

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2014. Вып. 73.

УДК 631.4

ВЛИЯНИЕ ВОДОАККУМУЛИРУЮЩЕГО СЛОЯ НА ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ КАРТОФЕЛЯ НА СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ ОМАНА

**© 2014 г. Н. А. Муромцев¹, А. В. Шуравилин²,
Н. А. Семенов³, К. Б. Анисимов¹, Табук Мусалем⁴**

¹ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии,
119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2

² Российский Университет дружбы народов, 117198, ул. Миклухо-
Маклая, 6

³ Всероссийский институт кормов им. В.Р. Вильямса, 141055, Москов-
ская обл., Лобня, Научный городок, корп. 1

⁴ Российский университет дружбы народов, 117198, ул. Миклухо-
Маклая, 6

Проведен анализ особенностей водного режима супесчаных почв Омана. Установлены объемы суммарного водопотребления картофеля при различных режимах предполивной влажности почвы (70, 80% наименьшей влагоемкости (НВ) и 70–80–70% НВ), и в зависимости от вида водоаккумулирующего слоя из природных материалов. Показано, что наиболее благоприятные условия влагообеспеченности картофеля, с учетом экономного расходования оросительной воды, достигаются при дифференциации предполивной влажности почвы по межфазным периодам на уровне 70–80–70% НВ. При этом в качестве водоаккумулирующего слоя следует использовать сапрпель, который повышает урожайность картофеля не менее чем на 10%.

Ключевые слова: дефицит влаги, водный режим, водопотребление, режимы орошения, капельное орошение, оросительная норма, водоаккумулирующий слой, голубая глина, сапрпель.

В Омани возделывание сельскохозяйственных культур, в том числе картофеля, возможно только при орошении (El-Shaqs, Saif Abdallah, 2008; Ministry of Agricultural, 2011). Под картофель заняты незначительные площади – всего 327 га при валовом производстве за год 4 000 т и средней урожайности – 12,3 т/га, что недостаточно для растущей потребности населения. При орошении кар-

тофеля во многих странах мира используют в основном дождевание (Simmone, 2002; Amer, 2004; Tabook, 2006). Малообъемные способы орошения, в том числе капельное, применяются на небольших площадях без научного обоснования.

В условиях острого дефицита влаги, который отмечается в Омане, большое значение при орошении следует придавать экономному расходованию воды и повышению влагоемкости легких супесчаных почв с помощью создания водоаккумулирующего слоя. В Омане такие исследования до сих пор не проводились. В связи с этим целью настоящей работы является разработка оптимальной технологии капельного орошения картофеля, возделываемого на легких полупустынных почвах. Это достигается путем оптимизации порога предполивной влажности почвы (Муромцев, 1991; Роде, 2008) и создания водоаккумулирующего слоя с применением минеральных добавок, обеспечивающих повышение водоудерживающей способности почвы и ее влагоемкости. Работы проводили на землях сельскохозяйственной исследовательской станции Недж, которая расположена на высоте 282 м над уровнем моря.

Погодные условия периода вегетации картофеля в годы исследований мало отличалась от среднемноголетних данных. Температура воздуха составляла 24,1–24,7°C при среднемноголетней величине за декабрь–апрель, равной 24,3°C. За период вегетации декабрь–апрель выпадало от 4,1 до 5,8 мм осадков при среднемноголетней величине 4,5 мм. Дефицит естественного увлажнения за апрель–декабрь по годам исследований изменялся в пределах 1400,9–1446,2 мм.

Пустынные серо-коричневые целинные легкосупесчаные почвы ограничено пригодны для сельскохозяйственного использования. Они характеризуются грубой структурой, низким плодородием и высокой фильтрационной способностью, и для получения высокого урожая картофеля необходимо большое количество оросительной воды.

В процессе работы исследовали различные режимы предполивной влажности почвы (фактор А). Для аккумуляции влаги в корневой зоне растений при каждом режиме предполивной влажности почвы изучалось влияние природных материалов (сапропеля и голубой глины), обеспечивающих повышение влагоемкости почвы (фактор В). Схема опыта приведена в табл. 1.

Таблица 1. Схема полевого опыта при капельном орошении

№ п/п	Межфазный период	Режим предполивной влажности почвы (фактор А)	Субстрат (фактор В)
1	Посадка – начало бутонизации	70% НВ в течение вегетации	Почва без минеральных добавок (контроль)
2	Начало бутонизации – окончание роста ботвы		Почва + сапропель из расчета 200 г/растение
3	Окончание роста ботвы – техническая спелость клубней		Почва + голубая глина из расчета 200 г/растение
4	Посадка – начало бутонизации	80% НВ в течение вегетации	Почва без минеральных добавок (контроль)
5	Начало бутонизации – окончание роста ботвы		Почва + сапропель из расчета 300 г/растение
6	Окончание роста ботвы – техническая спелость клубней		Почва + голубая глина из расчета 300 г/растение
7	Посадка – начало бутонизации	Дифференцированный режим по межфазным периодам 70–80–70% НВ	Почва без минеральных добавок (контроль)
8	Начало бутонизации – окончание роста ботвы		Почва + сапропель из расчета 300г/растение
9	Окончание роста ботвы – техническая спелость клубней		Почва + голубая глина из расчета 200г/растение

Во всех вариантах опыта рельеф, почвенные и гидрогеологические условия были идентичны. Полевой опыт заложен в соответствии с методикой Б.А. Доспехова (1979). В процессе исследований использовались стандартные, общепринятые и современные методики. Для выращивания картофеля сорта Спунта Йеменской в опыте применяли общепринятую для условий Омана агротехнику с дополнением приемов согласно вариантам опыта. После вспаш-

ки проводили влагозарядковый полив затоплением (поливная норма 600–800 м³/га) с целью уплотнения и выравнивания почвы и снижения некапиллярной скважности. Для посадки применяли гребневую схему 70 × 25 см. Расстояние между капельными трубопроводами составляло 70 см, а между капельницами – 25 см.

Исследования показали, что при расходе капельницы 1.5 л/ч на фоне внесения в почву природных компонентов для создания водоаккумулирующего слоя, регулируя продолжительностью полива, можно добиться необходимого объема увлажняемой зоны, как по глубине, так и по ширине промачивания. Создание в почве аккумулирующего слоя из природных компонентов (сапропеля, голубой глина) в вариантах полива при 70% НВ приводило к увеличению ширины контура увлажнения за счет повышения влагоемкости почвы и некоторому снижению глубины увлажнения почвы. При этом заданная ширина контура увлажнения обеспечивалась при поливе картофеля в течение 2 ч, а расчетная глубина промачивания – за 2–2,5 ч.

Аналогичные изменения в параметрах контура промачивания отмечались и при поддержании режима предполивной влажности почвы 80% НВ. Здесь прослеживалась тенденция некоторого увеличения глубины и ширины промачивания: при нижнем пределе влажности почвы 80% НВ без внесения природных компонентов заданная глубина увлажнения формировалась через 1,5–2 ч, а ширина по фронту увлажнения – через 2 ч. Внесение в верхний пахотный слой почвы минеральных добавок также способствовало образованию бóльшей шаровидности формы контура увлажнения. Причем оптимальный профиль увлажнения по глубине формировался через 1,5–2 ч, а по ширине увлажняемой зоны – за 90 мин.

Таким образом, формирование водоаккумулирующего слоя из сапропеля и голубой глины обеспечивает некоторое увеличение объема увлажняемой зоны и влажности верхнего горизонта почвы. Показатели геометрии контура увлажнения позволили установить долю орошаемой площади при капельном поливе, которая в среднем составляла 0,43.

Влияние химических веществ, содержащихся в минеральных водоаккумулирующих добавках, специально не изучалось, однако замечено, что в вариантах с использованием глины, не-

смотря на наличие в ней некоторого количества калия, для получения высокой урожайности картофеля во второй и третий годы требуется дополнительное внесение калийных удобрений. Замечено также, что формирование водоаккумулирующего почвенного слоя из сапропеля повышало содержание в верхнем слое почвы доступного азота и частично фосфора, что сказывалось на величине урожая картофеля, и это необходимо учитывать при планировании доз минеральных удобрений.

В целом можно сказать, что при очень низкой обеспеченности легких пустынных почв Омана питательными веществами их содержание в первый год при внесении навоза 50 т/га один раз в три года находилось на уровне средней обеспеченности. Внесение сапропеля в количестве 11,43 т/га один раз в три года наряду с навозом увеличивало содержание азота на уровне средней обеспеченности в течение двух лет. Использование питательных элементов картофелем повышалось с увеличением влагообеспеченности растений. Внесение голубой глины для формирования водоаккумулирующего слоя заметно не сказывалось на изменении содержания питательных веществ в пахотном слое почвы и на урожае клубней картофеля.

Экспериментальные данные по режиму капельного орошения картофеля в зависимости от предполивной влажности почвы и наличия водоаккумулирующего слоя из природных добавок приведены в табл. 2. Из них следует, что при поддержании нижнего предела предполивной влажности почвы на уровне 70% НВ число поливов изменялось от 40 до 46, а оросительная норма – от 5476 до 6184 м³/га в зависимости от года исследований и вида природных добавок, из которых сформирован водоаккумулирующий слой. Поддержание более высокого порога предполивной влажности почвы (80% НВ) в вариантах 4–6 приводило к более частому проведению поливов и большему значению оросительной нормы.

Создание водоаккумулирующего слоя также способствовало снижению числа поливов на 4–5 и объема оросительной воды на 389–419 м³/га или на 5,5–6,0%. Природные материалы: сапропель и голубая глина – оказывали примерно одинаковый эффект по снижению затрат оросительной воды при поливах картофеля. При дифференцированном режиме влажности почвы 70–80–70% НВ так же, как и при других режимах предполивной влажности поч-

вы, внесение природных материалов для создания водоаккумулирующего слоя в почве способствовало снижению затрат оросительной воды в среднем на 334–363 м³/га или на 5,2–5,6% и на 4 полива. Режим орошения картофеля по годам исследований изменялся незначительно с колебаниями в размерах оросительной нормы от 200 до 400 м³/га и числе поливов от одного до двух. В среднем за годы исследований наибольшее число поливов и наибольший объем оросительной воды отмечались в фазу начало цветения – окончание роста ботвы. В зависимости от фазы развития картофеля изменялась поливная норма.

Средние поливные нормы за период вегетации картофеля при режиме влажности картофеля 70% НВ составляли 134–138 м³/га. Наибольшая доля оросительной воды приходится на фазу начало цветения – окончание роста ботвы – 26,5–33,8%, а меньше всего – в фазы: посадка – всходы (13,2–15,6%) и бутонизация – начало цветения (11,7–14,1%).

Таким образом, на режим капельного орошения картофеля большое влияние оказывают компоненты, используемые для создания в почве водоаккумулирующего слоя. В среднем в вариантах

Таблица 2. Распределение поливов и оросительной воды по фазам развития картофеля при капельном орошении (среднее за период 2009–2012 гг.)

№ варианта	Посадки – всходы		Всходы – начало бутонизации		Начало бутонизации – полное цветение		Цветение – окончание роста ботвы		Окончание роста ботвы – техническая спелость клубней		Всего за вегетации	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	1	6,3	788	11,3	1321	5,0	696	14,0	2019	8,0	1146	44,7
2	6,0	825	10,7	1226	5,0	747	11,3	1691	8,0	1177	41,0	5666
3	6,0	827	11,0	1287	5,3	770	12,0	1774	7,0	1034	41,3	5692
4	11,3	1026	20,7	1557	10,3	950	21,3	2009	16,0	1498	79,7	7040
5	10,3	961	20,3	1520	9,3	864	19,7	1870	15,0	1406	74,7	6621
6	10,3	955	20,3	1526	9,3	871	20,0	1878	15,3	1421	75,3	6651
7	8,0	1007	12,3	1422	9,7	910	18,3	1710	9,3	1396	57,7	6445
8	7,0	952	12,3	1445	7,7	731	18,3	1709	8,3	1245	53,7	6082
9	7,0	947	13,0	1517	8,0	743	17,3	1628	8,7	1276	54,0	6111

Примечание. 1 – число поливов; 2 – объем оросительной воды, м³/га.

без формирования водоаккумулирующего слоя при режиме предполивной влажности почвы 70% НВ оросительная норма составляла 5970 м³/га и была подана за 44,7 поливов. Применение дифференцированного режима предполивной влажности 70–80–70% НВ (вариант 7) приводило к увеличению числа поливов на 13 и оросительной нормы – на 475 м³/га (на 8%). Поддержание более высокой предполивной влажности почвы – 80% НВ (вариант 4) – увеличивало число поливов на 34,3 и оросительную норму на 1070 м³/га (на 17,9%) по сравнению с режимом влажности почвы 70% НВ.

Создание водоаккумулирующего слоя из природных материалов способствовало снижению числа поливов в среднем на 3, 4 и 5 соответственно при режимах орошения 70, 70–80–70 и 80% НВ. Использование в качестве водоаккумулирующего слоя сапропеля обеспечивало снижение оросительной нормы на 5,2–6,0%, а голубой глины – на 4,4–4,7–5,5%. С увеличением режима предполивной влажности почвы отмечается тенденция снижения показателей оросительной нормы.

Следует также отметить, что ежегодно за шесть дней до посадки картофеля проводился влагозарядковый полив затоплением нормой 800 м³/га для создания условий проведения полевых работ. Затем одновременно с посадкой осуществлялся капельный полив картофеля для увлажнения корнеобитаемого слоя почвы 0,5 м до влажности, соответствующей наименьшей влагоемкости. Этот полив учитывался как вегетационный. После завершения последнего полива картофель находился обычно в фазе технической спелости клубней. Поэтому в целях создания благоприятных условий для уборки картофеля влажность расчетного слоя почвы была снижена до уровня 55–58% НВ (Шуравилин, 2009), и почва была достаточно сухой. Следовательно, в течение вегетационного периода от посадки до уборки картофеля влажность почвы регулировалась поливами. На период посадки она обеспечивала своевременное появление всходов, а к уборке – благоприятные условия для сбора урожая картофеля.

Закономерностей водопотребления картофеля определяли в зависимости от различных режимов предполивной влажности почвы, а также от формирования водоаккумулирующего слоя из сапропеля и голубой глины и без него. Опытные данные по элементам

Таблица 3. Элементы водного баланса и суммарное водопотребление каргофеля в среднем за годы исследований, м³/га

№ варианта	Элемент водного баланса	Посадки – всходы	Всходы – начало бутонизации	Начало бутонизации – полное цветение	Цветение – окончание роста ботвы	Окончание роста ботвы – техническая спелость клубней	Всего
1	Осадки	11	15	14	10	1	51
	Запасы влаги из почвы	174	-1	-9	4	352	520
	Оросительная вода	788	1321	696	2019	1146	5970
	Итого	973	1335	702	2033	1499	6541
2	Осадки	11	15	14	10	1	51
	Запасы влаги из почвы	172	-5	-5	3	341	506
	Оросительная вода	825	1226	747	691	1177	5666
	Итого	1008	1236	756	1704	1519	6223
3	Осадки	11	15	14	10	1	51
	Запасы влаги из почвы	169	-2	-7	10	340	510
	Оросительная вода	827	1287	770	1774	1034	5692
	Итого	1007	1300	777	1794	1375	6253
4	Осадки	11	15	14	10	1	51
	Запасы влаги из почвы	107	-5	10	-7	377	482
	Оросительная вода	1026	1557	950	2009	1498	7040
	Итого	1144	1567	974	2012	1876	7573

№ варианта	Элемент водного баланса	Посадки – всходы	Всходы – начало бутонизации	Начало бутонизации – полное цветение	Цветение – окончание роста ботвы	Окончание роста ботвы – техническая спелость клубней	Всего
5	Осадки	11	15	14	10	1	51
	Запасы влаги из почвы	100	7	-2	0	362	467
	Оросительная вода	961	1520	864	1870	1406	6621
	Итого	1072	1542	876	1880	1769	7139
6	Осадки	11	15	14	10	1	51
	Запасы влаги из почвы	102	-2	5	0	367	472
	Оросительная вода	955	1526	871	1878	1421	6671
	Итого	1068	1539	890	1888	1789	7174
7	Осадки	11	15	14	10	1	51
	Запасы влаги из почвы	169	-1	-70	4	399	501
	Оросительная вода	1007	1422	910	1710	1396	6445
	Итого	1187	1436	854	1724	1796	6997
8	Осадки	11	15	14	10	1	51
	Запасы влаги из почвы	140	22	-57	0	382	487
	Оросительная вода	952	1445	731	1709	1245	6082
	Итого	1103	1482	688	1719	1628	6620
9	Осадки	11	15	14	10	1	51
	Запасы влаги из почвы	143	24	-62	0	382	487
	Оросительная вода	947	1517	743	1628	1276	6111
	Итого	1101	1556	695	1638	1659	6649

водного баланса орошаемого поля и водопотреблению картофеля по фазам развития в среднем за годы исследований приведены в табл. 3.

Повышение режима предполивной влажности почвы с 70 до 80% НВ приводит к увеличению суммарного и среднесуточного водопотребления. Так, в варианте 4 суммарное водопотребление изменялось от 7403 до 7803 м³/га и в среднем за 3 года составляло 7573 м³/га, а среднесуточное – соответственно от 52,3 (фаза всходы – начало бутонизации) до 75,0 (окончание вегетации картофеля) в среднем – 65,9 м³/га. Поддержание более высокого порога предполивной влажности почвы приводит к закономерному увеличению водопотребления картофеля. Так, с повышением режима предполивной влажности с 70 до 80% НВ, его суммарное водопотребление в вариантах 1–3 увеличилось в среднем с 6541 до 7573 м³/га или на 1032 м³/га (на 15,8%), а среднесуточное – с 58,9 до 65,9 м³/га. Эти показатели обусловлены размерами оросительных норм и особенностями погодных условий вегетационных периодов конкретных лет.

Внесение в почву природных добавок из сапропеля и голубой глины способствовало снижению значений водопотребления. При этом водоаккумулирующий слой из сапропеля снижал суммарное водопотребление в среднем до 6620 м³/га или на 377 м³/га (5,4%) и среднесуточное водопотребление – с 61,9 до 57,6 м³/га, а почвенный слой из голубой глины – в среднем с 6997 до 6649 м/га или на 348 м /га (на 5%), а среднесуточное водопотребление – в среднем до 58,3 м³/га. Полученные различия в показателях водопотребления при использовании природных материалов из сапропеля и глины также были несущественными. Однако по годам исследований во всех изучаемых пределах предполивной влажности изменения в значениях водопотребления были более заметными. Наибольшие показатели водопотребления картофеля отмечались в 2010/2011 г., а наименьшие – в 2009/2010 г.

Сравнительные данные по динамике водопотребления картофеля в течение вегетации показали, что наибольшие значения характерны для фазы цветение – окончание роста ботвы, которая является критическим периодом по влагообеспеченности картофеля. Объем оросительной воды в суммарном водопотреблении картофеля во всех вариантах опыта является наибольшим.

Он варьирует по годам исследования и в зависимости от внесения в почву природных компонентов от 6446 до 7261 м³/га, а их удельный вес изменялся в пределах 92,2–93,4%. Внесение в почву природных добавок из сапропеля и голубой глины заметно снижало объем оросительной воды в среднем на 5,5–6,0%.

Таким образом, в засушливых полупустынных условиях Омана водопотребление картофеля определялось в основном дефицитом естественной влагообеспеченности, изменениями запасов влаги в почве от посадки до уборки картофеля и в меньшей степени зависело от климатических условий периода исследований. В целом суммарное водопотребление картофеля при рассматриваемых режимах предполивной влажности почвы и в зависимости от формирования водоаккумулирующего слоя из природных материалов за годы исследований изменялось в пределах 6223–7573 м³/га.

В зависимости от порога предполивной влажности почвы и от наличия или отсутствия в верхнем пахотном горизонте почвы водоаккумулирующего слоя из природных компонентов значения урожайности картофеля существенно изменялись.

Информация табл. 4 свидетельствует о том, что с повышением режима предполивной влажности почвы и созданием в верхнем горизонте почвы водоаккумулирующего слоя из природных компонентов, особенно из сапропеля, во все годы исследований заметно увеличивалась урожайность картофеля. В среднем наибольшая урожайность его (25,6 т/га) получена в варианте 5 при поддержании порога предполивной влажности на уровне 80% НВ в активном слое почвы и внесении в верхний горизонт почвы сапропеля.

Укажем, что внесение в почву сапропеля во всех вариантах приводило к увеличению урожайности картофеля на 2,0–2,5 т/га или на 10,3–10,9%, а при внесении голубой глины – на 0,7–1,3 т/га или на 3,8–5,8% по сравнению с вариантами без водоаккумулирующего почвенного слоя.

Графическое изображение зависимости урожайности картофеля от режима предполивной влажности почвы и биоэнергетического потенциала водоаккумулирующего слоя приведено на рисунке.

Таблица 4. Урожайность клубней картофеля при капельном орошении
Вариант опыта

№ вари-анта	Урожайность, т/га	Урожайность, т/га				Отклонение от контроля	
		2009/2010	2010/2011	2011/2012	среднее	т/га	%
1	Режим влажности 70% НВ без внесения в почву минеральных добавок (контроль)	21,4	19,6	13,9	18,3	–	100,0
2	Режим влажности 70% НВ + сапропель 200 г/растение	24,3	21,3	15,3	20,3	2,0	110,9
3	Режим влажности 70% НВ + голубая глина 200 г/растение	22,3	20,2	14,5	19,0	0,7	103,8
4	Режим влажности 80% НВ без внесения в почву минеральных добавок (контроль)	27,4	24,1	17,8	23,1	4,8	126,2
5	Режим влажности 80% НВ + сапропель 200 г/растение	30,3	26,3	20,2	25,6	7,3	139,9
6	Режим влажности 80% НВ + голубая глина 200 г/растение	28,4	25,2	18,4	24,0	5,7	131,1
7	Дифференцированный режим влажности 70–80–70% НВ без внесения в почву минеральных добавок (контроль)	26,4	23,8	17,0	22,4	4,1	122,4
8	Дифференцированный режим влажности 70–80–70% НВ+ сапропель 200 г/растение	28,9	25,7	19,5	24,7	6,4	135,0
9	Дифференцированный режим влажности 70–80–70% НВ+ голубая глина 200 г/растение	27,6	24,5	17,8	23,3	5,0	127,3
НСР ₀₅	по фактору А (режим предполитивной влажности почвы)	1,23	1,14	0,91	1,54		
НСР ₀₅	по фактору В (внесение минеральных добавок в почву)	0,78	0,55	0,46	0,89		
НСР ₀₅	по взаимодействию факторов А и В	1,52	1,27	1,04	1,82		

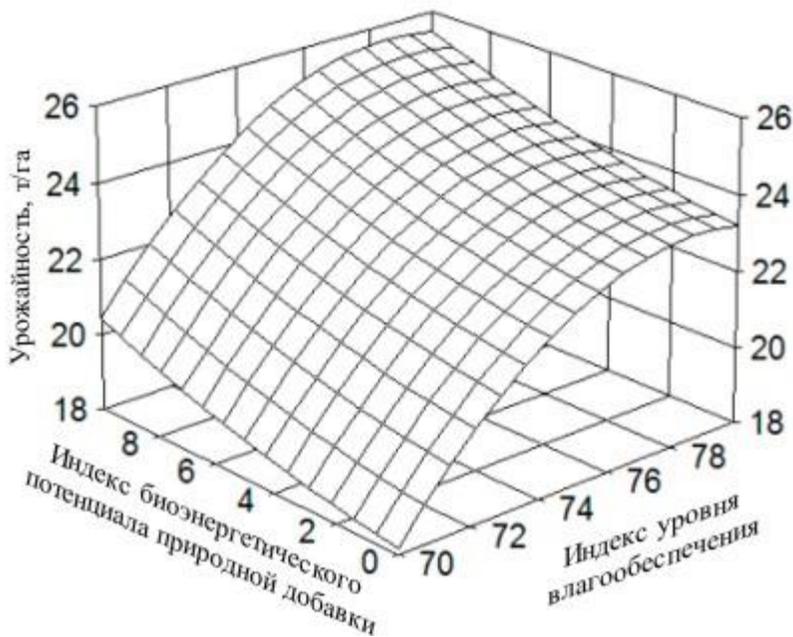


График зависимости урожайности картофеля от уровня влагообеспеченности и биоэнергетического потенциала природной добавки.

Математическая зависимость урожайности картофеля имеет вид:

$$Y = a + b \cdot W + c \cdot W^2 + d \cdot i + e \cdot i^2,$$

где Y – урожайность картофеля, т/га; W – индекс уровня влагообеспечения; i – индекс биоэнергетического потенциала природной добавки; коэффициенты: $a = -409,1$; $b = 11$; $c = -0,07$; $d = 0,11$; $e = 0,012$ – установлены по экспериментальным данным. Коэффициент детерминации зависимости $R^2 = 0,92$.

Индекс уровня водообеспеченности принимали по режиму предполивной влажности почвы, равной 70% НВ, 70–80–70% НВ, 80% НВ, а индекс биоэнергетического потенциала природных добавок (условно) – 5 т/га для голубой глины и 10 т/га для сапропеля.

Полученные результаты исследований капельного орошению картофеля показали, что с учетом экономного расходования оросительной воды наиболее благоприятные условия влагообес-

печенности достигаются при дифференциации предполивной влажности почвы по межфазным периодам на уровне 70–80–70% НВ. При этом в качестве водоаккумулирующего слоя следует использовать сапропель, который повышает урожайность картофеля на 10%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Водопотребление картофеля в засушливых полупустынных условиях Омана определяется в основном дефицитом естественной влагообеспеченности, изменениями запасов влаги в почве от посадки до уборки картофеля и в меньшей степени зависит от климатических условий периода исследований. В целом суммарное водопотребление картофеля при рассмотренных режимах предполивной влажности почвы и в зависимости от вида водоаккумулирующего слоя из природных материалов в среднем за годы исследований изменялось в пределах 6223–7573 м³/га.

При нижнем пределе предполивной влажности почвы на уровне 70% НВ число поливов изменялось от 40 до 46, а оросительная норма – от 5476 до 6184 м³/га в зависимости от года исследований. Поддержание более высокого порога предполивной влажности почвы (80% НВ) приводило к более частому проведению поливов и большему значению оросительной нормы. Наиболее высокая урожайность картофеля получена в варианте 3 при дифференцированном режиме предполивной влажности (70–80–70), составившем в среднем 24,7 т/га.

Наибольшая доля оросительной воды приходилась на фазу начало цветения – окончание роста ботвы – 26,5–33,8%, а наименьшая – на фазы посадка – всходы (13,2–15,6%) и бутонизация – начало цветения (11,7–14,1%).

Объем оросительной воды в суммарном водопотреблении картофеля во всех вариантах опыта являлся наибольшим по сравнению другими статьями водного баланса. Он варьировал по годам исследования в пределах от 6446 до 7261 м³/га, а их удельный вес изменялся в интервале 92,2–93,4%. Внесение в почву природных добавок из сапропеля и голубой глины заметно снижало объем оросительной воды (в среднем на 5,5–6,0%).

Внесение сапропеля в количестве 11,43 т/га один раз в три года наряду с навозом увеличивало содержание азота на уровне

средней обеспеченности в течение двух лет. Использование питательных элементов картофелем повышалось с увеличением влагообеспеченности растений. Раздельное влияние на урожай клубней картофеля водоаккумулирующего слоя из сапропеля и от содержащихся в нем некоторых химических веществ не установлено, однако это влияние на урожай культуры следует учитывать при разработке режима и норм удобрений. Внесение голубой глины для формирования водоаккумулирующего слоя заметно не сказывалось на изменении содержания питательных веществ в пахотном слое почвы и на урожае клубней картофеля.

Наиболее благоприятные условия влагообеспеченности картофеля, с учетом экономного расходования оросительной воды, достигались в условиях с дифференциацией предполивной влажности почвы по межфазным периодам на уровне 70–80–70% НВ. При этом в качестве водоаккумулирующего слоя следует использовать сапрпель, который повышает урожайность картофеля не менее чем на 10%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М., 1979. 336 с.
2. *Муромцев Н.А.* Экспериментальная гидрофизика почв. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 272 с.
3. *Роде А.А.* Избр. тр. В 4-х томах. Т. 3. Основы учения о почвенной влаге. М., 2008. 663 с.
4. *Шуравилин А.В.* Мелиорация. М., 2009. 750 с.
5. *Amer K.H., Hatfield J.L.* Canopy resistance as affected by soil and meteorological factors in potato // *Agronomy J.* 2004. V. 96. № 4. P. 978–985.
6. *El-Shaqsy Saif Abdallah.* Водная безопасность в Султанате Оман и проблемы, с которыми сталкивается его будущее // Первый научный форум по продовольственной безопасности и устойчивого развития. Дофар, Салала, 2008.
7. Ministry of Agricultural and fisheries Wealth. Sultanate Oman. Agricultural and livestock five year research strategy 2011–2015. 2011.

Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2014. Вып. 73.

8. *Simmons E., Oukrim N., Caylor A.* Evaluation of an irrigation scheduling model for drip irrigated potato in southern United States // Hort Science. 2002. V. 37. P. 104–107.
9. *Tabook M.A.* Доклад об опыте Султаната Оман в области мониторинга и оценки борьбы с опустыниванием // Ежегодник Арабской организации сельскохозяйственного развития. 2006. С. 99–220 (на арабском языке).

THE INFLUENCE OF WATER-HOLDING LAYER ON THE WATER SUPPLY OF POTATOES IN LOAM-SANDY SOILS OF OMAN

© 2014 N. A. Muromtsev¹, A. V. Shuravilin¹,
N. A. Semenov¹, K. B. Anisimov¹, Tabuk Musalem

¹*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 119117, Moscow, Pyzhevskii, 7, bld. 2*

²*Peoples' Friendship University, 117198, Moscow Miklukho-Maklaya str. 6*

³*All-Russian Williams Fodder Research Institute, 141055, Moscow region, Lobnya, Scientific township, korp.1*

The paper is devoted to the analysis and evaluation of peculiar features of the water regime in loam-sandy soils of Oman. The total water volume taken up by potatoes has been determined in different modes of pre-irrigation soil moisture (70, 80% of MWC and 70–80–70% of MWC) and in dependence on the water-holding layer consisting of natural materials. It is shown that the most favorable conditions for water supply of potatoes, taking into account the economical use of irrigation water, can be created by differentiation of pre-irrigation soil moisture in inter-phase periods at a level of 70–80–70% of minimum water capacity (MWC). At the same time, sapropel should be used as a water-holding layer, which increases the potatoes yield at least by 10%.

Keywords: moisture deficit, water regime, water use, moisture content, modes of irrigation, drop irrigation, irrigation rate, water-holding layer, blue clay, sapropel.

In Oman the crop cultivation including potatoes is possible only on lands under irrigation [6, 7]. Insignificant areas are covered by potato plantations accounting for 327 hectares. The bulk potato yield is estimated at 4000 t/yr at the average 12.3 t/ha, what is insufficient for constantly growing requirements of the population. As a rule, sprinkling is used for potato irrigation in many countries of the world. There is no scientifically-grounded application of irrigation in little amount of water such as drop one in small areas.

In Oman, where the clearly expressed water deficit is observed, it is very important to use economically the irrigation water and to increase the water capacity of light-textured loam-sandy soils by creating a water storage layer. Such studies haven't been so far carried out in this country. In view of this, the present study is aimed at elaborating optimal technologies of drop irrigation for potato cultivation on light semi-desert soils. This can be achieved by optimizing the threshold of pre-irrigation soil moisture [2, 3] and creating a water storage layer by means of mineral substances capable to provide increasing the water-holding capacity of soils. This study was conducted at the territory of agricultural experimental station in Nedzh located at a height of 282 m above the sea level.

In the course of these studies the weather conditions displayed no differences in the period of potato vegetation from those averaged for several years. The air temperature was 24.1–24.7°C, being equaled to 24.3°C within the December-April period. The precipitation varied from 4.1 to 5.8 mm during the vegetation period and the insufficient natural moisture in December-April revealed changes in the range from 1400.9 to 1446.2 mm.

The virgin light loam-sandy gray-cinnamonic desert soils are restrictively suitable for agricultural use. They have a coarse structure, a higher infiltration capacity, their fertility is rather low and a great amount of irrigation water is required for high potato yields.

Different regimes of pre-irrigation soil moisture have been thoroughly studied (factor A). Under study were also natural materials (sapropel and blue clay) affecting the increase in the water capacity of soils and water accumulation within the root zone (factor B). The scheme of this experiment is shown in Table 1.

In all the variants of this experiment the relief, soil and hydrogeological conditions were identical. The methods proposed by B.A. Dospekhov (1979) were used for trial establishment. Traditional and modern methods found an application as well. The management practices as generally adopted in Oman were performed to cultivate this crop (Spunta Jemen variety). After plowing the water-charging irrigation (600–800 m³/ha) was conducted with the view of compacting and leveling the soil and decreasing the non-capillary porosity. The scheme (70 × 25 cm) was applied for furrow planting of potato with a distance of 70 cm between drop tubes and 25 cm between drippers.

Table 1. Scheme of field experiment using drop irrigation

No.	Inter- phase period	Regimes of pre-irrigation soil moisture (factor A)	Substratum (factor B)
1	Planting - budding	70% of minimum field capacity (MFC) during the vegetation period	Soil without mineral substances (control)
2	Budding – finishing of the tops growth		Soils + saptopel (200g per plant)
3	Finishing of the tops growth – technical maturity of tubers		Soil + blue clay (200g per plant)
4	Planting - budding	80% MFC during the vegetation period	Soil without mineral substance (control)
5	Budding – finishing of the tops growth		Soil + saptopel (300g per plant)
6	Finishing of the tops growth – technical maturity of tubers		Soil + blue clay (300g per plant)
7	Planting – budding	Differentiated regime in interphase period 70–80–70% FC	Soil without mineral substances (control)
8	Budding – finishing of the tops growth		Soil + saptopel (300g per plant)
9	Finishing of the tops growth – technical maturity of tubers		Soil + blue clay (300g per plant)

The obtained results showed that the water discharge in the amount of 1.5 l/hour for every dripper against the background of mineral components for creating a water storage layer and regulating a long time of irrigation permitted to fill with water a rather great soil contour embracing a definite depth and width. The creation of the water storage layer by using spropel and blue clay in variants with 70% of minimum field capacity (MFC) led to increasing the width of the moist soil contour due to increasing the water capacity in soil and decreasing the depth of soil moisture. The required width of soil contour became wet during 2 hours of irrigation; 2–2.5 hours permitted to irrigate the soil at a definite depth.

Identical changes in parameters of the wet soil contour took place in the variant with the pre-irrigation water moisture of 80% MFC. It was possible to observe increasing the depth and width of the wet zone: at 80% of MFC without natural components the soil depth became wet after 1.5–2 hours of irrigation and 2 hours were required to reach a definite width of the moist soil contour, the latter being effectively affected by introduction of mineral materials into the topsoil. The soil became moist along the profile to the optimal depth during 1.5–2 hours of irrigation and only 90 min were required for moistening a definite width of the soil contour.

Thus, the formation of the water storage layer with addition of spropel and blue clay provides increasing the dimension of the wet soil contour and the moisture in the topsoil. The geometric indices of the wet soil contour permitted to determine a share of the area under drop irrigation averaged as 0.43.

The influence of chemical substances containing in mineral materials added into the soil for creating a water storage layer hasn't been specially studied. However, it is worth emphasizing that in experiment variants with blue clay the high potato yield required two years later an additional application of potassium fertilizers. The formation of the water storage layer with spropel increased the content of available nitrogen and partially phosphorus in the topsoil, thus affecting the potatoes yield. This should be taken into complete account in case of calculating the rate of mineral fertilizers.

In Oman the light-textured desert soils have a low content of nutrients. The manure in the amount of 50 t/ha applied once for 3 years

provided an average supply of soils with nutrient elements. Sapropelel in the amount of 11.43 t/ha applied once for 3 years equally to manure enhanced the average nitrogen content during two years. The nutrient availability by potatoes was increased with increasing the water supply of plants. The blue clay introduced into the soil to form the water storage layer had no effect on changes in the content of nutrient elements in the topsoil and potato yielding.

Table 2 demonstrates experimental data about the regime of drop irrigation in dependence on the pre-irrigation soil moisture and the presence of the water storage layer formed by mineral materials in soil. To maintain the pre-irrigation soil moisture at a level of 70% MFC, a number of watering was varying from 40 to 46, and the irrigation rate – from 5476 to 6184 m³/ha in dependence on the year of research and the kind of natural materials used for creating the water storage layer. In variants with a higher threshold of pre-irrigation soil moisture (80% MFC) a greater number of watering and the increased rate of irrigation water were required.

The creation of the water storage layer promoted decreasing a number of watering by 4–5 times and the volume of irrigation water – by 389–419 m³/ha or 5/5–6.0%. Natural materials including sapropelel and blue clay had an identical effect on the decrease in the volume of irrigation water. At the differentiated regime of soil moisture (70–80–70% MFC) parallel with the other regimes of pre-irrigation soil moisture the application of the above mineral materials was conducive to decreasing the amount of irrigation water by 334–363 m³/ha or 5.2–5.6% on the average. The irrigation regime of potatoes during the years of these studies revealed an insignificant change, thus fluctuating from 200 to 400 m³/ha of irrigation water and a number of watering, the latter being increased only in the phase of blossoming to finishing the tops growth. The irrigation rate changed in dependence on the phase of potato growth and development.

The average rate of irrigation water made up 134–138 m³/ha during the vegetation period at the regime of pre-irrigation soil moisture of 70% MFC. The major volume of water was used within the phase of blossoming – finishing of the tops growth and accounted for 26.5–33.8%, it was somewhat less in the phases of planting – germination (13.2–15.6%) and budding – blossoming (11.7–14.1%).

Table 2. Distribution of watering and irrigated water according to phases of potatoes growth and development using drip irrigation (average data for 2009–2012)

No. variant	Planting – germination		Germination budding		Budding – blossoming		Blossoming – finishing of tops growth		Finishing of tops growth – technical tuber maturity		Total in the vegetation period	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	6,3	788	11,3	1321	5,0	696	14,0	2019	8,0	1146	44,7	5970
2	6,0	825	10,7	1226	5,0	747	11,3	1691	8,0	1177	41,0	5666
3	6,0	827	11,0	1287	5,3	770	12,0	1774	7,0	1034	41,3	5692
4	11,3	1026	20,7	1557	10,3	950	21,3	2009	16,0	1498	79,7	7040
5	10,3	961	20,3	1520	9,3	864	19,7	1870	15,0	1406	74,7	6621
6	10,3	955	20,3	1526	9,3	871	20,0	1878	15,3	1421	75,3	6651
7	8,0	1007	12,3	1422	9,7	910	18,3	1710	9,3	1396	57,7	6445
8	7,0	952	12,3	1445	7,7	731	18,3	1709	8,3	1245	53,7	6082
9	7,0	947	13,0	1517	8,0	743	17,3	1628	8,7	1276	54,0	6111

1. Note. 1 – a number of watering; 2 – volume of irrigated water, m³/ha.

Thus, the regime of drop irrigation is highly affected by components used for creating the water storage layer. In variants without such a layer at the regime of pre-irrigation soil moisture (70% MFC) the rate of irrigation water was 5970 m³/ha used by a number of watering (44.9). The differentiated regime of pre-irrigation soil moisture (70–80–70% MFC) led to increasing the number of watering by 13 times and the rate of irrigation water by 475 m³/ha or 8%. A higher pre-irrigation soil moisture accounted for 80% MFC (variant 4) increased the number of watering by 34.3 and the irrigation rate – by 1070 m³/ha or 17.9% as compared to the regime of soil moisture in 70% MFC.

The creation of the water storage layer using natural materials promoted decreasing a number of watering by 3, 4, 5 times at 70, 70–80–70 and 80% MFC respectively. Application of sapropel as a water storage layer declined the rate of irrigation water by 5.2–6.0% but the blue clay applied for this purpose – by 4.4–4/7–5.5%. With increasing the pre-irrigation soil moisture the rates of irrigation water were decreased.

One should notice that every year before the potato planting the water-charging irrigation (800 m³/ha) was performed to create conditions for field works. Simultaneously with planting the drop irrigation was used to make the root layer wet up to the minimum water capacity. After the last watering of potatoes during the vegetation period the plants were found in the phase of technical tuber maturity. In view of creating favorable conditions for harvesting the soil moisture was decreased to a level of 55–58% MFC [4] and the soil remained dry. Thus, during the vegetation period the soil moisture was governed by watering. It was favorable for germination at the beginning of the vegetation period and remained suitable for harvesting.

Regularities in the water uptake by potatoes was determined in dependence on different regimes of the pre-irrigation soil moisture as well as the formation of the water storage layer using sapropel and blue clay and without this layer. The obtained data about the water balance and water use in phases of potatoes growth and development are shown in Table 3.

The increase in the regime of pre-irrigation soil moisture to 80% MFC leads to enhancing the total and average daily water use. So, in variant 4 the total water use was changed from 7403 to 7803 m³/ha averaged as 7573 m³/ha for 3 years, whereas the average daily water use – from 52.3 to 75.0 m³/ha accounting for 65.9 m³/ha at an average.

Table 3. Elements of the water balance and total water use by potato averaged for years of research, m³/ha

№ variant	Element of water balance	Planting-germination	Germination -budding	Budding – blossoming	Blossoming – finishing of the tops growth	Finishing of the tops growth – complete maturity of tubers	Total
1	Precipitation	11	15	14	10	1	51
	Water stock from soil	174	-1	-9	4	352	520
	Irrigation water	788	1321	696	2019	1146	5970
	Total	973	1335	702	2033	1499	6541
2	Precipitation	11	15	14	10	1	51
	Water stock from soil	172	-5	-5	3	341	506
	Irrigation water	825	1226	747	691	1177	5666
	Total	1008	1236	756	1704	1519	6223
3	Precipitation	11	15	14	10	1	51
	Water stock from soil	169	-2	-7	10	340	510
	Irrigation water	827	1287	770	1774	1034	5692
	Total	1007	1300	777	1794	1375	6253
4	Precipitation	11	15	14	10	1	51
	Water stock from soil	107	-5	10	-7	377	482
	Irrigation water	1026	1557	950	2009	1498	7040
	Total	1144	1567	974	2012	1876	7573

№ variant	Element of water balance	Planting-germination	Germination -budding	Budding – blossoming	Blossoming – finishing of the tops growth	Finishing of the tops growth – complete maturity of tubers	Total
5	Precipitation	11	15	14	10	1	51
	Water stock from soil	100	7	-2	0	362	467
	Irrigation water	961	1520	864	1870	1406	6621
	Total	1072	1542	876	1880	1769	7139
6	Precipitation	11	15	14	10	1	51
	Water stock from soil	102	-2	5	0	367	472
	Irrigation water	955	1526	871	1878	1421	6671
	Total	1068	1539	890	1888	1789	7174
7	Precipitation	11	15	14	10	1	51
	Water stock from soil	169	-1	-70	4	399	501
	Irrigation water	1007	1422	910	1710	1396	6445
	Total	1187	1436	854	1724	1796	6997
8	Precipitation	11	15	14	10	1	51
	Water stock from soil	140	22	-57	0	382	487
	Irrigation water	952	1445	731	1709	1245	6082
	Total	1103	1482	688	1719	1628	6620
9	Precipitation	11	15	14	10	1	51
	Water stock from soil	143	24	-62	0	382	487
	Irrigation water	947	1517	743	1628	1276	6111
	Total	1101	1556	695	1638	1659	6649

A higher threshold of pre-irrigation soil moisture leads to regular increasing the water uptake by potatoes. In variants 1-3 the total water use showed an increase from 6541 to 7573 m³/ha or by 1032 m³/ha (15.8%) at the regime of pre-irrigation soil moisture in 80% MFC.

Application of sapropel and blue clay provided decreasing the water use. The water storage layer containing sapropel decreased the total water use to 6620 m³/ha or 377 m³/ha (5.4%) and the average daily water use – from 61.9 to 57.6 m³/ha, whereas such a layer created by using the blue clay – from 6997 to 6649 m³/ha or 5%.

Comparative data about the dynamics of water use and uptake by potatoes during the vegetation period showed that the most great values are typical for the phase of blossoming – finishing of the tops growth. The volume of irrigation water is the greatest in all variants of this experiment, being varied from 6446 to 7261 m³/ha in dependence on natural components introduced into the soil; the specific weight varied in the range from 92.2 to 93.4%. Application of such natural components as sapropel and blue clay declined the volume of irrigation water by 5.5–6.0% at an average.

Thus, under dried semi-desert conditions of Oman the water uptake by potatoes is determined by the deficit of natural water supply, changes in water stock within the period from planting to harvesting and climatic conditions to a lesser extent. In the course of these studies the total water use changed from 6223 to 7573 m³/ha in dependence on the regime of pre-irrigation soil moisture and natural materials for the water storage layer. Such dependence was established for potatoes yield as well.

The data presented in Table 4 show that the increased regime of the pre-irrigation soil moisture and creation a water storage layer by using sapropel provoked an addition yield of potatoes, accounting 25.6 t/ha in variant 5, where the threshold of pre-irrigation soil moisture made up 80% MFC. It is worth emphasizing that sapropel led to increasing the potatoes yield in all the experiment variants by 2.0–2.5 t/ha or 10.3–10.9% as compared to application of blue clay (0.7–1.3 t/ha or 3.8–5.8%).

The dependence between the potatoes yielding and the regime of pre-irrigation soil moisture and bio-energetic potential of the water storage layer is graphically presented in Fig.1.

Table 4. Drip irrigated potato yield

№ variant	Experimental variant	Yield, t/ha					Deviation from control	
		2009/2010	2010/2011	2011/2012	среднее	т/га	%	
1	Moisture regime 70% MFC without mineral additions (control)	21,4	19,6	13,9	18,3	–	100,0	
2	Moisture regime 70% MFC +sapropeI 200 g per plant	24,3	21,3	15,3	20,3	2,0	110,9	
3	Moisture regime 70% MFC + blue clay 200 g per plant	22,3	20,2	14,5	19,0	0,7	103,8	
4	Moisture regime 80% MFC without mineral additions (control)	27,4	24,1	17,8	23,1	4,8	126,2	
5	Moisture regime 80% MFC + sapropeI 200 g per plant	30,3	26,3	20,2	25,6	7,3	139,9	
6	Moisture regime 80% MFC + blue clay 200 g per plant	28,4	25,2	18,4	24,0	5,7	131,1	
7	Differentiated moisture regime 70–80–70% MFC without mineral additions (control)	26,4	23,8	17,0	22,4	4,1	122,4	
8	Differentiated moisture regime 70–80–70% MFC + sapropeI 200 g per plant	28,9	25,7	19,5	24,7	6,4	135,0	
9	Differentiated moisture regime 70–80–70% MFC + blue clay 200 g per plant	27,6	24,5	17,8	23,3	5,0	127,3	
HCP ₀₅ according to factor A (regime of pre-irrigation soil moisture)		1,23	1,14	0,91	1,54			
HCP ₀₅ according to factor B (application of mineral additions into the soil)		0,78	0,55	0,46	0,89			
HCP ₀₅ according to interaction between factors A and B		1,52	1,27	1,04	1,82			

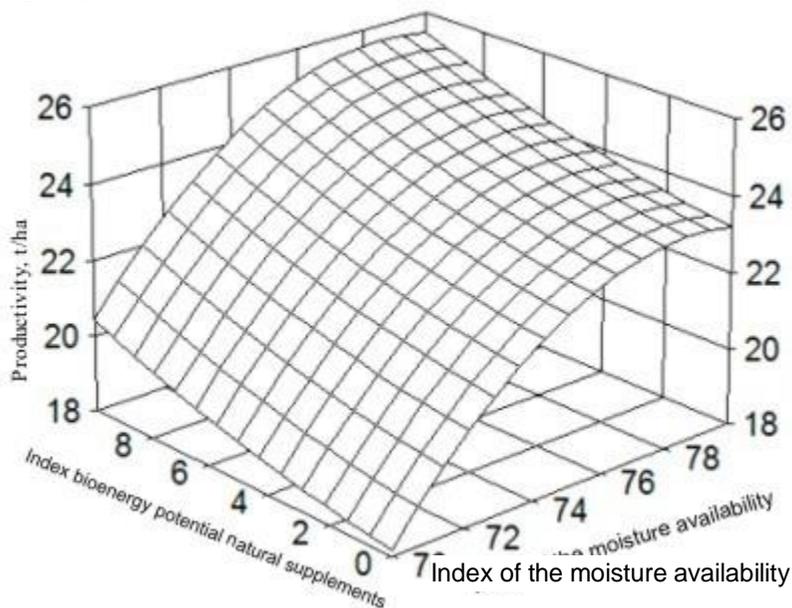
Mathematically this dependence looks like as

$$Y = a + b \cdot W + c \cdot W^2 + d \cdot i + e \cdot i^2,$$

where Y – potatoes yield, t/ha ; W – index of the water supply level ; i – index of bio-energetic potential of mineral addition ; coefficients – $a = -409.1$; $b = 11$; $c = -0.07$; $d = 0.11$; $e = 0.012$ have been determined as based upon experimental data. The coefficient of the dependence determination $R^2 = 0.92$.

The index of the water supply level was equal to the regime of pre-irrigation soil moisture – 70% MFC, 70–80–70% MFC and 80% MFC. The index of bio-energetic potential – 5 t/ha for blue clay and 10 t/ha – for sapropel.

The obtained results of drop irrigation showed that the most favorable conditions for water supply are found to be at differentiated regime of pre-irrigation soil moisture (70–80–70% MFC). To increase the potatoes yield sapropel should be applied for creating the water storage layer.



The dependence between the potatoes yield, the level of water supply and bio-energetic potential of mineral component.

CONCLUSION

Under dried semi-desert conditions of Oman the water use by potatoes is mainly determined by insufficient natural water supply, changes in the water stock in soil during the vegetation period and the climatic conditions in years of these studies to a lesser extent. The total water use by potatoes at different regimes of pre-irrigation soil moisture and the kind of the water storage layer revealed changes from 6223 to 7573 m³/ha.

At the regime of pre-irrigation soil moisture equaled to 70% MFC a number of watering changed from 40 to 46 and the irrigation rate – from 5476 to 6184 m³/ha in dependence on the year of this research. The threshold of pre-irrigation soil moisture in 80% MFC led to increasing a number of watering and the rates of irrigation. The most high yield of potatoes (24.7 t/ha) was in experiment variant 3 at the differentiated regime of pre-irrigation soil moisture. The highest rate of irrigation was within the phase of blossoming – finishing the tops growth accounted for 26.5–33.8%, the lowest rate of irrigation – in the phase of planting to germination (13.2–15.6%) and budding to blossoming (11.7–14.1%).

The volume of irrigation water varied from 6446 to 7261 m³/ha in all the experiment variants. The application of spropel and blue clay decreased the volume of irrigation water by 5.5–6.0% at the average. Spropel in the amount of 11.43 t/ha applied once for 3 years parallel with manure increased the nitrogen content at a level of average supply for 2 years. The nutrient uptake by potatoes increased with increasing the water supply of plants. As regards spropel and blue clay as an addition to create the water storage layer one should stress that the blue clay didn't change the content of nutrients in the topsoil and potatoes yield. The most favorable conditions for water supply of potatoes taking into consideration an economic discharge of water have been established at the differentiated regime of pre-irrigation soil moisture 70–80–70% MFC with application of spropel for creating the water storage layer. In this case the potatoes yield was increased not less than 10%.

REFERENCE

1. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М., 1979. 336 с.
2. *Муромцев Н.А.* Экспериментальная гидрофизика почв. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 272 с.
3. *Роде А.А.* Избр. тр. В 4-х томах. Т. 3. Основы учения о почвенной влаге. М., 2008. 663 с.
4. *Шуравилин А.В.* Мелиорация. М., 2009. 750 с.
5. *Amer K.H., Hatfield J.L.* Canopy resistance as affected by soil and meteorological factors in potato // *Agronomy J.* 2004. V. 96. № 4. P. 978–985.
6. *El-Shaqsy Saif Abdallah* Водная безопасность в Султанате Оман и проблемы, с которыми сталкивается его будущее // Первый научный форум по продовольственной безопасности и устойчивого развития. Дофар, Салала, 2008.
7. Ministry of Agricultural and fisheries Wealth. Sultanate Oman. Agricultural and livestock five year research strategy 2011–2015. 2011.
8. *Simmons E., Oukrim N., Caylor A.* Evaluation of an irrigation scheduling model for drip irrigated potato in southern United States // *Hort Science.* 2002. V. 37. P. 104–107.
9. *Tabook M.A.* Доклад об опыте Султаната Оман в области мониторинга и оценки борьбы с опустыниванием // Ежегодник Арабской организации сельскохозяйственного развития. 2006. С. 99–220 (на арабском языке).