста яровой пшеницы в бессменных посевах на серой лесной почве с построением моделей прогноза в условиях лесостепной зоны Бурятии.

Ключевые слова: бессменная пшеница, продуктивность, кинетика роста.

Мировой и отечественный опыт многолетних полевых исследований и наблюдений по оценке продуктивности яровой пшеницы под монокультурой свидетельствует, что они являются уникальными по информативности и служат реперными экспериментальными участками в мониторинге по отклику растений на разные экологические и биотические факторы [3, 6, 7, 11-13]. В этом смысле результативность длительных опытов с бессменной пшеницей в Сибири не исключение [1, 3, 5, 10, 14]. К сожалению, в Прибайкалье подобные оценки единичны [2, 9].

Цель работы – выявить закономерности изменения продуктивности и роста яровой пшеницы в бессменных посевах в условиях лесостепи Прибайкалья.

**Методика.** Исследования проводили на базе стационарного полевого опыта экспериментального полигона «Жаворонки», заложенного в 2009 г. на серой лесной почве Кабанского района Республики Бурятия в течение 2010-2013 гг. Объект исследований – яровая пшеница сорта Лютеценс 937, которую высевали в течение четырех лет на одном месте (монокультура): 2010 г. по чистому пару (1-й год посева), 2011 г. по пшенице (2-й год посева), 2012 г. по пшенице (3-й год посева) и 2013 г. по пшенице (4-й год посева). При этом, посев проводили ежегодно в два разных срока: физическая (срок А) и биологическая (срок В) спелость почвы. Общая площадь опыта 1 га, в том числе по 0,5 га каждого срока посева. Агротехника обработки чистого пара и возделывания яровой пшеницы общепринятая для лесостепной зоны. Изменение высоты яровой пшеницы в онтогенезе под монокультурой фиксировали ежегодно в течение вегетации по фазам роста и развития растений (h, см). Статистические показатели и связи рассчитаны по общепринятым методикам [4, 8], а построение математических моделей выполнено с использованием пакета стандартных программ.

По плодородию исходная почва (2009 г.) характеризовалась близкой к нейтральной реакцией среды (рН 6,8±0,1), высоким содержанием общего (0,168 ±0,05%) и нитратного (8,2±1,4 мг/кг) азота, средней обеспеченностью подвижным фосфором (18,2±3,1 мг/100 г) и обменным калием (32,1±4,2 мг /100 г) при содержании гумуса 2,16±0,03%. Климатические условия по годам опыта складывались благоприятно: ГТК колебался от 1,02 до 1,69.

**Результаты и их обсуждение.** В первый год исследований (2010 г.) продуктивность яровой пшеницы по пару достигала в среднем 16,5 ± 0,33 ц/га при незначительной величине варьирования (табл.1). Значимых различий по срокам посевов (физическая и биологическая спелость почвы) не выявлено. Статистики продуктивности даже при дефиците осадков этого года (180,6 мм) отражали положительный отклик яровой пшеницы на неблагоприятные условия увлажнения, особенно в фазе всходы – кущение. Значимость чистого пара как предшественника в лесостепи проявилась полностью.

1. Статистики продуктивности яровой пшеницы в бессменных посевах

Год ГТК	Срок посева	Повторность					Статистики		
		1	2	3	4	5	M ± m	σ	V, %
2010 1,02	A	16.05	16,0	15,0	14,5	16,4	15,5±0,35	0,76	5,1
	B	25.05	16,0	17,5	17,0	16,3	16,5±0,33	0,74	4,5
2011 1,69	A	17.05	14,0	15,2	13,5	15,5	14,5±0,37	0,83	5,8
	B	27.05	13,0	12,0	15,7	15,0	14,0±0,67	1,50	10,7
2012 1,17	A	15.05	6,0	5,3	6,3	9,2	6,46±0,71	1,58	24,5
	B	25.05	10,9	9,5	12,0	7,3	9,54±0,87	1,96	20,5
2013 1,28	A	12.05	5,8	7,6	4,5	5,9	5,8±0,07	1,15	19,8
	B	23.05	5,3	7,9	5,6	4,3	5,7±0,08	1,32	23,2

Примечания. 1. А – физическая, В – биологическая спелость почвы.

2. НСР<sub>05А</sub> 1,80; НСР<sub>05В</sub> 2,23; НСР<sub>05АВ</sub> 2,03.

В благоприятных гидротермических условиях второго года (ГТК 2011 г. = 1,02) продуктивность по пшенице (2010 г.) достигала в среднем 14,5 ± 0,37 ц/га с незначительным варьированием в отсутствии статистических различий по срокам посева (табл.1). Высокая продуктивность повторных посевов культуры связана с благоприятным увлажнением во время вегетации, а менее высокая – с повторным посевом яровой пшеницы.

Наложение трехлетнего посева пшеницы (2012 г.) существенно отразилось на показателях продуктивности (см. табл.1). При недостаточном увлажнении (204,2 мм) продуктивность не превышала в среднем 9,5 ± 0,87 ц/га с диапазоном лимитов 5,3-12,0 ц/га и высокой величиной варьирования. С этого момента начинают проявляться статистические различия по срокам посева. Можно предположить, что начиная с третьего года, возделывание яровой пшеницы по пшенице на серой лесной почве сопровождается резким изменением ее отклика на биотические и абиотические факторы в системе почва-растение. Схожие оценки наблюдались в опытах с монокультурой пшеницы в европейской части России [11-13], Западной Сибири [1, 3, 10, 14] и Забайкалье [2, 5, 9, 10]. Значительное снижение продуктивности бессменной пшеницы проявилось при четырехлетнем наложении (2013 г.). При дефиците тепловых ресурсов этого года и ежегодном посеве пшеницы в течение 4 лет на одном месте показатели продуктивности в среднем не превышали 6 ц/га с незначительным варьированием (см. табл.1). При этом доказанных различий по срокам не выявлено. В 2013 г. отмечен наиболее высокий балл засоренности посевов в отсутствии существенного изменения в видовом составе сорной растительности.

В целом, за четыре года установлена выраженная направленность снижения продуктивности яровой пшеницы от первого года посева по чистому пару (2010 г.) к бессменному посеву в течение четырех лет (2013 г.) в отсутствии значимых различий по срокам посева. При этом наблюдался ежегодный рост засоренности посевов, особенно на четвертый год ежегодного возделывания. Снижение продуктивности бессменных посевов описывается регрессией экспоненты с константой скорости (k) ежегодного снижения  $k = 0.480$  в год:

$$\text{продуктивность, ц/га} = 29,149 e^{-0,480 t} \quad (1)$$

где e – основание натурального логарифма; t – порядковый номер ежегодного посева яровой пшеницы. При этом полученная константа скорости отражает региональную кинетическую величину снижения продуктивности пшеницы в бес-

сменных посевах и выступает диагностическим критерием этой оценки.

Наблюдения за фенологическими фазами в посевах бес-сменной пшеницы позволяют отметить, что трехлетнее наложение ежегодных посевов яровой пшеницы при значимом снижении продуктивности не влияло на прохождение основных этапов онтогенеза. В этой оценке различия проявились лишь в длительности прохождения фенологических фаз, которые оказались более растянутыми в благоприятном по ув-

лажнению 2011 г. Как следствие, вегетационный период был наиболее продолжительным – до 129 дней, во всех остальных случаях (2010-2012 гг.) его длительность была в пределах сортовых характеристик.

Отметим, что разные сроки посевов (А и В) оказали большее влияние на даты появления всходов в реестре фенологических фаз, в дальнейшем (кущение – созревание) эти различия нивелировались (табл.2).

## 2. Даты наступления и продолжительность (дней) фенологических фаз роста и развития яровой пшеницы в бессменных посевах

Год посева		Всходы		Кущение		Выход трубку		Колошение		Созревание	
2010	A	30.05	15	12.06	14	08.07	27	21.07	15	08.09	51
	B	06.06	13	18.06	13	12.07	25	30.07	9	10.09	43
2011	A	22.05	6	18.06	28	10.07	23	27.07	18	21.09	57
	B	04.06	9	25.06	22	12.07	18	30.07	19	26.09	59
2012	A	28.05	14	08.06	12	02.07	25	18.07	17	12.09	57
	B	04.06	11	12.06	9	04.07	23	20.07	17	20.09	63
2013	A	20.05	8	1.06	12	21.07	51	6.08	16	3.09	28
	B	01.06	9	14.06	13	03.08	50	16.08	13	9.09	24

В условиях дефицита осадков (весна 2010, 2012 г.) массовые всходы наблюдались через 2 нед, а при благоприятных осадках (май 2011 г.) в пределах 10 дней (табл. 2). Позднее продолжительность прохождения фенологических фаз в бессменных посевах оказалась более растянутой в последнем случае, особенно в периоды кушения (22-28 дней) и колошения (18-19 дней). Отсюда, бессменные посевы пшеницы при трехлетнем возделывании не оказали существенного влияния на рост и развитие растений в онтогенезе. Различия наблюдались лишь в календарных датах наступления и продолжительности фенологических фаз. В этой оценке бессменные посевы более существенно реагировали на изменение условий тепло- и влагообеспеченности, доказательность которых выявлена корреляционным анализом.

Установлена высокая сопряженность продуктивности яровой пшеницы в бессменных посевах с влагообеспеченностью по сравнению с теплообеспеченностью (табл.3).

## 3. Теснота связей ( $r \pm s_r$ ) показателей продуктивности яровой пшеницы под монокультурой с тепло- и влагообеспеченностью посевов

При- знак оцен- ки		Месяц вегетации					За сезон
		май	июнь	июль	август	сен- тябрь	
$t_a$	A	0,82±0,6	0,76±0,7	0,87±0,5	0,65±0,8	0,77±0,6	0,77±0,6
	B	0,73±0,7	0,82±0,6	0,83±0,6	0,82±0,6	0,57±0,8	0,75±0,6
$t_b$	A	0,78±0,6	0,66±0,8	1,00±0,0	0,77±0,6	0,86±0,5	0,81±0,5
	B	0,79±0,6	0,84±0,5	0,90±0,4	0,94±0,3	0,67±0,7	0,83±0,5
$\Sigma t$	A	0,99±0,1	0,76±0,7	0,61±0,8	0,62±0,8	0,81±0,6	0,76±0,6
	B	0,87±0,5	0,82±0,6	0,83±0,6	0,83±0,6	0,64±0,8	0,80±0,6
$w$	A	0,81±0,6	0,80±0,6	0,70±0,7	0,92±0,4	0,98±0,2	0,84±0,5
	B	0,76±0,7	0,59±0,8	0,83±0,6	0,74±0,7	0,93±0,4	0,77±0,6
$w_n$	A	0,99±0,1	0,84±0,5	0,65±0,8	0,85±0,5	0,89±0,5	0,84±0,5
	B	0,91±0,4	0,64±0,8	0,82±0,6	0,65±0,8	0,93±0,4	0,79±0,6
$w_a$	A	0,99±0,1	0,80±0,6	0,95±0,3	0,94±0,3	0,81±0,6	0,90±0,4
	B	0,86±0,5	0,61±0,8	0,92±0,4	0,98±0,2	0,96±0,3	0,87±0,4

Примечания. 1.  $t_a$  – температура воздуха, °C;  $t_b$  – температура почвы в слое 0 – 20 см, °C;  $\Sigma t$  – сумма активных температур, °C;  $w$  – количество осадков, мм;  $w_n$  – запасы продуктивной влаги в 0 – 50 см слое почвы, мм;  $w_a$  – относительная влажность воздуха, %. 2. A – физическая спелость почвы; B – биологическая спелость почвы.

При этом ранжирование этих связей ( $r$ ) по влагообеспеченности в среднем за вегетационный период снижалось в ряду: относительная влажность воздуха ( $r = 0,90 \pm 0,4$ ) → запасы продуктивной влаги ( $r = 0,84 \pm 0,5$ ) ↔ осадки ( $r = 0,84 \pm 0,5$ ). Отметим, что в этом построении теснота признаков весной (май) была наибольшая и приближалась к функциональной ( $r \rightarrow 1$ ) по запасам продуктивной влаги в почве и относительной влажности воздуха при высокой зависимости от осадков (табл. 3). В дальнейшем (июнь – сентябрь) характер тесноты продолжал оставаться высоким в отсутствии различий по срокам посева.

Менее выраженная, но высокая и статистически значимая ( $t_{\phi} > t_{st}$ ), парная зависимость продуктивности бессменных посевов яровой пшеницы от показателей теплообеспеченности связана с выявленным дефицитом тепловых ресурсов в лесостепи Прибайкалья. В этом реестре ранжирование их корреляционных связей возрастало в среднем за вегетационный сезон в ряду: температура воздуха ( $r = 0,77 \pm 0,6$ ) → сумма активных температур воздуха ( $r = 0,80 \pm 0,6$ ) → температура почвы ( $r = 0,83 \pm 0,5$ ). Отметим сильную тесноту ( $r$ ) этих признаков по каждому месяцу, кроме отдельных случаев (см. табл.3). Высокая теснота в парной комбинации обеспечивала и высокую тесноту признаков и в общей совокупности ( $R$ ) с продуктивностью посевов ( $R = 0,791-0,955$ ).

Ежегодное наложение посевов яровой пшеницы отразилось и на изменении высоты растений в онтогенезе. Независимо от гидротермических условий динамика изменения высоты растений различалась на начальных этапах (всходы – кущение) и характеризовалась поступательным нарастанием с последующими высокими темпами роста, особенно в фазе выхода в трубку, где высота достигала в среднем 63,2 см при небольшой вариабельности (табл. 4, 5). Высота растений при созревании не превышала 1 м.

Изменение высоты растений по фенологическим фазам в повторном посеве (2012), независимо от сроков его, описывается экспонентой регрессии:

$$h(A), \text{ см} = 3,369 e^{0,730 t} \quad (2)$$

$$h(B), \text{ см} = 3,080 e^{0,752 t} \quad (3)$$

где  $e$  – основание натурального логарифма,  $t$  – порядковый номер фенологической фазы. При этом константа скорости изменения высоты растений составила 0,730–0,752 в сутки, отражая быстрый отклик культуры на благоприятные гидротермические условия ( $\Gamma\text{ТК}=1,17$ ). На четвертый год ежегодного посева яровой пшеницы динамика и характер изменения высоты растений не имели значимых различий (табл.5). Незначительные различия проявились лишь в средних показателях и крайних значениях в доверительном интервале при схожем экспоненциальном отклике яровой пшеницы на гидротермические условия в период онтогенеза.

Модель диагностики высоты растений на третий год бессменного посева яровой пшеницы имела схожий характер и описывалась уравнениями:

$$h(A), \text{ см} = 7,149 e^{0,319 t} \quad (4)$$

$$h(B), \text{ см} = 6,738 e^{0,288 t} \quad (5)$$

В гидротермических условиях этого года ( $\Gamma\text{ТК} = 1,28$ ) кинетика изменения высоты растений была ниже и составила  $k = 0,288-0,319$  в сутки.

#### 4. Динамика нарастания и статистики изменения высоты растений в бессменных посевах яровой пшеницы на второй год (2012 г)

№	Параметры оценки			Статистические показатели (n = 10-25)				
	срок	дата	фаза	M±m	lim	σ	M±tm	V, %
1	А	28,05	A <sub>1</sub>	5,3±1,4	3-7	0,5	3,4-6,2	26,9
2		8,06	A <sub>2</sub>	11,9±2,2	8-16	0,7	9,1-12,6	18,1
3		21,06	A <sub>3</sub>	63,2±7,9	48-72	2,5	53,1-68,2	12,6
4		31,07	A <sub>4</sub>	77,3±13,9	47-107	2,8	51,2-88,4	18,0
5		24,08	A <sub>5</sub>	79,9±12,7	66-101	4,0	68,5-91,2	15,9
1	В	28,05	B <sub>1</sub>	4,9±1,6	3-7	0,5	4,1-6,4	32,6
2		8,06	B <sub>2</sub>	12,3±2,4	9-16	0,8	10,1-15,5	18,2
3		21,06	B <sub>3</sub>	56,4±6,5	46-68	2,1	49,3-62,1	11,6
4		31,07	B <sub>4</sub>	75,9±9,5	58-91	1,9	62,1-85,9	12,5
5		24,08	B <sub>5</sub>	84,5±7,3	78-103	2,3	86,2-98,4	8,7

Примечание. Фенологические фазы: A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub> – всходы, A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub> – кущение, A<sub>3</sub>, B<sub>3</sub> – выход в трубку, A<sub>4</sub>, B<sub>4</sub> – колошение, A<sub>5</sub>, B<sub>5</sub> – созревание (здесь и в табл. 5).

#### 5. Динамика нарастания и статистики изменения высоты растений в бессменных посевах яровой пшеницы на четвертый год

№	Параметры оценки			Статистические показатели (n = 8-16)				
	срок	дата	фаза	M±m	lim	σ	M±tm	V, %
1	А	25.05	A <sub>1</sub>	6,3 ± 1,0	5-8	0,4	3,9-6,8	16,6
2		8.06	A <sub>2</sub>	14,3 ± 1,7	10-17	0,5	11,8-15,7	13,1
3		21.06	A <sub>3</sub>	18,5 ± 1,6	16-21	0,5	17,1-18,5	8,6
4		11.07	A <sub>4</sub>	33,3 ± 6,7	22-45	2,4	24,3-37,9	20,2
5		18.07	A <sub>5</sub>	54,9 ± 4,0	48-60	1,4	52,1-57,4	7,3
6		6.08	A <sub>6</sub>	60,6 ± 15,7	40-85	5,6	43,2-76,7	25,9
7		13.08	A <sub>7</sub>	65,2 ± 15,8	50-96	4,9	59,1-88,4	24,1
8		23.08	A <sub>8</sub>	54,8 ± 24,4	34-90	8,6	36,7-87,2	44,5
1	В	30.05	B <sub>1</sub>	4,8 ± 0,7	4-6	0,3	4,4-5,8	14,9
2		8.06	B <sub>2</sub>	13,7 ± 2,6	8-17	0,7	9,2-14,8	18,6
3		21.06	B <sub>3</sub>	17,9 ± 4,0	10-24	1,3	11,7-22,1	22,4
4		11.07	B <sub>4</sub>	34,4 ± 4,3	28-40	1,5	30,3-37,5	12,6
5		18.07	B <sub>5</sub>	35,3 ± 6,8	22-45	2,4	26,6-41,6	19,3
6		6.08	B <sub>6</sub>	51,1 ± 4,9	30-75	5,0	33,7-68,5	29,3
7		13.08	B <sub>7</sub>	42,9 ± 6,1	34-52	1,9	36,3-49,4	14,1
8		23.08	B <sub>8</sub>	42,6 ± 11,8	30-64	4,2	35,6-61,7	27,6

**Закключение.** Результаты исследований позволяют констатировать отсутствие доказанного существенного влияния

бессменного возделывания яровой пшеницы на развитие растений, в части прохождения фенологических фаз, а также изменение высоты растений в посевах при значимом снижении продуктивности на третий год и кинетических параметров роста в онтогенезе с положительным откликом на гидро-термические условия лесостепи.

#### Литература

1. Барсуков П.А., Гамзиков Г.П. Эффект длительного применения удобрений на агрохимические и микробиологические свойства дерново-подзолистых почв // Матер.межд. науч.- практ. конф. РАСХН, Сиб. отд.-ние. – Новосибирск, 2011. – С.100-110. 2. Будажапов Л.В. Биокинетический цикл азота в системе почва – удобрение – растение в условиях Забайкалья: Автореф. д-ра биол. наук. – М.: ВНИИ-А, 2009. – 40 с. 3. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. – Новосибирск, 2013. – 790 с. 4. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 328 с. 5. Дмитриев Н.Н., Будажапов Л.В. Статистики и модели урожая яровой пшеницы в динамике многолетних рядов на светло-серой лесной почве Прибайкалья // Вестник Иркутской ГСХА. – 2012. – Вып.49. – С.7-14. 6. Духанин Ю.А. Савич В.И., Батанов Б.Н., Савич К.В. Информационная оценка плодородия почв. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2006. – 476 с. 7. Иванов А.Л., Кирушин В.И. Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России. – М.: РАСХН, 2009. – 518 с. 8. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с. 9. Лапухин Т.П., Билтуева А.С., Рузавин Ю.Н. Влияние климатических факторов на зерновую продуктивность овса в условиях сухостепной зоны Бурятии // Матер.межд. науч.-практ. конф. РАСХН, Сиб. отд.-ние. – Новосибирск, 2011. – С.83-90. 10. Мальцев В.Т., Мошкарёв В.Н. Влияние систематического применения удобрений на агрохимические свойства серых лесных почв и продуктивность севооборотов в Приангарье // Матер.межд. науч.- практ. конф. РАСХН, Сиб. отд.-ние. – Новосибирск, 2011. – С.69-83. 11. Результаты длительных исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации (к 70-летию Гео-сети) / Под ред. В.Г. Сычева. – М.: ВНИИА, 2011. – 372 с. 12. Савич В.И., Булгаков Д.С., Вуколов Н.Г. и др. Интегральная оценка плодородия почв. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2010. – 347 с. 13. Сычев В.Г., Романенков В.А. Основные итоги и стратегия развития географической сети опытов с удобрениями // Матер.межд. науч.- практ. конф. РАСХН, Сиб. отд.-ние. – Новосибирск, 2011. – С.24-32. 14. Храмов И.Ф. Влияние длительного применения минеральных и органических удобрений на плодородие почвы и продуктивность агроценозов // Матер. межд. науч.- практ. конф. РАСХН, Сиб. отд.-ние. – Новосибирск, 2011. – С. 46 – 52.

#### STATISTICS OF PRODUCTIVITY AND THE GROWTH KINETIC OF SPRING WHEAT IN PERMANENT CROP IN THE FOREST-STEPPE OF BURYATIA

L.V. Budazhapov, R.D. Norbovanzhilov, O.Yu. Davydova, S.V. Vasil'ev, A.S. Semiusova  
Filippov Buryat State Agricultural Academy ul. Pushkina 8, Ulan-Ude, 670024 Buryat Republic, Russia

The productivity and growth kinetics of spring wheat in permanent crop on gray forest soil in the forest-steppe zone of Buryatia have been assessed, and prognostic models have been constructed.

Keywords: permanent wheat, productivity, growth kinetics.