УДК 633.863.2:631.51.021:628.381

DOI: 10.35809/2618-8279-2019-4-9

АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ САФЛОРА В УСЛОВИЯХ ЗАСУШЛИВОГО КЛИМАТА

AGROTECHNICAL METHODS OF INCREASING PRODUCTIVITY OF SAFFLOWER IN ARID CLIMATE

А.Е. Новиков^{1,2}, доктор технических наук, доцент,
А.С. Межевова³,
Ю.Н. Плескачев⁴, доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
Т.Г. Константинова¹

A.E. Novikov^{1,2}, doctor of technical sciences, associate professor,
A.S. Mezheva³,
Y.N. Pleskachev⁴, doctor of agricultural Sciences, professor,
T.G. Konstantinova¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия,

¹All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture,

²Волгоградский государственный технический университет,

²Volgograd State Technical University,

³Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН,

³Federal Research Centre of Agroecology, Complex Melioration and Forest Reclamations RAS,

⁴Волгоградский государственный аграрный университет

⁴Volgograd State Agricultural University

В засушливых почвенно-климатических условиях повышение рентабельности производства растениеводческой продукции возможно за счет введения в севообороты высокодоходных стрессоустойчивых культур и проведения агротехнических мелиораций. Сафлор красильный является не только одной из стрессоустойчивых культур, но и универсальной – его производство расширит ассортимент растениеводческой продукции и рынок сбыта отечественной сельскохозяйственной продукции. Поэтому исследования по изучению динамики почвенной влаги и отзывчивости сафлора красильного на разноглубинные способы основной обработки почвы и внесение илового осадка сточных вод на светло-каштановых солонцеватых почвах в условиях жаркого климата и дефицита осадков представляют актуальность. Установлено, что наибольший запас продуктивной влаги в слое почвы 0,0-0,4 м (на уровне 822 м³/га и 855 м³/га на начало посева сафлора красильного при внесении 5 т/га и 10 т/га илового осадка сточных вод соответственно) формируется при применении глубокого чизельно-отвального рыхления почвы, наименьший – при безотвальной дисковой обработке почвы (677 м³/га и 726 м³/га при внесении 5 т/га и 10 т/га илового осадка сточных вод соответственно). В согласованности с запасами продуктивной влаги определены значения эвапотранспирации сафлора красильного, их максимумом характеризуется культура при глубоком чизельно-отвальном рыхлении почвы, минимумом – при лемешно-отвальной вспашке. Доказано, что наибольшую прибавку урожайности сафлора красильного обеспечивает глубокое чизельно-отвальное рыхление почвы при внесении илового осадка сточных вод (от 0,06 до 0,29 т/га семян относительного прибавки урожайности культуры, полученной при лемешно-отвальной вспашке и без внесения илового осадка сточных вод).

In arid soil and climatic conditions, increasing the profitability of crop production is possible due to the introduction of high-yield stress-resistant crops into crop rotations and agrotechnical reclamation. Safflower is not only one of the stress-resistant crops, but also universal-its production will expand the range of crop products and the market for domestic agricultural products. Therefore, studies on the dynamics of soil moisture and responsiveness of safflower to different deep – water methods of basic soil treatment and the introduction of silt sediment of wastewater on light-brown saline soils in a hot climate and lack of precipitation are relevant. Found that the greatest stocks of productive moisture in the soil layer of 0.0-0.4 m (at a level of 822 м³/ha and 855 м³/ha at the beginning of the sowing of safflower in making 5 t/ha and 10 t/ha sludge sewage sludge, respectively) are formed with the application of deep chisel-dump loosening soil, and lowest under no-till disc tillage (677 м³/ha and 726 м³/ha when applying 5 t/ha and 10 t/ha sludge sewage sludge, respectively). In accordance with the reserves of productive moisture, the values of evapotranspiration of safflower are determined. their maximum is characterized by the culture during deep chisel-dump loosening of the soil, and their minimum is during plowing. It is proved that the greatest increase in the yield of safflower is provided by deep chisel-dump loosening of the soil when applying silt sediment of sewage (from 0.06 to 0.29 t/ha of seeds of the relative increase in the yield of the crop obtained during ploughing and without adding silt sediment of sewage).

Ключевые слова: сафлор, обработка почвы, запасы продуктивной влаги, иловой осадок сточных вод, урожайность, эвапотранспирация

Key words: safflower, soil treatment, productive moisture reserves, sewage sludge, yield, evapotranspiration

Введение. Рациональное производство сельскохозяйственной продукции в различных регионах мира ограничивается почвенно-климатическими условиями и дефицитом пресной воды. Диверсификация растениеводческой отрасли в этих регионах возможна путем введения в севообороты высокодоходных стрессоустойчивых культур, например, сафлора. Ежегодно эта культура занимает около 1 млн га пашни, что обусловлено ее устойчивостью к засухе и высокой температуре, способностью давать стабильные урожаи на малопродуктивных, в том числе засоленных почвах. Уникальность и универсальность сафлора состоит в возможности его выращивания в качестве масличной, технической, лекарственной, кормовой, медоносной и декоративной культуры, а благодаря своим фитомелиоративным свойствам он может быть использован для воспроизводства почвенного плодородия [1, 3, 7, 8, 9].

Тем не менее без применения различных эффективных приемов агротехнической мелиорации устойчивое получение стабильных урожаев в стрессовых климатических условиях практически невозможно [5]. Имеющиеся научные данные по оценке влияния способов и глубины основной обработки почвы на продуктивность сафлора неоднозначны и требуют проведения дополнительных исследований. С другой стороны, дороговизна и невысокая эффективность традиционных удобрений в условиях сухого земледелия диктуют необходимость изыскивать новые ресурсы питания для управления пищевым режимом в агроландшафтах, к которым относится иловый осадок сточных вод (ИОСВ) [2, 4, 6, 10, 11, 12].

Цель данных научных исследований заключалась в изучении водного режима почвы и продуктивности сафлора красильного при разноглубинных способах основной обработки почвы и различных дозах внесения ИОСВ.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования по формированию водного режима почвы в посевах сафлора красильного (сорт Александрит), водопотребления и продукционных процессов проводили на светло-каштановых солонцеватых почвах Волгоградской области с тяжелосуглинистым гранулометрическим составом в двухфакторном полевом опыте по схеме: фактор А – обработка почвы (вариант А1 – лемешно-отвальная вспашка, вариант А2 – безотвальная дисковая обработка, вариант А3 – глубокое чизельно-отвальное рыхление), фактор Б – доза внесения ИОСВ (вариант Б1 – без внесения, вариант Б2 – 5 т/га, вариант Б3 – 10 т/га).

При закладке опытов и проведении исследований использовали общепринятые методики (Доспехов, 1985; Роде, 1963; Костяков, 1960; Вадюнина, Корчагина, 1986; Селянинов, 1937).

Достоверность результатов в опытах обеспечивали их четырехкратной повторностью.

Статистическую обработку данных выполняли методом дисперсионного анализа.

Результаты и обсуждение. Условия тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода сафлора красильного в годы исследования сложились неоднозначными, в основном из-за осадков. Так, в 2016 году выпало почти 332 мм, в 2017 году за аналогичный период выпало 243 мм осадков, в 2018 году – не многим более 142 мм. Теплообеспеченность в указанные годы исследований была близка к среднегодовым значениям. Суммы температур в 2016, 2017 и 2018 годах составили соответственно 2 720,8°C, 2 579,3°C и 2 964,7°C, а гидротермические коэффициенты – 1,22, 0,94 и 0,48, что характеризует 2016 год как слабозасушливый, 2017 год как засушливый, 2018 год – крайне засушливый.

Оценку запасов почвенной влаги (ЗПВ) проводили во II декаде апреля – перед посевом сафлора красильного. Результаты показали, что при глубоком чизельно-отваль-

ном рыхлении и внесении на поверхность поля ИОСВ в дозах 5 т/га и 10 т/га в слое почвы 0,0-0,4 м сформировались максимальные ЗПВ – почти 822 м³/га и 855 м³/га (соответственно дозы внесения ИОСВ) относительно 767 м³/га без внесения ИОСВ. За счет лемешно-отвальной вспашки при наибольшей дозе внесения ИОСВ ЗПВ составил 776 м³/га, что выше значения изучаемого показателя на 15,8% и 7,5% соответственно без внесения ИОСВ и с внесением в дозе 5 т/га. Наименьшие ЗПВ были получены при безотвальной дисковой обработке, которые составили 620 м³/га, 677 м³/га и 726 м³/га соответственно без внесения и с внесением ИОСВ в дозах 5 т/га и 10 т/га.

Анализ полученных данных показал, что лемешно-отвальная вспашка и безотвальная дисковая обработка уступают глубокому чизельно-отвальному рыхлению по критерию ЗПВ в слое почвы 0,0-0,4 м при внесении 10 т/га ИОСВ на 10,2% и 17,8% соответственно.

Расход влаги в слое почвы 0,0-0,4 м по фазам роста и развития сафлора красильного представлен в виде графиков на рисунке 1.

Рисунок 1 – Расход почвенной влаги по фазам роста и развития сафлора красильного при лемешно-отвальной вспашке (а), безотвальной дисковой обработке (б), глубоком чизельно-отвальном рыхлении (в) ($R^2 = 0,97-0,99$)

Дисперсионный анализ результатов полевых наблюдений зависимости ЗПВ в слое 0,0-0,4 м от факторов А и Б в период исследований для принятого 5%-ого уровня значимости показал, что все различия между вариантами значимы ($F_p > F_{табл.}$).

При глубоком чизельно-отвальном рыхлении и дозах внесения ИОСВ от 0 до 10 т/га значение ЗПВ существенно превышало значение ЗПВ при лемешно-отвальной вспашке и без внесения ИОСВ – на 83-318 м³/га ($HCP_{05}=7,9-15,6$ м³/га), или на 13,9-43,8% ($HCP_{05}=1,2-1,9\%$). При безотвальной дисковой обработке почвы и дозах внесения ИОСВ от 0 до 10 т/га значения ЗПВ относительно значений этого показателя при лемешно-отвальной вспашке и соответствующих дозах внесения ИОСВ были ниже на 32-70 м³/га ($HCP_{05}=7,9-15,6$ м³/га), или на 4,1-8,5% ($HCP_{05}=1,2-1,9\%$).

Регрессионный анализ экспериментальных данных показал, что динамика ЗПВ по фазам роста и развития сафлора красильного описывается функцией вида:

$$W = aT^2 - bT + c,$$

где W – запас почвенной влаги, мм; T – продолжительность от начала вегетации, дни; a, b, c – коэффициенты уравнения (таблица 1).

Максимальные значения суммарного водопотребления сафлора красильного в период проведения исследований были зафиксированы при глубоком чизельно-отвальном рыхлении почвы. Они изменялись от 3 211 до 3 422 м³/га в 2016 году, от 2 647 до 2 731 м³/га в 2017 году и от 1 579 до 1 639 м³/га в 2018 году. При лемешно-отвальной вспашке значения эвапотранспирации сафлора красильного при дозах внесения ИОСВ 0-10 т/га в эти же годы исследований соответственно составили 3 104-3 286 м³/га, 2 548-2 631 м³/га и 1 496-1 548 м³/га. Наименьшее суммарное водопотребление сафлора красильного сложилось при глубоком чизельно-отвальном рыхлении – 3 046-3 216 м³/га в 2016 году, 2 490-2 590 м³/га в 2017 году и 1 463-1 508 м³/га в 2018 году, что обусловлено меньшей глубиной рыхления и соответственно сформированными ЗПВ.

Основная задача агротехнической мелиорации сводится к получению максимального урожая возделываемой культуры при допустимых антропогенных нагрузках. Урожайность сафлора красильного представлена в таблице 2.

Полученные результаты закономерно выявили зависимость урожая культуры от ее влагообеспеченности в основные фазы роста и развития. Статистическая обработка массива экспериментальных данных показала, что все различия между вариантами опыта значимы. При лемешно-отвальной вспашке и дозах внесения ИОСВ 5 и 10 т/га урожайность сафлора красильного по годам исследований существенно отличалась – на 0,10-

Таблица 1 – Значения коэффициентов уравнения регрессии

Фактор А	Фактор Б	Коэффициент		
		a	b	c
A1	Б1	0,0023	0,871	72,04
	Б2	0,0026	0,953	77,38
	Б3	0,0028	1,007	82,24
A2	Б1	0,0023	0,838	67,08
	Б2	0,0027	0,925	72,51
	Б3	0,0030	1,005	77,54
A3	Б1	0,0026	0,996	82,41
	Б2	0,0030	1,085	88,15
	Б3	0,0031	1,145	93,89

Таблица 2 – Урожайность сафлора красильного, т/га семян

Вариант		Год исследований			Среднее значение
		2016	2017	2018	
A1	Б1	1,27	1,23	1,18	1,23
	Б2	1,37	1,35	1,29	1,34
	Б3	1,44	1,41	1,34	1,40
A2	Б1	1,21	1,16	1,10	1,16
	Б2	1,30	1,22	1,17	1,23
	Б3	1,36	1,29	1,23	1,29
A3	Б1	1,37	1,29	1,26	1,31
	Б2	1,47	1,41	1,37	1,42
	Б3	1,56	1,50	1,46	1,51

0,18 т/га семян ($HCP=0,01-0,02$ т/га), или на 7,8-14,6% ($HCP=1,08-1,23\%$) от урожайности культуры, полученной без внесения ИОСВ.

При применении безотвальной дисковой обработки почвы урожайность сафлора красильного была значительно ниже, чем при лемешно-отвальной вспашке при соизмеримых дозах внесения ИОСВ. Так, в сравниваемых вариантах опыта без внесения ИОСВ урожайность культуры при лемешно-отвальной вспашке превышала на 0,06-0,08 т/га семян, или на 4,7-6,8% ее урожайности, полученную при применении безотвальной дисковой обработки почвы. Внесение ИОСВ в дозах 5 и 10 т/га об-

условило увеличение этой разницы до 0,07-0,13 т/га, или до 5,1-9,6%.

Наибольшая прибавка урожайности сафлора красильного была отмечена при применении глубокого чизельно-отвального рыхления. Анализ урожайности культуры, полученной на этом варианте опыта при различных дозах внесения ИОСВ, относительно ее урожайности, полученной без внесения ИОСВ, показал, что приемы агротехнической мелиорации в условиях засушливого климата существенно влияют на продуктивность сафлора красильного. Прибавка урожайности по годам исследований составила от 0,06 до 0,29 т/га ($HCP=0,01-0,02$ т/га), или 4,8-23,7% ($HCP=1,08-1,23\%$).

Закключение. Основная обработка почвы в условиях сухого земледелия является одним из основных факторов аккумуляирования в почвенных слоях запаса почвенной влаги, которая лимитирует получение устойчивых урожаев сафлора [1, 4, 5].

Использование илового осадка сточных вод в качестве удобрения в безопасных дозах, с одной стороны, решает проблему утилизации этих отходов, а, с другой стороны, обеспечивает повышение урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур. Кроме того, мульчирование почвы иловым осадком сточных вод способствует снижению потерь продуктивной влаги, связанных с ее испарением поверхностью почвы [2, 4, 5, 12].

Для увеличения запаса почвенной влаги наиболее эффективно применять глубокое чизельно-отвальное рыхление и мульчирование поверхности почвы иловым осадком сточных вод в дозе 5-10 т/га.

Библиографический список

1. Бородина, Н.Н. Влияние способов обработки почвы на влагообеспеченность и урожайность сафлора красильного на семена на светло-каштановых почвах // Научно-производственный журнал. – 2017. – №1. – С. 9-11.
2. Локальные биостанции глубокой переработки стоков в биоудобрения для растениеводства / А.Е. Новиков, Е.А. Дугин, М.И. Филимонов [и др.] // Орошаемое земледелие. – 2019. – №2. – С. 63-66.
3. Рябцева, Н.А. Совершенствование элементов технологии возделывания сафлора в Ростовской области / Н.А. Рябцева // Сельское, лесное и водное хозяйство. – 2015. – №3. – С. 28-29.
4. Пат. №2646056 Российская Федерация, МПК А01В79/02. Способ возделывания сафлора в сухом земледелии аридных регионов / А.Е. Новиков, А.С. Межевова. – Опубл. 2018.
5. Пындак, В.И. Агротехническая мелиорация земель в аридных условиях Нижнего Поволжья / В.И. Пындак, А.Е. Новиков // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – №4. – С. 15-17.
6. Пындак, В.И. Адсорбционные свойства удобрений на основе осадков сточных вод / В.И. Пындак, А.Е. Новиков, А.С. Межевова // Теоретические и прикладные проблемы АПК. – 2016. – №4. – С. 61-64.
7. Тютюма, Н.В. Продуктивность сафлора красильного в аридной зоне Прикаспия при различной густоте стояния / Н.В. Тютюма, А.Ф. Туманян, Н.А. Щербакова // Российская сельскохозяйственная наука. – 2017. – №4. – С. 32-34.
8. Esfahani, M.A. Assessment of growth physiological indices, seed and oil yield of two spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under different tillage methods in Isfahan province of Iran / M.A. Esfahani, H. Javanmard, A. Golparvar // Research on Crops. – 2016. – Vol. 17, Issue 2. – P. 244-247. – DOI: 10.5958/2348-7542.2016.00042.5.
9. Jabeen, N. The activity of antioxidant enzymes in response to salt stress in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and sunflower (*Heliantus annuus* L.) seedlings raised from seed treated with chitosan / N. Jabeen, R. Ahmad // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2013. – Vol. 93, No 7. – P. 1699-1705. – DOI: 10.1002/jsfa.5953.
10. Sustainable approach to biotransform industrial sludge into organic fertilizer via vermicomposting: a mini-review / L.H. Lee, T.Y. Wu, K.P.Y. Shak [et al.] // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. – 2018. – Vol. 93, Issue 4. – P. 925-935. – DOI: 10.1002/jctb.5490.
11. Ten years of application of sewage sludge on tropical soil. A balance sheet on agricultural crops and environmental quality / W. Melo, D. Delarica, A. Guedes [et al.] // Science of the Total Environment. – 2018. – Vol. 643. – P. 1493-1501. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.254.
12. Wastewater treatment and disposal of individual residential buildings in agriculture / A. Novikov, A. Poddubskiy, E. Dugin [et al.] // 18th International Scientific Conference «Engineering for Rural Development» (Jelgava, Latvia, May 22-24, 2019): Proceedings. Vol. 18 / Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Engineering. – Jelgava (Latvia), 2019. – P. 397-406. – DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N 207.

Дополнительные сведения об авторах:

Андрей Евгеньевич Новиков, старший научный сотрудник отдела оросительных мелиораций¹, заведующий кафедрой процессы и аппараты химических и пищевых производств², ae-novikov@mail.ru,

Алина Сергеевна Межевова, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологий³, asmezhevoval@rambler.ru,

Юрий Николаевич Плещачев, профессор кафедры земледелие и агрохимия⁴, pleskachiov@yandex.ru,

Татьяна Геннадьевна Константинова, старший научный сотрудник отдела оросительных мелиораций¹, tg.konstantinova.55@mail.ru

Bibliographic list

1. Borodina, N.N. Influence of soil treatment methods on moisture availability and productivity of safflower on seeds on light chestnut soils // Scientific and production journal. – 2017. – No.1. – P. 9-11.
2. Local biological stations of deep processing of runoff into biofertilizers for crop production / A.E. Novikov, E.A. Dugin, M.I. Filimonov [et al.] // Irrigated agriculture. – 2019. – No2. – P. 63-66.
3. Ryabtseva, N.A. Improvement of elements of technology of cultivation of safflower in the Rostov region / N.A. Ryabtseva // Agriculture, forestry and water management. – 2015. – No 3. – P. 28-29.
4. Pat. No2646056 Russian Federation, IPC A01B79/02. The method of cultivation of safflower in the dry agriculture of arid regions / A.E. Novikov, A.S. Mezhevoval. – Publ. 2018.
5. Pyndak, V.I. agro-technical land reclamation in the arid conditions of the Lower Volga region / V.I. Pyndak, A.E. Novikov // Agricultural machinery and technologies. – 2013. – No4. – P. 15-17.
6. Pyndak, V.I. Adsorption properties of fertilizers based on sewage sludge / V.I. Pyndak, A.E. Novikov, A.S. Mezhevoval // Theoretical and applied problems of agriculture. – 2016. – No4. – P. 61-64.
7. Tyutyuma, N.V. Productivity of safflower in the arid zone of the Caspian sea at different density of standing / N.V. Tyutyuma, A.F. Tumanyan, N.A. Shcherbakova // Russian agricultural science. – 2017. – No4. – P. 32-34.
8. Esfahani, M.A. Assessment of growth physiological indices, seed and oil yield of two spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under different tillage methods in Isfahan province of Iran / M.A. Esfahani, H. Javanmard, A. Golparvar // Research on Crops. – 2016. – Vol. 17, Issue 2. – P. 244-247. – DOI: 10.5958/2348-7542.2016.00042.5.
9. Jabeen, N. The activity of antioxidant enzymes in response to salt stress in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and sunflower (*Heliantus annuus* L.) seedlings raised from seed treated with chitosan / N. Jabeen, R. Ahmad // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2013. – Vol. 93, No 7. – P. 1699-1705. – DOI: 10.1002/jsfa.5953.
10. Sustainable approach to biotransform industrial sludge into organic fertilizer via vermicomposting: a mini-review / L.H. Lee, T.Y. Wu, K.P.Y. Shak [et al.] // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. – 2018. – Vol. 93, Issue 4. – P. 925-935. – DOI: 10.1002/jctb.5490.
11. Ten years of application of sewage sludge on tropical soil. A balance sheet on agricultural crops and environmental quality / W. Melo, D. Delarica, A. Guedes [et al.] // Science of the Total Environment. – 2018. – Vol. 643. – P. 1493-1501. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.254.
12. Wastewater treatment and disposal of individual residential buildings in agriculture / A. Novikov, A. Poddubskiy, E. Dugin [et al.] // 18th International Scientific Conference «Engineering for Rural Development» (Jelgava, Latvia, May 22-24, 2019): Proceedings. Vol. 18 / Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Engineering. – Jelgava (Latvia), 2019. – P. 397-406. – DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N 207.

Additional information about the authors:

Andrey Evgenievich Novikov, senior researcher of the department of irrigation and reclamation¹, head of the department processes and apparatus of chemical and food production², ae-novikov@mail.ru,

Alina Sergeevna Mezhevoval, junior research of laboratory of biotechnologies³, asmezhevoval@rambler.ru,

Yuriy Nikolaevich Pleskachev, professor department of agricultural chemistry⁴, pleskachiov@yandex.ru,

Tatyana Gennad'evna Konstantinova, senior researcher of the department of irrigation and reclamation¹, tg.konstantinova.55@mail.ru