

Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-3-51-56>
УДК 635.132:631.5(470.45)

Кизяев Б.М., Бородычев В.В.,
Мартынова А.А.

Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова
Россия, г. Москва,
ул. Большая Академическая, 44, корпус 2
E-mail: kizyaev@vniigim.ru, vkovniigim@yandex.ru, Anny-ma@yandex.ru

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кизяев Б.М., Бородычев В.В., Мартынова А.А. Совершенствование агротехники возделывания моркови столовой в условиях Волгоградской области. *Овощи России*. 2020;(3):51-56. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-3-51-56>

Поступила в редакцию: 11.05.2020

Принята к печати: 11.06.2020

Опубликована: 25.07.2020

Boris M. Kizyaev, Viktor V. Borodychev,
Anna A. Martynova

All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov
44, building 2, Bolshaya Akademicheskaya st.,
Russia, Moscow
E-mail: kizyaev@vniigim.ru, vkovniigim@yandex.ru, Anny-ma@yandex.ru

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

For citation: Kizyaev B.M., Borodychev V.V., Martynova A.A. Improvement of agrotechnics of cultivation of table carrot in the conditions of the Volgograd region. *Vegetable crops of Russia*. 2020;(3):51-56. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-3-51-56>

Received: 11.05.2020

Accepted for publication: 11.06.2020

Accepted: 25.07.2020

Совершенствование агротехники возделывания моркови столовой в условиях Волгоградской области



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Волгоградская область является одним из крупных регионов-производителей столовой моркови со сложным климатом, поэтому необходима региональная адаптация параметров технологии и оптимизации мелиоративных режимов при капельном поливе. По данным большинства исследователей важно учитывать слабое развитие корневой системы моркови в начальные периоды роста и развития растений, поэтому дифференциация увлажняемого слоя почвы позволит более рационально и продуктивно использовать почвенную влагу. Необходимость определения геометрических параметров зоны увлажнения почвы в период активного роста корневой системы определило схему опыта и направление исследований.

Материал и методы. Рабочей гипотезой исследований стало предположение о возможности интенсификации продукционного процесса моркови при управлении водным и минеральным питанием капельного орошения на фоне качественной подготовки почвы с формированием гряд и использовании современных посевных агрегатов. В соответствии с выдвинутой гипотезой программа исследований построена на оценке пороговых значений вегетационных поливов при капельном орошении и доз внесения минеральных удобрений.

Результаты. Установлены закономерности урожайности корнеплодов моркови и коэффициента водопотребления моркови в зависимости от режима капельного орошения в течение вегетационного периода и доз внесения минеральных удобрений. Коэффициент детерминации оцененных зависимостей коэффициента водопотребления моркови от продолжительности поддержания стартового режима орошения и условий минерального питания составляет 0,87-0,94, что характеризует сильную связь между включенными в уравнение показателями. Для гибрида Кордоба F₁ выгодным оказалось поддержание стартового режима орошения, ориентированного на увлажнение 0,2-м слоя почвы до фазы образования 2 листа, а также внесение минеральных удобрений дозой N₂₄₀P₉₀K₃₁₅, что обеспечило получение 108,9 т/га корнеплодов моркови. При внесении минеральных удобрений в дозе N₁₉₀P₇₅K₂₄₅, в зависимости от поддерживаемого порога влажности почвы урожайность корнеплодов моркови не превышает 91,8-101,9 т/га.

Ключевые слова: морковь столовая, гибриды, схема посева, капельное орошение, водопотребление, минеральное питание, урожайность.

Improvement of agrotechnics of cultivation of table carrot in the conditions of the Volgograd region

ABSTRACT

Relevance. The Volgograd region is one of the major producing regions of table carrots with a difficult climate, therefore, regional adaptation of technology parameters and optimization of reclamation regimes under drip irrigation is necessary. According to most researchers, it is important to take into account the weak development of the root system of carrots in the initial periods of plant growth and development, so the differentiation of the moistened soil layer will allow more rational and productive use of soil moisture.

Materials and methods. The working hypothesis of the studies was the assumption that it is possible to intensify the production process of carrots when managing water and mineral nutrition by drip irrigation against the background of high-quality soil preparation with the formation of ridges and the use of modern sowing units. In accordance with the hypothesis put forward, the research program is based on the assessment of threshold values of the conditions for the appointment of vegetation irrigation with drip irrigation and doses of mineral fertilizers.

Results. The determination coefficient of the estimated dependences of the carrot water consumption coefficient on the duration of maintaining the starting irrigation regime and mineral nutrition conditions is 0.87-0.94, which characterizes a strong relationship between the indicators included in the equation. It was beneficial for Cordoba F₁ hybrid to maintain the starting regime of carrot irrigation, oriented to moisten the calculated 0.2-soil layer, to the stage of formation of the 2nd leaf, as well as to apply mineral fertilizers with a dose of N₂₄₀P₉₀K₃₁₅ of the planned yield level, 120 t/ha was not received. The productivity of other hybrids studied in the experiment did not exceed 100 t/ha; therefore, it is advisable to introduce mineral fertilizers with a dose of N₁₉₀P₇₅K₂₄₅, calculated specifically for this level of planned yield.

Keywords: table carrots, hybrids, sowing scheme, drip irrigation, water consumption, mineral nutrition, productivity.

Введение

Столловая морковь относится к традиционным овощным культурам и является ценным продуктом питания. Помимо того, что морковь содержит различные витамины, органические кислоты и сахара, она еще богата каротином (провитамин А). В оранжево-красных корнеплодах каротина не менее 15-17 мг%, а при благоприятных условиях роста и развития растений – до 20-27 мг%. Морковь богата сахарами (до 12%), содержит клетчатку (1,7%), крахмал (от 1,5 до 6,6% в сухом веществе), азотистые вещества представлены белками (до 6,7% сухого вещества), аминокислотами (5,5%), амидами. Энергетическая ценность 100 г моркови 33 ккал или 138 кДж [1,2].

В настоящее время в мире морковь возделывают на площади около 1 млн га, в России посевные площади моркови составляют около 23,2 тыс. га (рис. 1). Сборы моркови в промышленном секторе в 2018 году составили 810,2 тыс. т [3]. Волгоградская область занимает лидирующие позиции по выращиванию моркови в России, здесь посевы составили 3,68 тыс. га (15,9% в общих площадях).

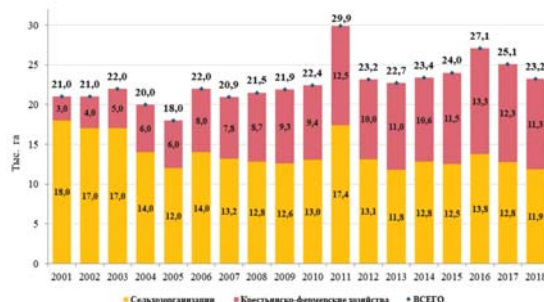


Рис. 1. Посевные площади моркови в России (2001-2018 годы), тыс. га [3]
Fig. 1. Sown area of carrots in Russia (2001-2018), thousand hectares [3]

Целью наших исследований является совершенствование агротехники возделывания и разработка ресурсосберегающей технологии капельного полива столбовой моркови с целевыми индикаторами уровня продуктивности не ниже 100 т/га.

Материалы и методы

Рабочей гипотезой исследований стало предположение о возможности интенсификации продукционного процесса моркови при управлении водным и минеральным питанием капельным орошением на фоне качественной подготовки почвы с формированием гряд и использовании современных посевных агрегатов. В основу методологии исследований был поставлен метод полевого эксперимента [4,5,6].

Для регулирования водоподдачи в соответствии с водопотреблением растений по фазам развития растений применялось капельное орошение. Для полива использовали капельную ленту с расстоянием между капельницами 0,3 м и расходом 1,6 л/ч, что обеспечивает поддержание влажности почвы на уровне 80% НВ.

Расчетную дозу минеральных удобрений вносили дробно, при поливе через систему капельного орошения путем фертигации. Необходимое количество удобрений определяли исходя из потребности моркови в питательных веществах, за минусом имеющихся в наличии питательных элементов в почве.

Для формирования гряд использовали грядообразователь в комплексе с фрезой. Эти агрегаты одновременно измельчают почву, задают нужную форму, выравнивают и уплотняют ее. Посев моркови проводили 12 мая на глубину 2 см пневматической сеялкой точного высева Agricola. Норма высева семян – 1,3 млн шт/га. Технология возделывания моркови включает схему посева 3х4 (12 строчек). Расстояние между строчками 6 см, расстояние между растениями в строчке 6,16 см (рис. 2). В центре строчки посевы разрежены для лучшего проветривания и аэрации почвы.

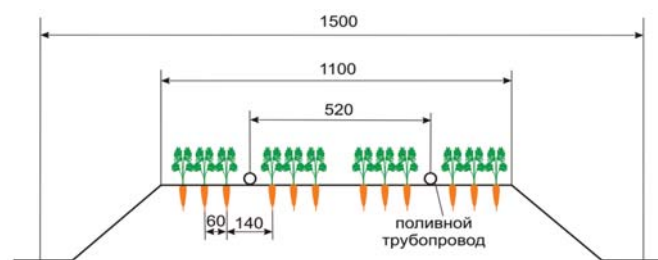


Рис. 2. Схема размещения растений на опытном участке
Fig. 2. The layout of plants in the experimental plot

Исследования были проведены в 2014-2019 годах в КФХ «Зайцев В.А.» Городищенского района Волгоградской области. Опыт закладывали по трехфакторной схеме в четырехкратной повторности [4,5,6]. Он включал варианты по условиям водообеспечения (фактор А), режиму минерального питания моркови (фактор В) и изучению различных гибридов моркови (фактор С).

Фактор А включал следующие варианты: А1 – поддержание предполивного порога влажности почвы 80% НВ в слое 0,4 м в течение всего периода вегетации моркови; А2 – поддержание предполивного порога влажности почвы 80% НВ в слое 0,2 м в период от посева до образования 2 листа, и в период от образования 2 листа до уборки моркови в слое 0,4 м; А3 – поддержание предполивного порога влажности почвы 80% НВ в слое 0,2 м в период от посева до образования 4 листа, и в период от образования 4 листа до уборки моркови в слое 0,4 м.

Фактор В предусматривал внесение минеральных удобрений в дозах: N₁₄₀P₆₀K₁₇₅, N₁₉₀P₇₅K₂₄₅ и N₂₄₀P₉₀K₃₁₅ рассчитанными на получение планируемой урожайности – 80, 100 и 120 т/га корнеплодов моркови, соответственно.

Для изучения были выбраны гибриды моркови (фактор С) – Каскад F₁, Кордоба F₁, Абако F₁ и Тангерино F₁. Все гибриды относятся к сортогруппе Шантане. Оригинатор Тангерино F₁ TAKII EUROPE B.V./ NOOFWEG 19, 1424 PC DE KWAKEL, THE NETHERLANDS. Корнеплоды можно употреблять в свежем виде, использовать в переработку и закладывать на хранение. Гибриды устойчивы к альтернариозу, черной гнили и церкоспорозу.

Почвы опытного участка светло-каштановые, среднесуглинистые, типичные для региона исследований. Наименьшая влагоемкость пахотного горизонта составляет 24,1-25,2% от массы сухой почвы. При порозности почвы в пахотном слое 21,9-23,9%, плотность сложения не превышала 1,17-1,25 т/м³. Содержание гумуса в почве в слое 0,25 м составило 1,6-1,7%. Реакция почвенной среды в слое до 0,3 м слабокислая (рН – 6,2-6,6), в слое 0,3-0,5 м – нейтральная (рН – 6,9-7,1). Содержание в пахотном слое легкогидролизуемого азота – 29-33 мг/кг сухой почвы, обменного калия – 312-343 мг/кг сухой почвы, подвижного фосфора 29-38 мг/кг сухой почвы.

Результаты и обсуждение

За годы исследований самым теплообеспеченным и засушливым был 2014 год. За время вегетации в этом году посевами моркови было накоплено 3003°C среднесуточных температур воздуха, а осадков выпало всего 57,1 мм. Вероятность обеспечения накопления такой суммы температур воздуха составляет 4,8%, а осадков 89 % относительно среднесуточных показателей. Среднесуточная влажность воздуха в течение вегетационного периода была на уровне 43%. Для поддержания влажности почвы на уровне 80% НВ, в зависимости от варианта опыта, в 2014 году, было проведено от 23 до 31 полива. При поддержании предполивного порога влажности почвы 80% НВ в слое 0,2 м, поливная норма составила 86 мз/га и 163 мз/га для слоя увлажнения 0,4 м.

Суммарное водопотребление моркови в 2014 году, в зависимости от варианта опыта, у гибрида Каскад F₁ было на уровне 4740-4860 м³/га (табл. 1), Кордоба F₁ – 4750-4880 м³/га, Абако F₁ – 4310-4550 м³/га, Тангерин F₁ – 4680-4810 м³/га. Наибольшие значения суммарного водопотребления у всех гибридов отмечены в варианте с поддержанием предполивного порога влажности почвы 80% НВ в слое 0,2 м в период от посева до образования 2 листа и в период от образования 2 листа до уборки моркови в слое 0,4 м (А2) в сочетании с внесением минеральных удобрений дозой N₂₄₀P₉₀K₃₁₅ (В3). Меньше всего влаги расходовалось в варианте с поддержанием предполивного порога влажности почвы 80% НВ в слое 0,2 м в период от посева до образования 4 листа, и в период от образования 4 листа до уборки моркови в слое 0,4 м (А3) и внесением удобрений в дозе N₁₄₀P₆₀K₁₇₅ (В1).

Менее засушлив был 2015 год, сумма среднесуточных температур составила 2917°С (вероятность 5,8%), а количество осадков не превысило 80 мм (вероятность 73%). В этом году для поддержания предполивного порога влажности почвы на уровне 80% НВ было проведено от 21 до 28 поливов. Среднесуточная влажность воздуха в период вегетации моркови не превышала 47%. По сравнению с 2014 годом значения показателей суммарного водопотребления снизились до 4610-4760 м³/га (Каскад F₁), 4620-4770 м³/га (Кордоба F₁), 4260-4430 м³/га (Абако F₁), 4570-4730 м³/га (Тангерин F₁).

Меньше всего тепла за годы исследований поступило в 2016 году. Сумма среднесуточных температур воздуха за вегетационный период составила 23000С с обеспеченностью 87%. Количество осадков составило в размере 104,9 мм, распределились они равномерно в течение всего периода вегетации моркови. Показатели среднесуточной влажности воздуха (58,4%) оказались самыми высокими за все годы исследований. Закономерно и количество поливов сократилось до 16-20. Соответственно и показатели суммарного водопотребления оказались наименьшими по сравнению с другими годами. Каскад F₁ – 3890-4070 м³/га, Кордоба F₁ – 3910-4100 м³/га, Абако F₁ – 3810-4020 м³/га, Тангерин F₁ – 3840-4050 м³/га.

Обеспеченность поступления атмосферных осадков в 2017 году за период вегетации моркови в объеме 258,1 мм составляет 5%. Это был наиболее влагообеспеченный год за период исследований. Однако основное количество осадков поступило во второй и третьей декаде мая (68,8 мм) и июне (108,7 мм). В июне осадки выпадали преимущественно лив-

невого характера. За период вегетации было проведено 17-19 поливов. Поступление тепла в этом году было на уровне 20% обеспеченности, и составило 2750 °С. Ввиду сложившихся погодных условий, среднесуточная влажность воздуха находилась на уровне 53%. Вода гибридами моркови потреблялась в количестве 4450-4630 м³/га (Каскад F₁), 4480-4680 м³/га (Кордоба F₁), 4390-4570 м³/га (Абако F₁), 4420-4600 м³/га (Тангерин F₁).

В 2018 и 2019 годах было практически идентичное количество среднесуточных температур воздуха (2867-28700С). Однако количество осадков в 2018 году (148,3 мм) значительно превысило этот показатель 2019 года (105,9 мм). Основная часть осадков выпадала в виде ливней в середине июля. Среднесуточная влажность воздуха в 2018 году – 49,2%, в 2019 году – 42,8%. Значения суммарного водопотребления в 2018 году: Каскад F₁ – 4520-4700 м³/га, Кордоба F₁ – 4550-4730 м³/га, Абако F₁ – 4340-4510 м³/га, Тангерин F₁ – 4490-4690 м³/га. В 2019 году: Каскад F₁ – 4750-4880 м³/га, Кордоба F₁ – 4780-4900 м³/га, Абако F₁ – 4550-4690 м³/га, Тангерин F₁ – 4710-4810 м³/га.

Наиболее эффективно на формирование урожая корнеплодов моркови вода использовалась посевами в 2016 году. На примере гибрида Кордоба F₁ (табл. 2) видно, что коэффициент водопотребления в этот год составил 40,6-53,1 м³/т.

В среднем за годы исследований наибольший расход воды 58,5 м³ на формирование 1 т урожая корнеплодов моркови, был отмечен на варианте с поддержанием предполивного порога влажности почвы 80% НВ в слое 0,2 м в период от посева до образования 4 листа, и в период от образования 4 листа до уборки моркови в слое 0,4 м (А3) и дозе внесения минеральных удобрений N₁₄₀P₆₀K₁₇₅ (В1). С увеличением доз вносимых удобрений наблюдается тенденция к уменьшению коэффициента водопотребления. Так, при внесении доз удобрений N₁₉₀P₇₅K₂₄₅ и N₂₄₀P₉₀K₃₁₅ при одинаковом уровне водообеспечения коэффициент водопотребления, в среднем за годы наблюдений уменьшается от 12,3-14,1% до 17,2-21,4%, по сравнению с вариантом, где удобрения вносили в дозе N₁₄₀P₆₀K₁₇₅.

Условия водообеспечения также оказывают закономерное влияние на расход воды растениями. Максимальное количество воды на формирование 1 т урожая расходуется при поддержании предполивного порога влажности почвы 80% НВ в слое 0,2 м в период от посева до образования 4 листа, и в период от образования 4 листа до уборки моркови в слое 0,4 м (А3). Коэффициент водопотребления в этом

Таблица 1. Суммарное водопотребление моркови при капельном орошении (среднее за 2014-2019 годы), м³/га
Table 1. The total water consumption of carrots with drip irrigation (2014-2019), m³/ha

Уровень водообеспечения (фактор А)	Доза внесения минеральных удобрений, кг д.в./га (фактор В)	Гибриды (фактор С)			
		Касад F ₁	Кордоба F ₁	Абако F ₁	Тангерин F ₁
0,4 м	N ₁₄₀ P ₆₀ K ₁₇₅	4528	4553	4352	4502
	N ₁₉₀ P ₇₅ K ₂₄₅	4550	4573	4368	4527
	N ₂₄₀ P ₉₀ K ₃₁₅	4570	4597	4385	4545
0,2-0,4 м (2 лист)	N ₁₄₀ P ₆₀ K ₁₇₅	4613	4633	4420	4577
	N ₁₉₀ P ₇₅ K ₂₄₅	4630	4653	4440	4597
	N ₂₄₀ P ₉₀ K ₃₁₅	4650	4677	4462	4615
0,2-0,4 м (4 лист)	N ₁₄₀ P ₆₀ K ₁₇₅	4493	4515	4277	4452
	N ₁₉₀ P ₇₅ K ₂₄₅	4515	4537	4303	4473
	N ₂₄₀ P ₉₀ K ₃₁₅	4532	4555	4332	4497

Таблица 2. Коэффициент водопотребления моркови, гибрид Кордоба F₁, при капельном орошении, м³/т
Table 2. The coefficient of water consumption of carrots, hybrid Cordoba F₁, with drip irrigation, m³/t

В зависимости от уровня минерального питания										В зависимости от водообеспечения					
Уровень водо-обеспечения	Доза внесения минеральных удобрений, кг д.в./га	Год исследований							ΔЕ		Доза внесения минеральных удобрений, кг д.в./га	Уровень водо-обеспечения	Средне е	ΔЕ	
		2014	2014	2016	2017	2018	2019	среднее	мз/га	%				м³/га	%
0,4 м	N₁₄₀P₆₀K₁₇₅	61,2	60,1	52,2	57	57,4	58,3	57,7	-	-	N₁₄₀P₆₀K₁₇₅	0,4 м	57,7	-	-
	N₁₉₀P₇₅K₂₄₅	51,5	49,9	43,6	47,1	47,1	49	48,0	-9,7	-16,8		0,2-0,4 м (2 лист)	53,0	-4,7	-8,1
	N₂₄₀P₉₀K₃₁₅	48	46,6	40,5	44,5	44,6	46,4	45,1	-12,6	-21,8		0,2-0,4 м (4 лист)	58,4	0,7	1,2
0,2-0,4 м (2 лист)	N₁₄₀P₆₀K₁₇₅	57,2	55	50,1	51,4	51,4	53,1	53,0	-	-	N₁₉₀P₇₅K₂₄₅	0,4 м	48,0	-	-
	N₁₉₀P₇₅K₂₄₅	48,8	47	41,5	44,3	44,5	45,8	45,3	-7,7	-14,6		0,2-0,4 м (2 лист)	45,3	-2,7	-5,7
	N₂₄₀P₉₀K₃₁₅	46	43,7	39,4	42,4	42,5	43,6	42,9	-10,1	-19,0		0,2-0,4 м (4 лист)	48,2	0,2	0,3
0,2-0,4 м (4 лист)	N₁₄₀P₆₀K₁₇₅	63,2	60,5	52,6	57,6	57,5	58,8	58,4	-	-	N₂₄₀P₉₀K₃₁₅	0,4 м	45,1	-	-
	N₁₉₀P₇₅K₂₄₅	52,3	50,2	43,2	47,2	47,1	49,2	48,2	-10,2	-17,4		0,2-0,4 м (2 лист)	42,9	-2,2	-4,8
	N₂₄₀P₉₀K₃₁₅	49,1	47,3	41,1	45,8	45,7	46,9	46,0	-12,4	-21,2		0,2-0,4 м (4 лист)	46,0	0,9	2,0

варианте на 0,4-2,5% выше, чем в варианте А1. Экономнее всего влага расходуется на формирование урожая в варианте А2. Здесь коэффициент водопотребления на 3,9-8,7% ниже по сравнению с вариантом А1.

Наиболее эффективно вода использовалась на формирование урожая корнеплодов моркови в варианте А2В3, где увеличивался профиль промачиваемого горизонта до 0,4 м в фазу 2 листа и дозе внесения минеральных удобрений N₂₄₀P₉₀K₃₁₅. Коэффициент водопотребления в среднем за годы исследований составил 44,1 м³/т.

Соблюдение всех условий опыта обеспечило получение планируемого урожая корнеплодов моркови. Самая высокая урожайность в среднем за годы исследований – 108,9 т/га – была зафиксирована у гибрида Кордоба в варианте при сочетании факторов внесения минеральных удобрений в дозе N₂₄₀P₉₀K₃₁₅ и поддержании предполивной влажности почвы 80% НВ в слое 0,2 м в период от посева до формирования 2 листа и 0,4 м – до уборки. В контрольном варианте, где влажность почвы поддерживалась на глубину 0,4 м в течение всего периода вегетации, урожайность была меньше на 7 т/га. А в варианте А3, где уровень предполивной влажности почвы 80% НВ поддерживался в слое 0,2 м в период от посева до формирования 4 листа и 0,4 м – до убор-

ки, показатель урожайности оказался ниже на 9,9 т/га (рис.1).

Хорошо зарекомендовал себя гибрид Каскад F₁, максимальная урожайность которого в среднем за годы исследований всего на 3,6% ниже, чем у гибрида Кордоба F₁. Урожайность гибридов Абако F₁ и Тангерино F₁ в лучшем варианте составила 95,3 т/га и 97,1 т/га, соответственно, что на 13,6-11,8% ниже, чем у гибрида Кордоба F₁. Все показатели статистически достоверны. (табл.3).

Для разработки модели формирования урожая моркови нами принят метод множественной нелинейной регрессии, позволяющий наряду с линейной оценкой зависимости между изучаемыми факторами и целевой переменной, включать в анализ различные нелинейные преобразования аргументов регрессионной модели. Исследование проводилось с использованием известного статистического пакета Statistica v. 10, позволяющего оценить статистическую значимость включаемых в модель линейных и нелинейных компонентов по методу Парето. При этом компоненты, значимость которых, согласно оценкам Парето, незначительна, из модели исключаются. Если закон распределения данных не известен, для получения адекватной формы уравнения отклика в этом случае необходимо использовать все извест-

Таблица 3. Урожайность гибридов моркови по вариантам опыта, (среднее 2014-2019 гг.), т/га
Table 3. The productivity of carrot hybrids according to the options of experience (2014-2019), t/ha

Условия водообеспечения (глубина увлажнения)	Минеральные удобрения на планируемую урожайность, т/га	Урожайность, т/га			
		Каскад F ₁	Кордоба F ₁	Абако F ₁	Тангерино F ₁
0,4 м в течение всего вегетационного периода	80	77,7	78,9	67,5	70,9
	100	90,9	95,2	77,0	82,7
	120	99,7	101,9	87,8	91,8
0,2 м (посев-образование 2 листа) 0,4 м (образование 2 листа – техническая спелость)	80	86,7	87,4	75,0	78,1
	100	99,2	102,7	87,3	89,4
	120	105,6	108,9	95,3	97,1
0,2 м (посев-образование 4 листа) 0,4 м (образование 4 листа – техническая спелость)	80	76,7	77,4	65,3	68,8
	100	88,0	94,1	74,9	80,7
	120	97,1	99,0	85,5	89,9
НСР05, т/га	Фактор А	1,50	1,10	1,25	1,08
	Фактор В	1,50	1,10	1,25	1,08
	Для частных средних	2,59	1,90	2,16	1,87

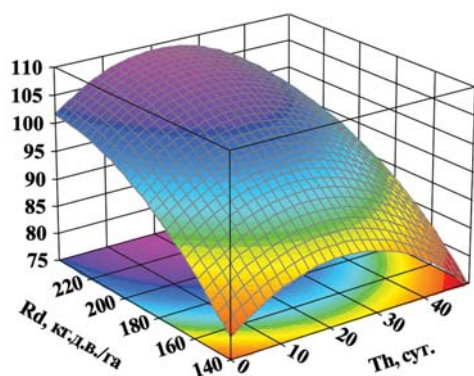


Рис. 3. График поверхности отклика урожайности столовой моркови (Кордоба F1) в зависимости от продолжительности поддержания стартового режима орошения и условий минерального питания

Fig. 3. Graph of the surface response of the yield of table carrots (Cordoba F1) depending on the duration of maintaining the starting irrigation regime and the conditions of mineral nutrition

ные нелинейные преобразования переменных аргумента. Однако в нашем случае данные имеют достаточно выраженный характер распределения по параболе. Поэтому в качестве исходного уравнения разрабатываемой модели был принят полином n-ой степени, где n была принята равной четырем. Исследование исходного уравнения с использованием оценки Парето позволило исключить несущественные компоненты регрессионной модели. В результате форма уравнения с включением только статистически существенных компонентов свелась к полиному второй степени:

$$Y = a + b \cdot T_h + c \cdot R_d + d \cdot T_h^2 + e \cdot R_d^2 + f \cdot R_d \cdot T_h$$

где Y – урожайность стандартных корнеплодов моркови, т/га;

R_d – показатель, характеризующий уровень минерального питания моркови, численно равный дозе вносимого минерального азота – лимитирующего элемента плодородия почвы, кг д.в./га;

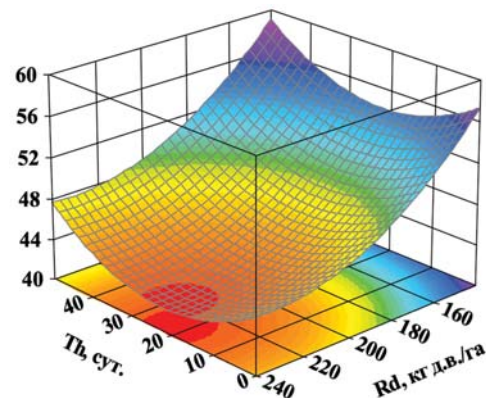


Рис. 4. График поверхности отклика коэффициента водопотребления моркови (Кордоба F1) в зависимости от продолжительности поддержания стартового режима орошения и условий минерального питания

Fig. 4. Graph of the response surface of the coefficient of water consumption of carrots (Cordoba F1) depending on the duration of maintaining the starting irrigation regime and the conditions of mineral nutrition

T_h – продолжительность периода в течение которого поливы проводятся из расчета регулирования влажности в слое почвы 0,2 м (стартовый режим орошения), сут.

На рисунке 3 приведен график поверхности отклика урожайности столовой моркови, построенный в соответствии с приведенным выше уравнением. В качестве примера график приведен для зависимости урожайности гибрида моркови Кордоба F1. Параметры уравнения, определенные методом регрессионного анализа, для гибрида имеют значения: a=-21,2, b=0,77, c=1,0, d=-0,016, e=-0,002, f=-0,0003. Коэффициент детерминации зависимости, R=0,95, характеризует хорошую согласованность теоретической поверхности отклика с усредненными опытными данными.

Параметры уравнений поверхности отклика по всей совокупности зависимостей урожайности столовой моркови от продолжительности поддержания стартового режима орошения и условий минерального питания приведены в таблице 4.

Аналогичным образом была определены форма и пара-

Таблица 4. Параметры уравнений поверхности отклика по группе зависимостей урожайности столовой моркови от продолжительности поддержания стартового режима орошения и условий минерального питания
Table 4. Parameters of the response surface equations for the group of table carrot yield dependencies on the duration of maintaining the starting irrigation regime and mineral nutrition conditions

Сорт/гибрид столовой моркови	Параметры уравнения						Коэффициент детерминации, R ²
	a (свободный член)	b (T _h)	c (R _d)	d (T _h ²)	e (R _d ²)	f (R _d • T _h)	
Каскад F ₁	19,8	0,77	0,53	-0,016	-0,0008	-0,00034	0,93
Кордоба F ₁	-21,2	0,77	1,0	-0,016	-0,002	-0,0003	0,95
Абако F ₁	34,2	0,76	0,25	-0,017	-0,0001	-2,02 • 10 ⁻⁵	0,97
Тангерино F ₁	22,59	0,58	0,43	-0,013	-0,0006	1,84 • 10 ⁻⁵	0,89

Таблица 5. Параметры уравнений поверхности отклика по группе зависимостей коэффициента водопотребления моркови от продолжительности поддержания стартового режима орошения и условий минерального питания
Table 5. Parameters of the response surface equations for the group of dependences of the carrot water consumption coefficient on the duration of maintaining the starting irrigation regime and mineral nutrition conditions

Гибрид столовой моркови	Параметры уравнения						Коэффициент детерминации, R ²
	a (свободный член)	b (T _h)	c (R _d)	d (T _h ²)	e (R _d ²)	f (R _d • T _h)	
Каскад F ₁	96,9	-0,33	-0,37	0,007	0,0007	0,00014	0,87
Кордоба F ₁	118,9	-0,30	-0,63	0,007	0,0013	5,85 • 10 ⁻⁵	0,92
Абако F ₁	100,3	-0,45	-0,32	0,009	0,0005	3,0 • 10 ⁻⁵	0,89
Тангерино F ₁	105,5	-0,28	-0,40	0,007	0,0007	-0,0001	0,94

метры модели эффективных затрат воды на формирование урожая столовой моркови. Оказалось, что уравнение полинома второй степени позволяет объективно описать изменение коэффициента водопотребления моркови при разных сочетаниях, поставленных к изучению факторов:

$$K_e = a + b \cdot T_h + c \cdot R_d + d \cdot T_h^2 + e \cdot R_d^2 + f \cdot R_d \cdot T_h$$

где K_e – коэффициент водопотребления столовой моркови, т/га;

R_d – показатель, характеризующий уровень минерального питания моркови, численно равный дозе вносимого минерального азота кг. д.в./га;

T_h – продолжительность периода в течение которого поливы проводятся из расчета регулирования влажности в слое почвы 0,2 м (стартовый режим орошения), сут.

Параметры уравнений поверхности отклика по всей совокупности зависимостей коэффициента водопотребления моркови от продолжительности поддержания стартового режима орошения и условий минерального питания приведены в таблице 5. Коэффициент детерминации оцененных зависимостей составляет 0,87-0,94, что характеризует сильную связь между включенными в уравнение показателями.

На рисунке 4 в качестве примера приведен график поверхности отклика коэффициента водопотребления моркови в зависимости от продолжительности поддержания стартового режима орошения и условий минерального питания для гибрида Кордоба F1. Параметры приведенного выше уравнения для этого гибрида имеют значения: $a=118,9$, $b=-0,30$, $c=-0,63$, $d=0,0066$, $e=0,0013$, $f=5,85 \cdot 10^{-5}$, а коэффициент детерминации зависимостей $R = 0,92$.

Совместное решение регрессионных моделей позволяет оценить область оптимальных значений обеспеченности регулируемых факторов, с позиций формирования наиболее

продуктивных посевов при наименьших затратах воды на формирование урожая. По этим двум критериям для гибрида Кордоба F1 выгодным оказалось поддержание стартового режима орошения моркови, ориентированного на увлажнение расчетного, 0,2 слоя почвы, до фазы образования 2 листа, а также внесение минеральных удобрений в дозе $N_{240}P_{90}K_{315}$, рассчитанной на получение планируемой урожайности в 120 т/га корнеплодов. Следует признать, что планируемого уровня урожайности, 120 т/га, не было получено даже по этому, наиболее продуктивному, гибриду моркови. Урожайность других, изучаемых в опыте гибридов, не превышала 100 т/га, в связи с чем, целесообразным следует считать внесение минеральных удобрений в дозе $N_{190}P_{75}K_{245}$, рассчитанной именно на этот уровень планируемой урожайности.

Заключение

Рациональное расходование поливной воды на формирование планируемого урожая корнеплодов моркови находится в тесной взаимосвязи с целевыми технологическими функциями капельного орошения как регулирования водного режима почвы поддержанием принятого предполивного уровня влажности почвы, а также внесение минеральных удобрений. Полученные модели формирования урожая и эффективного расходования поливной воды четко согласуются с опытными данными, коэффициент детерминации 0,95. По этим двум критериям для гибрида Кордоба F1 выгодным оказалось поддержание стартового режима орошения моркови, ориентированного на увлажнение расчетного, 0,2-м слоя почвы, до фазы образования 2 листа, а также внесение минеральных удобрений в дозе $N_{240}P_{90}K_{315}$. На светло-каштановых почвах Волгоградской области целесообразно на получение 100 т/га стандартных корнеплодов моркови вносить минеральные удобрения в дозе $N_{190}P_{75}K_{245}$.

Об авторах:

Кизяев Борис Михайлович – академик РАН, доктор технических наук

Бородычев Виктор Владимирович – академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, <https://orcid.org/0000-0002-0279-8090>

Мартынова Анна Алексеевна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-7050-6398>

About the authors:

Boris M. Kizyaev – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doc. Sci. (Techn.)

Viktor V. Borodichev – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doc. Sci. (Agriculture), <https://orcid.org/0000-0002-0279-8090>

Anna A. Martynova – Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-7050-6398>

• Литература

1. Пивоваров В.Ф. Овощи России. Москва, 2006. 383 с.
2. Гиш Р.А., Гикало Г.С. Овощеводство юга России: учебник. Краснодар: ЭДВИ, 2012. 632 с.
3. Посевные площади моркови в России, тыс. га. Экспертно-аналитический центр агробизнеса. М., 2019.
4. Доспехов Б.А. Методика опытного дела: (С основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 416 с.
5. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. 2011. 648 с.
6. Белик В.Ф. Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве. М.: Агропромиздат, 1992. С.23-67.
7. Литвинов С.С. Научные основы современного овощеводства. Москва: ВНИИО, 2008. 771 с.
8. Бородычев В.В., Мартынова А.А. Управление реализацией потенциальной продуктивности моркови. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2011;(1):17-23.
9. Ovchinnikov A.S., Lisichenko S.A., Borodichev V.V., Martynova A.A. Oil tillage, irrigation, and carrot yield in the lower Volga region. Плодородие. 2015;3(84):30-32.
10. Дубенок Н.Н., Бородычев В.В., Мартынова А.А. Минеральное питание – важный резерв повышения продуктивности посевов моркови при орошении. Достижения науки и техники АПК. 2010;(7):24-27.
11. Бородычев В.В., Мартынова А.А., Шуравилин А.В. Водопотребление и продуктивность моркови при капельном орошении. Агро XX1. 2010;(7-8):34.
12. Гиль Л.С. Современное промышленное производство овощей и картофеля с использованием систем капельного орошения. ЧП «Рута». 2007. 390 с.
13. Бородычев В.В., Лытов М.Н., Овчинников А.С., Боcharников В.С. Оптимальное управление поливами на основе современных вычислительных алгоритмов. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015;(4):21-27.

• References

1. Pivovarov V.F. Vegetable crops of Russia. Moscow, 2006. 383 p. [In Russ.]
2. Guiche R.A., Gikalo G.S. Vegetable growing in the south of Russia: a textbook. Krasnodar: EDVI, 2012. 632 p. [In Russ.]
3. Sown area of carrots in Russia, thousand ha. Agribusiness Expert and Analytical Center. M., 2019. [In Russ.]
4. Dospekhov B.A. Experimental methodology: (With the basics of statistical processing of research results). M.: Kolos, 1979. 416 p. [In Russ.]
5. Litvinov S.S. The methodology of field experience in vegetable growing. 2011. 648 p. [In Russ.]
6. Belik V.F. The experimental technique in vegetable growing and melon growing. M.: Agropromizdat, 1992. P.23-67. [In Russ.]
7. Litvinov S.S. Scientific basis of modern vegetable growing. Moscow: VNIIO, 2008. 771 p. [In Russ.]
8. Borodichev V.V., Martynova A.A. Managing the realization of potential carrot productivity. Bulletin of the Lower Volga Agro-University Complex: science and higher professional education. 2011; (1): 17-23. [In Russ.]
9. Ovchinnikov A.S., Lisichenko S.A., Borodichev V.V., Martynova A.A. Oil tillage, irrigation, and carrot yield in the lower Volga region. Fertility. 2015;3(84):30-32.
10. Dubenok N.N., Borodichev V.V., Martynova A.A. Mineral nutrition is an important reserve for increasing the productivity of carrot crops during irrigation. Achievements of science and technology of the agricultural sector. 2010;(7):24-27. [In Russ.]
11. Borodichev V.V., Martynova A.A., Shuravilin A.V. Water consumption and carrot productivity under drip irrigation. Agro XX1. 2010;(7-8):34. [In Russ.]
12. Gil L.S. Modern industrial production of vegetables and potatoes using drip irrigation systems. PE "Ruta". 2007. 390 p. [In Russ.]
13. Borodichev V.V., Lytov M.N., Ovchinnikov A.S., Bocharnikov V.S. Optimal irrigation management based on modern computational algorithms. Bulletin of the Lower Volga Agro-University Complex: science and higher professional education. 2015;(4):21-27. [In Russ.]