

Влияние элементов погоды и запасов почвенной влаги на урожайность гороха в севооборотах на чернозёмах южных Оренбургского Предуралья*

Д.В. Митрофанов, к.с.-х.н., ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН

Наименее распространённой зернобобовой культурой в Оренбургской области является горох. Доля производства зерна зернобобовых культур в

общем объёме зерновых самая низкая, она составляет 1,1–1,2%. Вместе с тем посевная площадь под горох в области имеет тенденцию к увеличению. Так, в 2006 г. она составляла 20440 га, в 2007 – 26680 га, а в перспективе планируется довести её до 58000 га [1].

* Исследование выполнено в соответствии с планом НИР на 2018–2020 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0003)

В засушливых условиях Оренбургского Предуралья одним из путей решения возникшей проблемы является расширение посевов высокобелковых зернобобовых культур [2]. Горох не только высокопродуктивный источник пищевого и кормового белка, но и прекрасный предшественник [3]. Он, как известно, культура стелющаяся. При заниженной норме высева горох ещё больше прилегает к земле. В этом случае его буквально надо вырывать руками или косить вручную. Трудности уборки породили у многих руководителей хозяйств, специалистов сельского хозяйства недоверчивое отношение к чудесному растению [4]. Внедрение в производство современных сортов гороха усатого морфотипа с устойчивостью к полеганию и дружным созреванием позволяет существенным образом повысить урожайность и лучшую приспособленность к механической уборке [5].

Горох при заботливом уходе даёт устойчивые и высокие урожаи. Он не боится весенних заморозков (выдерживает понижение температуры до -6°C) и может высеваться в ранние сроки. Большое значение имеет и короткий вегетационный период гороха. Менее трёх месяцев требуется ему от сева до созревания бобов.

Семена гороха начинают прорастать при температуре $+1$ и $+2^{\circ}\text{C}$, и оптимальная температура для роста и развития составляет 16 – 22°C . По требованию к влаге он относится к влаголюбивым растениям. Благодаря своей мощной корневой системе, с помощью которой он извлекает влагу из глубоких слоёв почвы, горох переносит кратковременные засухи лучше многих яровых культур. На образование единицы сухой биомассы горох использует 650 – 700 единиц воды. Критический период по увлажнению гороха начинается за 10 дней до наступления фазы бутонизации и заканчивается в фазе полного цветения. Горох хорошо растёт на среднесвязанных по механическому составу чернозёмных почвах, но не переносит засоления.

Введение посевов гороха в различные севообороты позволяет сохранить почвенное плодородие и обеспечить воспроизводство органического вещества в почве. Посевы гороха следует размещать после озимых, яровой пшеницы, идущей по озимым кукурузы на силос, и другим пропашным культурам. Нецелесообразно размещать горох после подсолнечника, многолетних бобовых и злаковых трав, зернобобовых культур [6].

Влияние нормы высева и сроков уборки на рост, развитие, урожайность и продуктивность гороха в условиях центральной зоны Оренбургской области изучали многие исследователи [7–10].

Исследование по изучению изменения урожайности гороха от влияния различных погодных факторов и влагозапасов почвы в Оренбургской области проводилось впервые. В связи с этим в задачу исследования входило установить зависимость урожайности гороха в севооборотах с различной их

ротацией от осадков, температуры воздуха, суховейных дней и запасов продуктивной влаги в пахотном, метровом и полутораметровом слоях почвы.

Материал и методы исследования. Исследование выполнено в отделе земледелия и ресурсосберегающих технологий Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий РАН. Полевые опыты по изучению урожайности посевов гороха закладывали с 2002 по 2018 г. на территории заложенного в 1988 г. многолетнего стационарного опыта по шестипольным и двухпольным севооборотам.

Изучены пять вариантов выращивания гороха в севооборотах с шестилетней и двухлетней ротацией: I – после яровой твёрдой пшеницы в зернопаровом севообороте (контроль); II – после яровой мягкой пшеницы в зернопаровом севообороте; III – после яровой мягкой пшеницы в почвозащитном севообороте; IV – после яровой мягкой пшеницы в сидеральном севообороте; V – после яровой твёрдой пшеницы в беспаровом севообороте.

Полевой опыт проводили методом простых повторений в четырёхкратной повторности на территории и во времени с одновременным развертыванием делянок на всех полях севооборотов. В исследовании изучалось 20 делянок. Деляночные участки представляют собой прямоугольники шириной $3,6$ м и длиной 90 м. Площадь одной делянки равнялась 324 м² и общая – 6480 м², или $0,64$ га. В опыте рассматривали два фона минерального питания: удобренный – 30 м и неудобренный – 60 м. После уборки гороха под вспашку вносили в почву сеялкой СЗ-3,6 концентрированное комплексное азотно-фосфорное удобрение (аммофос). Вторую половину деляночного участка исследовали без внесения минерального удобрения.

На стационарном опыте применяли различные агротехнические приёмы. Весной по мере подсушивания почвы поле бороновали, затем приступали к культивации, которую осуществляли на глубину заделки семян (6 – 8 см) с одновременным боронованием. В ранние сроки мая применяли рядовой способ посева гороха следующих сортов: Усач неосыпающийся, Спартак, Ямал, Кумир. Норма высева этих сортов составляла от $1,0$ до $1,2$ млн/га всхожих семян. Для получения равномерных всходов посевы прикапывали кольчато-шпоровыми катками. Учётная площадь зерна гороха составляла на двух фонах минерального питания 180 м². Уборку зерна гороха по севооборотам на делянках проводили прямую комбайнами «Сампо 500» и «Terrion SR2010». Из бункера от намолоченного зерна с каждой делянки отбирались пробы в мешках. Образцы зерна взвешивали на специальных площадочных весах и подсчитывали бункерный вес с 1 га пашни. Рассчитывали урожайность зерна гороха относительно 16 – 19 -процентной влажности и 100 -процентной чистоте.

Почвенные пробы по каждой изучаемой деланке отбирали перед посевом и после уборки с помощью ручного бура по трём скважинам в слоях 0–30, 0–100 и 0–150 см почвы. Влажность почвы определяли с помощью весового метода по рекомендации С.А. Воробьева [11]. Для определения количества выпавших осадков на данной территории устанавливали дождемер (осадкомер) на вегетационный период гороха. Проводили математическую обработку многолетних данных по результатам исследования с помощью метода множественной регрессии в статистической программе «Statistica 10.0».

Результаты исследования. В вариантах опыта отмечалось изменение количества почвенной влаги в пахотном, метровом и полуметровом слоях почвы и урожайности зерна гороха в севооборотах с различной их ротацией. Минимальное количество продуктивной влаги наблюдалось по V варианту опыта, диапазон изменения составлял перед посевом от 40,9 до 196,5 мм, после уборки – от 10,0 до 37,3 мм (табл. 1). Максимальное количество весенней почвенной влаги отмечалось на посевах гороха во всех слоях почвы и составляло в сидеральном севообороте от 44,9 до 213,0 мм и в зернопаровом – от 42,5 до 216,8 мм. Наибольшие влагозапасы почвы просматривались после уборки на этих же вариантах исследования в слоях почвы 0–30 и 0–100 см с содержанием 14,2 и 58,7 мм.

В результате исследования видно, что наименьшее количество потерянной влаги с учётом выпавших осадков 121 мм при температуре воздуха 20,3°C за вегетационный период гороха наблюдалось во II варианте опыта на метровом слое почвы и составляло от 98,8 до 156,6 мм. Наибольшее количество потерянной влаги отмечалось в III и V вариантах

эксперимента с содержанием 102,6 и 166,8 мм соответственно в пахотном и метровом слоях почвы.

Среди изучаемых вариантов опыта самым урожайным оказался посев гороха в почвозащитном севообороте с шестилетней ротацией. Его урожайность составила 10,35 и 9,71 ц с 1 га на удобренном и неудобренном фонах питания. Низкий уровень урожайности зернобобовой культуры наблюдался в беспаровом и сидеральном севооборотах. При этом урожайность составляла от 7,10 до 8,78 ц с 1 га по двум фонам питания.

Внесение удобрения на всех вариантах исследования положительно сказалось на формировании урожайности гороха. На контрольном и IV вариантах отмечалась максимальная прибавка урожайности зерна, составив 0,73 и 0,72 ц с 1 га. Минимальная прибавка урожайности зерна (0,09 ц с 1 га) наблюдалась во II варианте посева в зернопаровом севообороте.

Таким образом, для точного определения зависимости урожайности зерна гороха в севооборотах с различной их ротацией от изучаемых факторов проводилась статистическая обработка многолетних данных по всем вариантам опыта за 17 лет наблюдений с помощью метода множественной регрессии. В результате математической обработки установлена зависимость урожайности гороха в различных севооборотах от погодных факторов на двух фонах питания (табл. 2). Результаты множественной регрессии показывают, что на изменение урожайности зерна гороха по всем вариантам исследования основное влияние оказывал погодный фактор «осадки июня». Наибольший процент влияния наблюдался на V варианте и составил 50,37 и 66,00 соответственно по двум фонам питания. По всем вариантам отмечались положительные показатели

1. Изменение влагозапасов почвы и урожайности гороха в севооборотах с различной их ротацией (среднее за 2002–2018 гг.)

Вариант	Глубина почвенного покрова, см	Количество влаги, мм		Потерянная влага с учётом выпавших осадков, мм	Урожайность зерна гороха, ц с 1 га	
		перед посевом	после уборки		с применением аммофоса	без внесения удобрения
I (контроль)	0–30	44,6	13,9	101,0	8,90	8,17
	0–100	145,1	53,3	162,1		
	0–150	209,1	–	–		
II	0–30	42,5	14,0	98,8	9,36	9,27
	0–100	145,1	58,7	156,6		
	0–150	216,8	–	–		
III	0–30	42,8	10,5	102,6	10,35	9,71
	0–100	146,4	50,0	164,0		
	0–150	215,1	–	–		
IV	0–30	44,9	14,2	101,0	8,78	8,06
	0–100	147,9	53,8	164,4		
	0–150	213,0	–	–		
V	0–30	40,9	10,0	101,3	7,60	7,10
	0–100	133,8	37,3	166,8		
	0–150	196,5	–	–		

Примечание: за период исследования количество осадков по полевому осадкомеру за май составило 33 мм при температуре воздуха 16,1°C, за июнь – 36 мм при t=20,5°C, за июль – 27 мм при t=22,7°C, за август – 26 мм при t=21,9°C и 59 суховейных дней

регрессионного анализа: коэффициентов бета, регрессии, детерминации и критерия Стьюдента со степенью свободы 15 при уровне значимости от 0,000062 до 0,07 в сравнении с оптимальным критерием ($P < 0,05$). Изменение урожайности зернобобовой культуры в наименьшей степени на 20,33% зависело от выпавших осадков на IV варианте опыта.

Анализ таблицы 2 показывает, что значительное отрицательное влияние температуры воздуха июня на урожайность зерна гороха зафиксировано на V варианте и составляло на удобренном фоне 26,49% и неудобренном – 33,00%. Наименьшая доля влияния температурного фактора отмечалась на III варианте опыта и содержала 16,77 и 24,05% соответственно на фонах питания. По погодному фактору «температура июня» на всех четырёх вариантах отмечались отрицательные показатели множественной регрессии (коэффициенты бета, регрессии, Стьюдента) при уровне значимости от 0,01 до 0,10. В IV варианте не отмечалось отрицательной зависимости урожайности гороха от температуры воздуха июня. Во всех изучаемых вариантах, кроме V, не наблюдалось зависимости от количества суховейных дней.

В результате математической обработки многолетних данных по V варианту установлена высокая степень зависимости наименьшей урожайности зерна гороха по двум фонам питания от весенней продуктивной влаги в пахотном слое почвы (табл. 3).

Обработанные многолетние данные показывают, что наибольшее и наименьшее влияние на урожай-

ность зерна гороха оказывало количество продуктивной и растроченной влаги в пахотном слое почвы на удобренном фоне питания. Доля влияния на урожайность гороха продуктивной влаги составляла 32,40%, растроченной – 21,60%. Изменение урожайности зернобобовой культуры на неудобренном фоне зависело на 22,00% от количества почвенной и израсходованной влаги в слое почвы 0–30 см при положительных значениях множественной регрессии. В связи с этим проведённый регрессионный анализ на двух фонах питания показал, что существует связь между этими факторами: 1) коэффициенты бета, регрессии, парной корреляции, дельта, детерминации составляли от 0,03 до 0,60 и отличались от нуля; 2) стандартная ошибка фактора «влага» варьировала от 0,01 до 0,10; 3) множественная регрессия наглядно описывает связь между признаками, так как критерий уровня значимости равен 0,01, 0,03 и 0,04 при сравнении с нормативным показателем ($P < 0,05$); 4) стандартная ошибка и уровень значимости свободного члена (у-пересечение) составили 4,39, 4,04 и 0,04, 0,19; 5) коэффициенты детерминации составили 0,54 и 0,44, что на 54 и 44% точнее рассчитана множественная регрессия; 6) ошибка оценки урожайности равна на удобренном фоне 3,92 ц и неудобренном – 3,61 ц с 1 га.

Проведённая математическая обработка показала, что изменение урожайности гороха зависело в основном от количества выпавших осадков в июне на V варианте опыта неудобренного фона минерального питания (рис.).

2. Результаты множественного регрессионного анализа урожайности гороха в севооборотах в зависимости от погодных факторов за 17 лет наблюдений

Вариант	Погодный фактор июня	Коэффициенты статистического анализа				Ошибка уравнения регрессии	Уровень значимости	Влияние погодного фактора, %
		бета	регрессии	детерминации	Стьюдента (15)			
I (к)	осадки	<u>0,67</u> 0,58	<u>0,23</u> 0,18	<u>0,45</u> 0,33	<u>3,52</u> 2,74	<u>0,06</u> 0,07	<u>0,00</u> 0,01	<u>45,21</u> 33,38
	температура	<u>-0,51</u> -0,51	<u>-1,09</u> -1,01	<u>0,26</u> 0,26	<u>-2,32</u> -2,30	<u>0,47</u> 0,44	<u>0,03</u> 0,04	<u>26,45</u> 26,15
II	осадки	<u>0,58</u> 0,58	<u>0,21</u> 0,22	<u>0,33</u> 0,33	<u>2,74</u> 2,76	<u>0,08</u> 0,08	<u>0,01</u> 0,01	<u>33,35</u> 33,74
	температура	<u>-0,47</u> -0,50	<u>-1,10</u> -1,20	<u>0,21</u> 0,25	<u>-2,05</u> -2,26	<u>0,53</u> 0,53	<u>0,06</u> 0,04	<u>21,95</u> 25,40
III	осадки	<u>0,56</u> 0,55	<u>0,22</u> 0,19	<u>0,30</u> 0,30	<u>2,59</u> 2,54	<u>0,08</u> 0,08	<u>0,02</u> 0,02	<u>30,93</u> 30,01
	температура	<u>-0,41</u> -0,49	<u>-1,01</u> -1,09	<u>0,16</u> 0,24	<u>-1,74</u> -2,18	<u>0,58</u> 0,50	<u>0,10</u> 0,05	<u>16,77</u> 24,05
IV	осадки	<u>0,46</u> 0,45	<u>0,17</u> 0,15	<u>0,21</u> 0,20	<u>2,01</u> 1,96	<u>0,08</u> 0,07	<u>0,06</u> 0,07	<u>21,23</u> 20,33
	осадки	<u>0,66</u> 0,81	<u>0,22</u> 0,23	<u>0,50</u> 0,66	<u>4,52</u> 5,49	<u>0,05</u> 0,04	<u>0,00</u> 0,00	<u>50,37</u> 66,00
V	температура	<u>-0,51</u> -0,57	<u>-1,09</u> -1,01	<u>0,26</u> 0,33	<u>-2,32</u> -2,75	<u>0,47</u> 0,37	<u>0,03</u> 0,01	<u>26,49</u> 33,00
	суховейные дни	<u>-0,54</u> -0,47	<u>-0,15</u> -0,10	<u>0,29</u> 0,22	<u>-2,52</u> -2,09	<u>0,06</u> 0,05	<u>0,02</u> 0,05	<u>29,00</u> 22,57

Примечание: над чертой – удобренный фон питания, под чертой – неудобренный; в варианте IV нет зависимости от температуры воздуха в июне, в вариантах I, II, III, IV нет зависимости от количества суховейных дней

3. Итоги множественной регрессии зависимости урожайности гороха в беспаровом севообороте от влажности почвы перед посевом в слое почвы 0–30 см

Основной фактор	Показатель множественной регрессии							Доля влияния влаги, %
	коэффициент					sb – стандартная ошибка	p – критерий уровня значимости	
	β – бета	b – регрессии	r_{xy} – парной корреляции	δ – дельта	r^2 – детерминации			
Удобрённый фон питания								
Продуктивная влага	0,54	0,31	0,60	0,60	0,32	0,10	0,01	32,40
Растраченная влага	0,44	0,04	0,50	0,40	0,21	0,02	0,03	21,60
Для полной регрессии: стандартная ошибка и уровень значимости свободного члена (y-пересечение) = 4,39 и 0,04; $R^2 = 0,54$, ошибка оценки = 3,92 ц с 1 га								
Неудобрённый фон питания								
Почвенная влага	0,45	0,21	0,49	0,50	0,22	0,09	0,04	22,00
Израсходованная влага	0,45	0,03	0,49	0,50	0,22	0,01	0,04	22,00
Для полной регрессии: стандартная ошибка и уровень значимости свободного члена (y-пересечение) = 4,04 и 0,19; $R^2 = 0,44$, ошибка оценки = 3,61 ц с 1 га								



Рис. – Изменение урожайности гороха в беспаровом севообороте без применения удобрений от количества выпавших осадков в июне за 17 лет наблюдений

График, показанный на рисунке, представляет прямо пропорциональную зависимость: чем выше или ниже уровень количества выпавших осадков в июне, тем больше или меньше урожайность зерна гороха в беспаровом севообороте с двухлетней ротацией. Эта погодная картина наблюдалась в фазе бутонизации и в начале цветения гороха. В этом вегетативном периоде наблюдалась в большей степени зависимость от атмосферной влаги, что сказалось на росте, развитии и формировании наименьшей урожайности зернобобового культурного растения в засушливых условиях Оренбургского Предуралья.

Выводы. За 17-летний период исследования наблюдалось повышение урожайности зерна гороха в почвозащитном севообороте с шестилетней ротацией на удобренном и неудобренном фонах питания, которое зависело от выпавших осадков в июне (доля влияния составила 30 и 31 %), весенних запасов продуктивной влаги (215,1 мм) и прибавки зерна (0,64 ц с 1 га) от минеральных удобрений. Низкий уровень урожайности зернобобовой культуры отмечался в беспаровом севообороте с двухлетней ротацией на двух фонах питания за счёт наименьших влагозапасов почвы (196,5 мм) и влияния погодных факторов: температуры воздуха июня и суховейных дней.

В результате проведённой статистической обработки данных по различным вариантам опыта

установлено определённое влияние на изменение урожайности посевов гороха в севооборотах от погодных факторов и влажности почвы. В пятом варианте эксперимента определена основная значительная зависимость урожайности зерна гороха от количества выпавших осадков в июне и почвенной влаги в пахотном слое почвы. В этом варианте доля влияния факторов составляла 50,66% осадков и 54,44% влаги. Наблюдение по остальным вариантам исследования показало наименьшее влияние элементов погоды на изменение урожайности гороха и отсутствие зависимости от влагозапасов почвы.

Литература

1. Малышева А.В. Эффективность применения Альбита, микроэлементов и Ризоторфина на посевах гороха в условиях степной зоны Южного Урала // Ресурсосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве: междунар. сб. науч. тр. Оренбург, 2010. С. 241–247.
2. Кислов А.В., Агеев Е.М. Влияние способов основной обработки почвы на урожайность гороха в условиях Оренбургского Предуралья // Ресурсосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве: междунар. сб. науч. тр. Оренбург, 2010. С. 239–241.
3. Кавун В.Г. Горох – чудесная культура // Горох и бобы: статьи / под ред. С.И. Семенчука. Куйбышев: Куйбышевское книжное изд-во имени Мяги. 1961. С. 46–50.
4. Высокос Г.В. Горох – копилка азота // Горох и бобы: статьи / под ред. С.И. Семенчука. Куйбышев: Куйбышевское книжное изд-во имени Мяги. 1961. С. 51–54.
5. Зеленов А.Н., Титенко Т.С., Шелепина Н.В. О селекции раннеспелых сортов гороха // Селекция и семеноводство, 2000. № 3. С. 4–7.
6. Максютов Н.А., Жданов В.М., Лактионов О.В. Биологическое и ресурсосберегающее земледелие в степной зоне Южного Урала. Оренбург: Печатный дом «Димур», 2008. 230 с.
7. Будилов А.П., Воскобулова Н.И., Соловьёва В.Н. Влияние нормы высева на продуктивность зерна гороха в условиях центральной зоны Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 2. С. 29–31.
8. Воскобулова Н.И., Соловьёва В.Н., Ураскулов Р.Ш. Урожайность зелёной массы и сухого вещества в зависимости от нормы высева гороха // Животноводство и кормопроизводство. Оренбург, 2018. № 2. С. 162–167.
9. Воскобулова Н.И., Верещагина А.С., Ураскулов Р.Ш. Влияние нормы высева и сроков уборки на питательную ценность зелёной массы гороха // Животноводство и кормопроизводство. Оренбург, 2018. № 3. С. 126–132.
10. Воскобулова Н.И. Влияние элементов технологии на рост и развитие растений гороха в условиях Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 4. С. 98–100.
11. Воробьев С.А., Буров Д.И., Егоров В.Е., Груздев Г.С. Земледелие / под ред. проф. С.А. Воробьева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1972. 512 с.