

периодам развития озимой пшеницы // Гидротехника и мелиорация. – 1975. – № 2. – С. 38–43.

Материал поступил в редакцию 20.09.10.
Пчелкин Виктор Владимирович, доктор

технических наук, профессор кафедры «Мелиорация и рекультивация земель»

Тел. 8 (495) 976-47-73

Абдель Таваб Метвалли Ибрахим, аспирант

E-mail: abdo10@mail.ru

УДК 502/504:631.6:633.85

В. В. БОРОДЫЧЕВ, Е. А. ДУБИНА

Государственное научное учреждение

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова. Волгоградский филиал

В. А. ПЛЕШАКОВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия»

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЛАГОЗАПАСОВ ПОСЕВАМИ ЯРОВОГО РЫЖИКА В РИСОВЫХ ЧЕКАХ

Исследована эффективность использования влагозапасов посевами ярового рыжика в рисовых чеках. Определены сочетания норм посева и доз внесения минеральных удобрений, обеспечивающих минимальные затраты воды на формирование урожая рыжика.

Рыжик, рисовые чеки, сопутствующая культура, технология, закономерность, оптимизация, норма посева, уровень минерального питания.

The efficiency of water stocks usage by sowings of spring saffron milk cap in rice checks was studied. Combinations of sowings norms and application doses of mineral fertilizers which ensure minimal water consumption on formation of the saffron milk cap harvest are determined.

Saffron milk cap, rice checks, associated crop, technology, regularity, optimization, norm of sowing, level of mineral feeding.

Обоснованная норма потребления масла на душу населения составляет 13,2 кг в год, из которых за счет отечественного производства обеспечивается только половина. Среди масличных культур, жир которых пригоден для пищевых целей, большой интерес представляет яровой рыжик. Из всех масличных культур, относящихся к семейству крестоцветных, рыжик наиболее устойчив к повреждению вредителями, поэтому технология возделывания этой культуры исключает применение пестицидов, что очень важно в экологическом отношении.

Культура рыжика отличается скороспелостью, высокой пластичностью, неприхотливостью и ликвидностью [1]. В рисовых чеках Республики Калмыкии эта культура уже на протяжении ряда лет

успешно возделывается в качестве сопутствующей культуры рисовых севооборотов, обеспечивая сбор маслосемян в пределах 0,8...1,3 т/га. Однако результаты проведенных опытов показывают, что возможно повышение продуктивности рыжика в рисовых чеках до 1,5...2,0 т/га.

Методика. Базисным направлением концепции повышения эффективности производства ценной масличной культуры – рыжика – в рисовых чеках является оптимизация использования почвенных влагозапасов – основного источника водного питания растения. Рыжик, как сопутствующую рису культуру, в рисовых чеках необходимо выращивать без полива, в богарных условиях; в то же время повышенные почвенные влагозапасы дают дополнительный потенциал

продуктивности культуре, который недоиспользуется при возделывании рыжика по обычной «богарной» технологии. Выход из указанных противоречий связан с необходимостью проведения исследований, в том числе экспериментальных, с закладкой полевого опыта. Полевой эксперимент, который явился основой исследований, был реализован авторами в 2007–2009 годах в чеках рисовой оросительной системы опытно-производственного хозяйства «Харада» Октябрьского района Республики Калмыкии. Основное внимание было уделено норме посева (фактор А) и определению оптимального режима минерального питания (фактор В), уровни которых варьировались в вариантах. Норму высева в опыте изменяли от 6 до 9 млн семян на 1 га; за контроль был принят вариант, где высевали 7 млн штук семян на 1 га. Контрольным вариантом по фактору В было естественное плодородие почвы в рисовых чеках. Удобрения вносили дозами $N_{10}P_{30}$, $N_{40}P_{50}K_{25}$ и $N_{70}P_{70}K_{50}$, рассчитанными соответственно на формирование 1,5; 2,0 и 2,5 т маслосемян с одного гектара.

Результаты. Результаты эксперимента послужили убедительным доказательством существенного влияния нормы высева рыжика и режима минерального питания на тот объем влаги, который расходуется для формирования одной тонны маслосемян. Значение коэффициента водопотребления этой культуры в рисовых чеках в среднем за годы исследований по вариантам опыта изменялось от 1508 до 2195 м³/т.

Исследованиями выявлены устойчивые закономерности изменения коэффициента водопотребления рыжика, возможность аппроксимации которых в математической форме доказана методом регрессионного анализа. В результате получена регрессионная зависимость коэффициента водопотребления рыжика от исследуемых в опыте факторов со статистически значимым корреляционным отношением, равным 0,79. Зависимость – нелинейная (рис. 1):

$$K_E = a + bx + c/y + dx^2 + e/y^2 + fx/y + gx^3 + h/y^3 + ix/y^2 + jx^2/y,$$

где K_E – коэффициент водопотребления, м³/т; x – показатель, характеризующий уровень минерального питания (этот показатель равен действующему веществу (д.в.) минерального

азота, вносимого с удобрениями; количество минерального азота использовано для исследования зависимости, так как этот элемент в наибольшей степени лимитирует урожайность сельскохозяйственных культур на бурых почвах республики); y – норма посева, млн семян/га; коэффициенты $a = 8896$; $b = -64,6$; $c = -107\,415$; $d = 1,44$; $e = 476\,896$; $f = 76,3$; $g = -0,005$; $h = -454\,734$; $i = 1\,156$; $j = -5,0$ получены эмпирическим путем в результате обработки экспериментального материала.

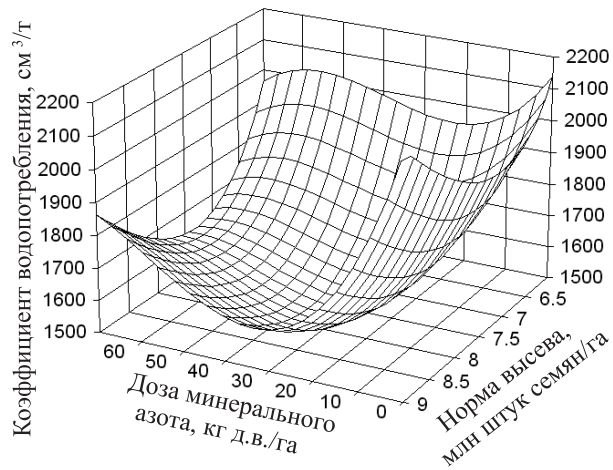


Рис. 1. Зависимость коэффициента водопотребления рыжика от уровня минерального питания и нормы посева

Из материалов, приведенных в табл. 1, видно, что среднестатистические фактические значения коэффициента водопотребления отличаются от рассчитанных по приведенной выше зависимости не более чем на 2,9 %. Это подтверждает высокую сходимость теоретического и экспериментального материала и позволяет использовать зависимость в оптимизационных расчетах.

График зависимости свидетельствует о наличии вполне определенного минимума, т. е. такого сочетания факторов, при котором влага посевами ярового рыжика используется максимально эффективно (рис. 1). Причем контроль по норме высева (7,0 млн штук семян/га) достаточно близок к области минимума.

Например, на фоне естественного плодородия почвы посев рыжика нормой 7,0 млн штук семян/га обеспечил наиболее выгодные условия использования воды при формировании урожая. Коэффициент водопотребления при таком сочетании факторов в среднем составил 1972 м³/т, что на 101...223 м³/т меньше, чем при посеве нормой 8...9 млн штук семян/га или 6 млн штук семян/га.

Таблица 1

**Коэффициент водопотребления рыжика
в зависимости от уровня минерального питания
и нормы посева при возделывании в рисовых чеках, м³/т**

Доза внесения минеральных удобрений, кг д.в./га	Норма высева, млн штук семян/га	Коэффициент водопотребления, м ³ /т					Теоретический	Ошибка, %
		Год исследований				Среднее значение		
		2007	2008	2009	Среднее значение			
N ₀ P ₀ K ₀	7	2063	1612	2242	1972	1957	-0,8	
	6	2172	1731	2430	2111	2135	1,1	
	8	2160	1698	2362	2073	2032	-2,0	
	9	2248	1731	2605	2195	2224	1,3	
N ₁₀ P ₃₀ K ₀	7	1759	1374	1893	1675	1723	2,9	
	6	2139	1662	2305	2035	1992	-2,1	
	8	1761	1447	1959	1722	1738	0,9	
	9	2033	1580	2125	1913	1889	-1,3	
N ₄₀ P ₅₀ K ₂₅	7	1675	1332	1846	1618	1585	-2,0	
	6	2061	1609	2230	1967	1985	0,9	
	8	1549	1273	1703	1508	1526	1,2	
	9	1707	1395	1820	1641	1636	-0,3	
N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀	7	1702	1348	1885	1645	1642	-0,2	
	6	2051	1647	2190	1963	1961	-0,1	
	8	1702	1418	1880	1667	1671	0,2	
	9	1955	1591	2051	1866	1864	-0,1	

Однако уже при внесении малой дозы удобрений N₁₀P₃₀K₀ достаточно ясно прослеживается смещение эффективности использования воды на формирование урожая в сторону повышения посевной нормы. В среднем за годы исследований при внесении N₁₀P₃₀K₀ коэффициент водопотребления рыжика на участках, где посев проводили нормой 7 или 8 млн штук семян/га, находился в пределах 1 675...1 722 м³/т.

При внесении удобрений дозой N₄₀P₅₀K₂₅ наименьшее количество воды (в среднем 1508 м³/т) на формирование урожая расходовалось при посеве рыжика нормой 8 млн штук семян/га. Это на 110 м³/т меньше, чем при контрольном варианте, и на 133...459 м³/т меньше, чем на участках, где посев проводили нормой 6 или 9 млн штук семян/га.

Таким образом, на удобренных вариантах целесообразно повышение нормы посева ярового рыжика до 8 млн штук семян/га. Следует заметить, что повышение дозы внесения минеральных удобрений до N₇₀P₇₀K₅₀ сопровождалось снижением эффективности использования воды на формирование урожая при норме посева 6...9 млн штук семян/га, т. е. при всех посевных нормах в опыте.

При анализе численного материала, полученного в результате расчета такого показателя, как коэффициент водопотребления,

трудно обойти вниманием или каким-либо образом упростить факт существенного изменения величины исследуемого показателя при фиксированных сочетаниях вариантов опыта. Например, при сочетании N₄₀P₅₀K₂₅ + 8 млн штук семян/га, обеспечивающем минимальный расход влаги на формирование единицы урожая, коэффициент водопотребления изменялся по годам исследований от 1176 до 1703 м³/т. Причем зависит этот разброс в основном от продуктивности посева, которая в свою очередь, при возделывании рыжика в рисовых чеках, зависит от того, какой общий ресурс влаги был доступен растениям. Действительно, взаимозависимость урожайности и водопотребления, выявленная многочисленными исследованиями для большинства сельскохозяйственных культур, в полной мере проявляется и при возделывании рыжика в рисовых чеках (рис. 2) [2].

Для формирования урожайности до 2 т/га посевам рыжика требуется расходовать 2700...2800 м³/га воды, а если суммарное водопотребление не превышает 2200...2300 м³/га, то трудно рассчитывать на получение более 1 т/га маслосемян.

Однако при возделывании рыжика в рисовых чеках без орошения суммарное водопотребление зависит от объема водных ресурсов, которые доступны растениям. Например, в проведенных опытах посева наибольшей продуктивности,

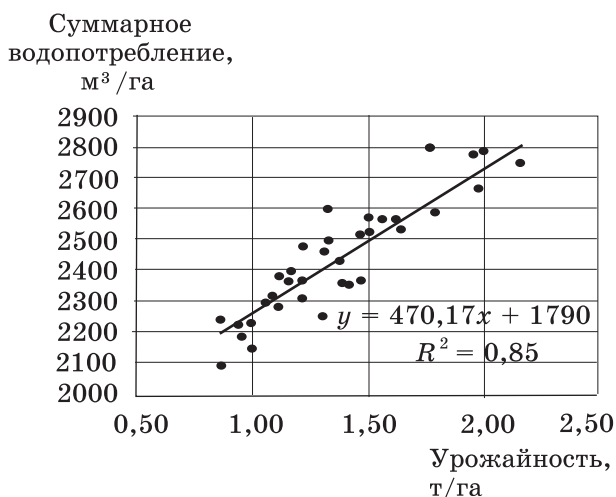


Рис. 2. Зависимость «вода – урожай» для рыжика при возделывании в рисовых чеках

обеспечивающие до 2,0 т/га маслосемян, формировались в 2008 году, атмосферных осадков в котором за вегетационный период рыжика было существенно больше, чем в 2007 и 2009 годах. Выпадение большего количества атмосферных осадков обеспечило за годы исследований максимальные ресурсы влаги, доступные растениям; наряду с этим суммарное водопотребление рыжика – 2250...2800 м³/га – в этом году было наибольшим.

Исследованиями рассчитаны значения теоретически доступных растениям объемов влаги в разные годы исследований (табл. 2). В качестве источников влаги для растений в расчетах использованы объемы воды, запасенной в корнеобитаемом горизонте почвы, влага атмосферных осадков, учтена возможность подпитывания растений за счет грунтовых вод [3]. Из табл. 2 видно, что максимальная урожайность рыжика обеспечивалась в годы, общий ресурс теоретически доступной растениям влаги в которые был наибольшим.

Таким образом, эффективность использования водных ресурсов на формирование урожая тесно связана с доступностью почвенной влаги растениям в течение вегетационного периода. Доступность почвенной влаги определяется наличием общего ресурса теоретически доступной растениям влаги и потреблением ее посевами. Естественно высказать предположение о наличии взаимосвязи между эффективностью использования влаги растениями, динамикой водопотребления посева и объемом теоретически доступной растениям влаги:

Таблица 2

Продуктивность и водопотребление рыжика в рисовых чеках

Доза внесения минеральных удобрений, кг д.в./га	Норма высева, млн штук семян/га	У (урожайность, т/га)			$E_{\text{фаз.}}, \text{ м}^3/\text{га}$ (среднее значение за годы исследований)	$\eta_{\text{лок}} = E_{\text{фаз.}}/W_{\text{T}}$
		$E_{\text{фаз.}}$ (водопотребление рыжика за период «посев – цветение»)				
		2007 год	2008 год	2009 год		
		W_{T} (объем водных ресурсов, теоретически доступных растениям):				
		2620 м³/га	2870 м³/га	2420 м³/га		
N ₀ P ₀ K ₀	7	1,11/900	1,47/940	0,99/870	903	0,343
	6	0,99/830	1,30/880	0,86/830	847	0,321
	8	1,06/920	1,39/950	0,94/870	913	0,346
	9	1,01/960	1,34/950	0,86/890	933	0,354
N ₁₀ P ₃₀ K ₀	7	1,37/910	1,82/960	1,22/890	920	0,349
	6	1,08/900	1,42/930	0,95/850	893	0,339
	8	1,38/930	1,79/970	1,21/920	940	0,357
	9	1,22/1030	1,62/1080	1,12/1060	1057	0,401
N ₄₀ P ₅₀ K ₂₅	7	1,51/920	1,96/1000	1,30/930	950	0,360
	6	1,15/910	1,51/940	1,00/860	903	0,343
	8	1,64/940	2,16/1020	1,48/960	973	0,369
	9	1,50/1040	2,00/1130	1,39/1050	1073	0,407
N ₇₀ P ₇₀ K ₅₀	7	1,51/1000	1,98/1050	1,31/1170	1073	0,407
	6	1,17/920	1,56/990	1,05/1020	977	0,390
	8	1,51/1010	1,96/1130	1,33/1220	1120	0,425
	9	1,33/1120	1,76/1220	1,17/1240	1193	0,453

$$K_E = f(E_{\text{фаз.}}/W_T) = f(\eta_{\text{лок.}}),$$

где K_E – коэффициент водопотребления; $\eta_{\text{лок.}} = E_{\text{фаз.}}/W_T$; $E_{\text{фаз.}}$ – водопотребление рыжика за период «посев – начало цветения»; W_T – теоретически доступный растениям ресурс влаги.

В табл. 2 приведены значения коэффициента $\eta_{\text{лок.}}$, равного отношению водопотребления рыжика E за период «посев – начало цветения» к общему, теоретически доступному растениям объему влаги. Повышение значений коэффициента $\eta_{\text{лок.}}$ с 0,32 до 0,37 сопровождается ростом эффективности использования воды на формирование урожая рыжика. Коэффициент водопотребления в среднем снизился с 2195 до 1508 м³/т.

Зависимость коэффициента водопотребления рыжика в рисовых чеках от коэффициента $\eta_{\text{лок.}}$ нелинейная (рис. 3):

$$K_E = 189\,012\eta_{\text{лок.}}^3 - 124\,391\eta_{\text{лок.}}^2 + 8\,133\eta_{\text{лок.}} + 6\,154.$$

Коэффициент детерминации зависимости – 0,92.

Коэффициент водопотребления, м³/т

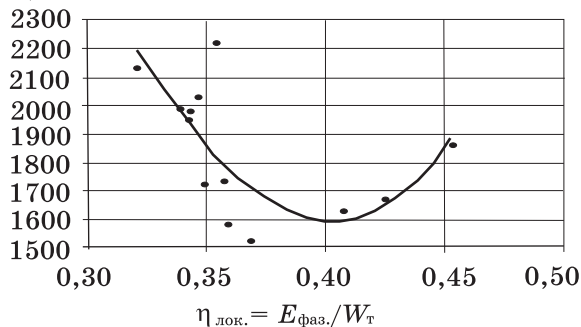


Рис. 3. График взаимосвязи между эффективностью использования влаги растениями, динамикой водопотребления посева и объемом теоретически доступной растениям влаги

При расходовании менее 37 % теоретически доступной растениям влаги часть водных ресурсов недоиспользуется. В результате существенно ограничивается продуктивность посевов.

Однако при расходовании более 37 % теоретически доступной растениям влаги за период от посева до начала

цветения коэффициент водопотребления рыжика существенно увеличивается. В этом случае звеном, лимитирующим урожайность, является дефицит почвенной влаги, которая становится труднодоступной в период формирования урожая. Потенциал продуктивности посева, сформированный к началу цветения рыжика, вследствие дефицита водных ресурсов не реализуется.

Выводы

От посева до начала цветения рыжика должна израсходоваться вполне определенная доля теоретически доступной растениям влаги. При использовании за период от посева до начала цветения 37 % теоретически доступной растениям влаги можно ожидать максимальной эффективности использования водных ресурсов на формирование урожая.

1. **Буянкин В. И.** Масличный рыжик на юге России // *Масла и жиры.* – 2008. – № 3. – С. 19–22.

2. **Бородычев В. В., Лытов М. Н., Репенко Т. В., Кравченко А. В.** Новые сопутствующие культуры в рисовых севооборотах // *Мелиорация и водное хозяйство.* – 2007. – № 3. – С. 19–21.

3. **Данильченко Н. В.** Биоклиматическое обоснование суммарного водопотребления и оросительных норм // *Мелиорация и водное хозяйство.* – 1999. – № 4. – С. 25–29.

Материал поступил в редакцию 02.09.10.

Бородычев Виктор Владимирович, член-корреспондент РАСХН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, директор Волгоградского филиала

Тел. 8-844-2 411505

E-mail: vkovniigim@yandex.ru

Дубина Елена Анатольевна, аспирантка

Тел. 8-844-2 411505

E-mail: vkovniigim@yandex.ru

Плешаков Владимир Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Мелиорация»

Тел. 8-902-3857756

E-mail: vkovniigim@yandex.ru