

Обзор / Review

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-44-49>
УДК 631.674.6:635.1/.7

А.Ю. Федосов, А.М. Меньших*, М.И. Иванова

Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО) 140153, Московская область, Раменский район, д. Верея, стр. 500

*Автор для переписки: soulsunnet@gmail.com

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы участвовали в написании статьи.

Для цитирования: Федосов А.Ю., Меньших А.М., Иванова М.И. Дефицитное орошение овощных культур. *Овощи России*. 2022;(3):44-49. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-44-49>

Поступила в редакцию: 24.01.2022

Принята к печати: 14.04.2022

Опубликована: 25.06.2022

Aleksandr Yu. Fedosov,
Aleksandr M. Menshikh*, Maria A. Ivanova

All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – Branch of the FSBSI Federal Scientific Vegetable Center 500, Vereya, Ramensky urban district, Moscow region, Russia

*Corresponding author: soulsunnet@gmail.com

Conflict of interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Author contributions: All authors contributed to the writing of the article.

For citations: Fedosov A.Yu., Menshikh A.M., Ivanova M.I. Deficient irrigation of vegetable crops. *Vegetable crops of Russia*. 2022;(3):44-49. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-3-44-49>

Received: 24.01.2022

Accepted for publication: 14.04.2022

Published: 25.06.2022

Дефицитное орошение овощных культур



Резюме

Вода является одним из основных факторов для производства овощных культур из-за ее решающей роли в поглощении и транспортировке питательных веществ, регулировании температуры и некоторых физиологических процессах, включая фотосинтез. Учитывая возрастающие потребности растущего населения в продуктах питания и питательных веществах, значительная часть сельскохозяйственных исследований сосредоточена на повышении эффективности использования (WUE – Water use efficiency) и экономии воды без снижения урожайности. Принимая во внимание сложность увеличения WUE посредством селекции из-за компромисса между фотосинтезом и транспирацией, необходимы агрономические стратегии. Из-за неглубокой корневой системы и продажи овощной продукции в свежем виде овощные культуры относительно более чувствительны к влаге, чем полевые культуры. Дефицитное орошение (DI – Deficit irrigation) – это прямой подход к экономии воды, заключающийся в сокращении полива для повышения продуктивности воды (WP – Water productivity). Регулируемый дефицитный полив (RDI – Regulated deficit irrigation) и частичное высушивание корневой зоны (PRD – Partial root drying) – два широко используемых метода планирования DI наряду с классическим подходом DI. Нами проведен анализ в рецензируемой литературе исследований, в которых сообщается о различиях в урожайности овощных культур, подвергающихся дефициту орошения. Поиск проводился в Google Scholar и Web of Science с использованием различных комбинаций следующих ключевых слов: урожайность овощных культур и дефицит орошения или нехватка влаги, или нехватка воды, или засуха. Умеренный уровень дефицита воды (<65% FI) оказывает неблагоприятное воздействие на урожайность овощных независимо от внешних факторов, таких как структура почвы, климат и система производства. Этот уровень орошения оправдан для регионов, где уже действуют или прогнозируются ограничения воды. Основываясь на приросте WP, такие низкие уровни орошения, как 35–50% FI для томата и перца, 50–65% для лука и <35% FI для баклажана и арбуза, являются оптимальными для районов с острой нехваткой воды. Тем не менее, более высокий дефицит воды может также иметь неблагоприятное влияние на качество с точки зрения уменьшения размера плодов/корнеплодов/луковиц.

Ключевые слова: овощные культуры, дефицитное орошение, эвапотранспирация, продуктивность воды, эффективность водопользования

Deficient irrigation of vegetable crops

Abstract

Water is one of the main factors for the production of vegetable crops due to its crucial role in the absorption and transport of nutrients, temperature regulation and some physiological processes, including photosynthesis. Considering the growing needs of a growing population for food and nutrients, a significant part of agricultural research is focused on improving the use efficiency (WUE - Water use efficiency) and saving water without reducing yields. Given the difficulty of increasing WUE through selection due to the tradeoff between photosynthesis and transpiration, agronomic strategies are needed. Due to the shallow root system and the fresh sale of vegetable products, vegetable crops are relatively more sensitive to moisture than field crops. Deficit irrigation (DI) is a direct approach to saving water by reducing irrigation to increase water productivity (WP - Water productivity). Regulated deficit irrigation (RDI) and partial root drying (PRD) are two widely used DI planning methods along with the classic DI approach. We searched the peer-reviewed literature for studies reporting yield differences in vegetable crops subjected to irrigation deficits. The search was conducted on Google Scholar and Web of Science using various combinations of the following keywords: vegetable crop yield and irrigation deficit or moisture shortage or water shortage or drought. Moderate levels of water stress (<65% FI) adversely affect vegetable yields regardless of external factors such as soil structure, climate and production system. This level of irrigation is justified for regions where water restrictions are already in place or forecast. Based on WP growth, irrigation levels as low as 35–50% FI for tomato and pepper, and 50–65% FI for onions and <35% FI for eggplant and watermelon are optimal for areas with severe water scarcity. However, a higher water deficit may also have an adverse effect on quality in terms of reduced fruit/root/bulb size.

Keywords: vegetable crops, deficit irrigation, evapotranspiration, water productivity, water use efficiency

Прогнозируется, что к 2080 году чистые потребности сельскохозяйственных культур в воде увеличатся во всем мире на 25%, несмотря на повышение эффективности орошения, связанное с изменениями в структуре осадков, глобальным потеплением и удлинением вегетационного периода культивируемых растений. Экстремальные погодные явления, такие как заморозки, град, тепловые волны, процентиль осадков и периоды засухи, влияют на глобальную продовольственную безопасность, ограничивая потенциал производства неорошаемых и орошаемых сельскохозяйственных культур [1,2].

Во всем мире, по оценкам, к 2050 году более 50% пахотных земель будут иметь проблемы с качеством почвы, в то время как в настоящее время около 10 миллионов гектаров ежегодно забрасываются из-за засоления почвы [3]. В любом случае планирование полива часто представляет собой сложную задачу, приводящую к значительным расходам воды [4,5,6].

Дефицитное орошение (DI или регулируемое дефицитное орошение RDI; т.е. применение воды с меньшей скоростью и / или объемом, чем эвапотранспирация растений) рассматривалось как устойчивая стратегия орошения в отличие от обычного орошения в условиях ограниченного водоснабжения [7,8]. Принципиальная позиция DI заключается в повышении эффективности использования воды за счет орошения только на критических стадиях роста сельскохозяйственных культур без значительного снижения урожайности или экономии воды для расширения сельскохозяйственных угодий [9]. Для фермеров обычной практикой является примерно удвоение номинальной орошаемой площади с заданным количеством воды, применяя стратегию DI [10]. Следуя литературе, стратегии DI можно сгруппировать следующим образом:

- орошение с устойчивым дефицитом (StDI – Sustained deficit irrigation), при котором фиксированная часть потребности сельскохозяйственных культур в воде обеспечивается в течение всего периода орошения [11],
- поэтапное дефицитное орошение (SBDI – Stage-based deficit irrigation), при котором вода применяется для удовлетворения всех потребностей растений в воде только на критических стадиях роста и меньше воды применяется на некритических стадиях роста [12],
- частичная сушка корневой зоны (PRD – Partial root drying), при которой часть корневой системы орошается, а

Таблица 1. Уровень водного дефицита в зависимости от процентного снижения полевой влагоемкости почвы [12]
Table 1. The level of water deficit depending on the percentage decrease in the field water capacity of the soil [12]

Уровень дефицита воды	Влажность почвы, в % от полевой влагоемкости
Сильный дефицит воды	<50%
Умеренный дефицит воды	50–60%
Незначительный дефицит воды	60–70%
Без дефицита / полное орошение	> 70%
Чрезмерное орошение	Избыточное количество воды

оставшаяся половина подвергается пересыханию почвы, переходя на другую половину каждые 2–3 недели [12],

- дополнительное орошение (SI Supplemental irrigation), оптимально запланированное с учетом количества и времени полива, чтобы гарантировать, что минимальное количество воды доступно для сельскохозяйственных культур на критических этапах, что позволит значительно повысить урожайность. Обычно SI комбинируют на посевах, чтобы предотвратить воздействие на посевы стресса от засухи и жары в жарких регионах и заморозков в холодных районах [13].

Помимо DI, фермеры должны также перенять агрономические практики для повышения адаптации сельскохозяйственных культур к уменьшенным объемам полива, такие как, например, использование умеренной плотности растений, минимальное количество удобрений, гибкие сроки планирования и ограниченное использование пара, особенно когда это желательно для сохранения осадков [10]. В любом случае, характеристика уровня водного дефицита соответствовала проценту уменьшения полевой влагоемкости почвы, как показано в табл. 1 [12].

Овощи играют важную роль в обеспечении продовольственной безопасности, являясь одним из богатейших источников витаминов и минералов [14]. Овощные культуры скоропортящиеся и чувствительны к непредсказуемым и экстремальным изменениям климата [15, 16]. Овощи на 80-95% состоят из воды, при этом урожай и качество продукции быстро страдают от засухи [10, 17]. Критические периоды потребности некоторых овощных культур в воде представлены в таблице 2.

Таблица 2. Критические периоды потребности овощных культур в воде
Table 2. Critical periods of water demand for vegetable crops

Культура	Критическая стадия
Брокколи, капуста кочанная	В период формирования и увеличения головки / кочана
Капуста цветная	От планирования до сбора урожая требует частого полива
Салат	Требуется влажная почва, особенно перед уборкой урожая
Томат, перец, баклажан	В период формирования цветков и во время фазы быстрого увеличения плодов
Арбуз, дыня, огурец	От цветения до сбора урожая
Редечные культуры	В период быстрого увеличения размера корнеплода до уборки урожая
Лук репчатый	Первая половина вегетации (40 дней), во время нарастания листьев и начала формирования луковицы
Свекла столовая, морковь	Период прорастания семян и укоренения всходов; начало формирования корнеплода

Таблица 3. Показатели продуктивности воды
Table 3. Water productivity-based indicators

Индикатор	
Показатели продуктивности воды	Средняя продуктивность на единицу воды Средняя валовая стоимость продукта на единицу воды Средняя валовая прибыль на единицу воды Средняя валовая чистая стоимость продукта на единицу воды Значение предельной продуктивности воды

Примечание. Обычно используемые знаменатели для расчета показателей, основанных на продуктивности воды, включают объем отведенной/поставленной воды, использованный полив, валовой приток воды (дожди плюс орошение) и эвапотранспирацию сельскохозяйственных культур.

WP имеет наибольшее значение в качестве индикатора, поскольку водные ресурсы становятся все более дефицитными. Диапазон показателей, основанных на производительности, обобщен в таблице 3.

WP обычно оценивается как отношение урожайности (кг/м²) к израсходованной воде (м³/м²), включая «зеленую» воду (эффективное количество осадков) для богарных площадей, а также «зеленую» воду и «голубую» воду (воду, отведенную из систем водоснабжения) для орошаемых территорий. WP, определенная выше, варьируется от региона к региону и от поля к полю в зависимости от многих факторов, таких как характер выращивания культур и характер климата (если количество осадков соответствует росту урожая), технология орошения и управление полевыми водами, земля и инфраструктура, а также ресурсы, включая рабочую силу, удобрения и технику.

Для арбуза наилучший компромисс между продуктивностью воды, урожайностью и качеством продукции получен при использовании полного полива до стадии созревания, а затем путем использования половины поливных потребностей для восстановления [18]. У томата альтернативное увлажнение и высушивание корневой зоны при капельном орошении увеличивало WUE и уменьшало потери азота в окружающую среду [18]. В другой работе небольшое DI соответствовало 80% эвапотранспирации (ЕТс – Crop evapotranspiration) и было наиболее подходящей стратегией DI для увеличения урожайности томата в теплице [19].

В метааналитическом исследовании оценивалось влияние стратегии DI растений восьми овощных культур, чтобы дать количественную оценку реакции урожайности и WP при различной структуре почвы, климате и производственных системах (открытое поле и теплица). Проанализировано 425 сравнений урожайности и 388 сравнений WP различных уровней DI с полным орошением (FI – Full irrigation), извлеченных из 185 опубликованных исследований, представляющих 30 стран. При переходе от самого высокого (>80% FI) к самому низкому (<35% FI) уровню орошения общее снижение урожайности составило от 6,9 до 51,1% по сравнению с FI, соответственно. Прирост WP варьировался от 8,1 до 30,1%, при этом 35–50% FI зафиксировали самые высокие преимущества. Структура почвы значительно повлияла на урожайность только при наименьшем дефиците воды (<35% FI), где супеси и суглинки показали самое высокое (82,1%) и самое низкое (26,9%) снижение урожайности соответственно. Среди климатических условий умеренный климат в целом был наиболее благоприятным с наименьшими потерями урожая (21,9%) и самым высоким приростом WP (21,78%) при различных уровнях DI. Применение DI в теплице вызвало меньшее снижение урожайности по

сравнению с открытым полем. Прирост WP за счет DI также был выше для теплицы (18,4%), чем для открытого грунта (13,6%). Снижение урожайности при слабом или умеренном дефиците воды (>65% FI), сопровождающееся повышением WP, может быть оправдано в свете ожидаемого ограничения воды [20].

Поскольку овощи продаются в свежем виде, качество продукции может ухудшиться при очень низких нормах орошения. Однако ограниченное орошение томата улучшает качественные характеристики, такие как общее количество растворимых сухих веществ, сахара, титруемая кислотность, аскорбиновая кислота и цвет. Значительно увеличивается содержание углеводов в плодах баклажана, получавшего 70% ЕТс по сравнению со 100% ЕТс. У томата значительное увеличение WP может быть достигнуто при снижении урожая всего на 5,5% при использовании орошения с низким дефицитом воды (>80% FI) [21]. Снижение урожайности перерабатываемых томатов будет незначительным при восстановлении ЕТс на 70–80% [22]. Значительный прирост WP (11,3%) при умеренном снижении урожайности (25,6%) при уровнях 50–80% FI для лука указывает на водосберегающий потенциал этих уровней DI для производства лука в регионах с ограниченным водоснабжением. Хотя арбуз зафиксировал самый высокий прирост WP (47,3%) ниже 35% FI, потери урожайности также были высокими (49,7%) [20].

Теплицы, навесы, горизонтальные ширмы и теневые сетки (фотоселективные сетки, защитные сетки, защита от града), направлены на минимизацию нагрузки на окружающую сельскохозяйственные культуры среду за счет изменения воздушной среды. В субтропических регионах эти системы широко используются, поскольку они защищают посевы от экстремальных погодных условий, которые часто проявляются в виде града, засухи, повреждения ветром и солнечных ожогов [23]. У защищенных культур более низкая эвапотранспирация, главным образом из-за уменьшения скорости ветра и турбулентного обмена, уменьшения освещенности и повышенной влажности внутри листового полога [24]. Перец сладкий, выращенный в защищенном грунте в период с августа по сентябрь, показал сокращение использования воды растениями на 60% по сравнению с культурой открытого грунта; однако рекомендуется коэффициент затенения не более 20% [25, 26].

В любом случае в защищенном грунте соотношение между производством товарной продукции и общим объемом поливной воды для сельскохозяйственных культур или отношение ассимиляции CO₂ к транспирации (т.е. эффективность использования оросительной воды, WUE (кг/м³); эффективность транспирации, TE – Transpiration efficiency) выше по сравнению с культурами открытого грунта (табл. 4 и 5).

Таблица 4. Значения эффективности использования воды растениями томата (WUE; кг/м³) при различных условиях выращивания и субстрате. Данные адаптированы [27] из [28-30]
Table 3. Water use efficiency values for tomato plants (WUE; kg/m³) under various growing conditions and substrate. Data adapted from [27] from [28-30]

Страна	Условия выращивания	WUE
Франция	Открытый грунт	14
	Теплица неотапливаемая	24
Италия	Открытая система тепличного субстрата	23
	Закрытая система тепличного субстрата	47
Испания	Система субстратов для теплиц	35
Израиль	Открытый грунт	17
	Теплица неотапливаемая	33
Нидерланды	Открытая система тепличного субстрата	45
	Закрытая система тепличного субстрата	66
Египет	Открытый грунт	3
	Теплица неотапливаемая	17
	Система выращивания на субстрате для теплиц	45
Кипр	Открытый грунт	7
	Туннели	11
	Теплица	23
Греция	Система выращивания на субстрате для теплиц	30
	Открытая система тепличного субстрата, низкотехнологичная теплица	20
	Тепличный субстрат, полузакрытая система, низкотехнологичная теплица	28
	Закрытая система тепличного субстрата, низкотехнологичная теплица	36
	Закрытая система тепличного субстрата, высокотехнологичная теплица	50
	Закрытая система тепличного субстрата, полузакрытая теплица (холодопроизводительность 100 Вт/м ²), высокотехнологичная теплица	80

Таблица 5. Значения продуктивности воды (WP; кг/м³) и эффективности водопользования (WUE; кг/м³) для овощных культур, оцененные на основе рыночных цен и потребностей в воде [33]
Table 4. Water productivity (WP; kg/m³) and water use efficiency (WUE; kg/m³) for vegetable crops estimated based on market prices and water requirements [33]

Культура	WUE	WP	Культура	WUE	WP
Огурец, защищенный грунт	22.20	30.50	Дыня, открытый грунт	6.74	2.39
Огурец, низкий туннель	14.00	11.20	Дыня, низкий туннель	13.70	7.01
Огурец, открытый грунт	6.30	4.70	Перец, открытый грунт	6.31	4.94
Артишок, первый год	6.66	3.92	Перец, низкий туннель	12.00	11.70
Артишок, второй год	7.95	4.67	Редис на пучок	23.60	5.11
Арбуз, низкий туннель	20.60	8.08	Сельдерей на пучок	18.20	8.03
Арбуз, открытый грунт	12.00	2.83	Шпинат на пучок	35.00	7.56
Морковь	10.60	4.78	Томат, теплица	23.90	21.00
Цуккини, низкий туннель	7.87	6.63	Томат, низкий туннель	11.00	7.55
Цуккини, открытый грунт	3.92	2.70	Томат, открытый грунт	7.04	2.90
Бобы свежие	8.97	8.35	Фасоль, открытый грунт	5.76	7.88
Капуста цветная	6.51	3.96	Фасоль, теплица	11.00	32.40
Капуста белокочанная	7.44	2.49	Баклажан	10.10	5.35
Лук на зелень	33.20	6.50	Баклажан, низкий туннель	20.90	14.30
Лук сушеный	12.40	4.63	Салат	26.30	6.46

Высокие значения WUE также наблюдались в системах беспочвенного культивирования. Важность повышения продуктивности воды за счет улучшения WUE в засушливых и полузасушливых регионах рассматривается как стратегическая деятельность, на которую обращают внимание некоторые исследователи [31, 32].

Оптимальный контроль микроклимата в теплицах обычно требует использования сложного оборудования, такого как, например, системы охлаждения и обогрева, искусственное освещение, осушение и затенение. В пластиковых теплицах в жарких и засушливых регионах в течение значительной части года использовались активные системы охлаждения для уменьшения накопления тепла в теплице [28]. Однако вода, которая должна быть испарена для снижения тепловой нагрузки, не всегда принимается во внимание при оценке общего использования тепличной воды; кроме того, она влияет на суточные колебания водного потенциала листьев.

В целом, более низкая эвапотранспирация наблюдается для анизогидрических растений (т.е. устьица не реагируют на изменения влажности), а не для изогидрических растений, проводимость листьев которых имеет тенденцию к увеличению, что приводит к более высокой скорости эвапотранспирации [34]. Тем не менее, даже несмотря на то, что проводимость листьев была примерно на 25% выше в теплице, охлаждаемой испарительной подушкой; более высокий уровень транспирации на 60% наблюдается для растений огурца в теплице с системой вентиляции [6]. Для выращивания огурца в весенне-летний период в средиземноморских условиях среднее дневное количество воды, испаряемой через смоченную подушку, составляло 72 л/м², и увеличивалось до 104 л/м² по мере того, как внешние условия становились теплее и суше [35]. В любом случае период выращивания томата в теплице увеличивался с использованием системы туманообразования независимо от наличия воды, которую необходимо было выпаривать [36].

Концепция получения пресной воды путем конденсации для повторного использования в теплице не нова [28]. По этой причине растет интерес к использованию осушителей в теплицах, хотя все еще остаются проблемы, связанные с потреблением энергии. Это особенно полезно в случаях повышенного уровня влажности, в прибрежных районах, а также зимой в холодную ночь, когда проемы теплицы закрываются, и воздух насыщается влагой.

Заключение

Ежегодный рост производства сельскохозяйственных культур во всем мире (2,2–2,3%) в основном связан с ростом урожайности (77%), за которым следует расширение пахотных земель (14%) и увеличение интенсивности земледелия (9%). Стратегии, способ-

ствующие эффективному водопользованию и экономии воды для орошения, необходимы для обеспечения водной безопасности для удовлетворения растущего спроса на продовольствие. Большинство овощных культур чувствительны к водному стрессу. Величина снижения урожайности увеличивается с возрастанием водного дефицита. Относительно меньшее снижение урожайности при слабом или умеренном дефиците воды (>65% FI) может быть приемлемым в районах с уменьшающимися водными ресурсами, особенно для дыни и арбуза, урожайность которых статистически аналогична FI при низком дефиците воды. Кроме того, снижение урожайности при этих уровнях DI может быть компенсировано увеличением WP и снижением производственных затрат. Значительное увеличение WP на всех уровнях DI по сравнению с FI показывает, что баклажан сравнительно устойчив к водному стрессу. Для томата и перца самый высокий прирост WP при 35–50% FI предполагает, что эти низкие уровни DI могут быть выгодны для районов с серьезной нехваткой воды, где WP культуры уделяется больше внимания, чем урожайности. Помимо видов овощных культур, основными факторами, которые могут влиять на урожайность и WP при DI, являются метод орошения, генотип, изменения структуры почвы и факторы окружающей среды, такие как климат и характеристики почвы. Более низкие нормы DI были более эффективными на почвах со средним и мелким гранулометрическим составом по сравнению с грубыми почвами. В целом, суглинок имел преимущество в урожайности на 12,9 и 7,8% по сравнению с песчаными и глинистыми почвами соответственно. Более высокая вододерживающая способность кажется вероятной причиной более высокой урожайности почв со средним и мелким гранулометрическим составом при остром дефиците воды. Это не только делает больше воды доступной в корневой зоне, но и дает растениям больше времени, чтобы приспособиться к водному стрессу. Напротив, почвы с грубой структурой, имеющие более высокие скорости инфильтрации и дренажа, теряют воду быстрее, что приводит к шоку водного стресса. По этим причинам мелкозернистые почвы более эффективно используют дождевую воду по сравнению с крупнозернистыми. В условиях низкой влажности доступная растениям вода для суглинка может быть больше, чем для глинистой почвы, в зависимости от влажности почвы. Это объясняет преимущество по урожайности суглинка над глинистой почвой. Помимо структуры, электропроводность (ЕС) и рН почвы также могут влиять на доступность воды и, следовательно, на урожайность. Использование контролируемых сооружений, таких как теплица, может снизить потребность растений в воде за счет снижения ET. Пластиковое покрытие снижает скорость ветра и солнечное излучение, задерживает длинноволновое излучение и, таким образом, уменьшает потери влаги.

Об авторах:

Александр Юрьевич Федосов – младший научный сотрудник, <http://orcid.org/0000-0001-9492-8667>

Александр Михайлович Меньших – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, <http://orcid.org/0000-0001-7254-8487>, Researcher ID: J-4664-2018, Scopus Author ID: 57222652225, автор для переписки, soulsunnet@gmail.com

Мария Ивановна Иванова – главный научный сотрудник, <http://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, Researcher ID: A-8536-2016, Scopus Author ID: 57205541331, ivanova_170@mail.ru

About the authors:

Aleksandr Yu. Fedosov – Junior Researcher, <http://orcid.org/0000-0001-9492-8667>

Aleksandr M. Menshikh – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, <http://orcid.org/0000-0001-7254-8487>, Researcher ID: J-4664-2018, Scopus Author ID 57222652225, Correspondence Author, soulsunnet@gmail.com

Maria A. Ivanova – Doc. Sci. (Agriculture), Chief Researcher, <http://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, Researcher ID: A-8536-2016, Scopus Author ID: 57205541331, ivanova_170@mail.ru

• Литература / References

- Bisbis, M.B.; Gruda, N.S.; Blanke, M.M. Securing Horticulture in a Changing Climate-A Mini Review. *Horticulturae*. 2019;(5):56.
- Teichmann, C.; Bülow, K.; Otto, J.; Pfeifer, S.; Rechid, D.; Sieck, K.; Jacob, D. Avoiding Extremes: Benefits of Staying below +1.5°C Compared to +2.0°C and +3.0°C. *Global Warming. Atmosphere*. 2018;(9):115.
- Barik, R.; Pattanayak, S.K. Assessment of Groundwater Quality for Irrigation of Green Spaces in the Rourkela City of Odisha, India. *Groundw. Sustain. Dev.* 2019;(8):428–438.
- Федосов А.Ю., Меньших А.М., Иванова М.И. Оценка водного следа овощных культур. Овощи России. 2021;(4):57-64. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-57-64> [Fedosov A.Y., Menshikh A.M., Ivanova M.I. Assessment of water footprint of vegetable crops. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(4):57-64. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-57-64>]
- Федосов А.Ю., Меньших А.М., Иванова М.И., Рубцов А.А. Инновационные технологии орошения овощных культур. - М.: Изд-во «Ким Л.А.», 2021. 306 с. [Fedosov A.Yu., Menshikh A.M., Ivanova M.I., Rubtsov A.A. Innovative technologies for irrigation of vegetable crops. - M.: Publishing house "Kim L.A.", 2021. 306 p. (In Russ.)]
- Nikolaou, G.; Neocleous, D.; Katsoulas, N.; Kittas, C. Effects of Cooling Systems on Greenhouse Microclimate and Cucumber Growth under Mediterranean Climatic Conditions. *Agronomy*. 2019;(9):300.
- Álvarez, S.; Bañón, S.; Sánchez-Blanco, M.J. Regulated deficit irrigation in different phenological stages of potted geranium plants: Water consumption, water relations and ornamental quality. *Acta Physiol. Plant*. 2013;(35):1257–1267.
- Farahani, S.M.; Chaichi, M.R. Deficit (Limited) Irrigation - A Method for Higher Water Profitability, Irrigation Systems and Practices in Challenging Environments, Teang Shui Lee, IntechOpen. 2012.
- Geerts, S.; Raes, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agric. Water Manag.* 2009;(96):1275–1284.
- Egea, G.; Fernández, J.E.; Alcon, F. Financial assessment of adopting irrigation technology for plant-based regulated deficit irrigation scheduling in super high-density olive orchards. *Agric. Water Manag.* 2017, 187, 47–56.
- Chai, Q.; Gan, Y.; Zhao, C.; Zhao, C.; Xu, H.-L.; Waskom, R.M.; Niu, Y.; Siddique, K.H.M. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 2016;(36):3.
- Nangia, V.; Oweis, T.; Kemeze, F.H.; Schnetzer, J. Supplemental Irrigation: A promising climate-smart practice for dry-land agriculture. *GACSA*. 2018;(1):1–8.
- Kirda, C. Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. In *Deficit Irrigation Practices; Food and Agriculture Organization of the United Nations, Ed.; FAO: Rome, Italy, 2002; Water Rep. Pap.* 2002;(22):3–11.
- Шатилов М.В., Мещерякова Р.А., Иванова М.И. Трансформация продовольственной системы в условиях цифровизации АПК. *Экономика сельского хозяйства России*. 2021;(1):52-60. DOI: 10.32651/211-52 [Shatilov M.V., Meshcheryakova R.A., Ivanova M.I. Transformation of the food system in the context of digitalization of the agro-industrial complex. *Economics of agriculture in Russia*. 2021;(1):52-60. (In Russ.) DOI: 10.32651/211-52]
- Солдатенко А.В., Разин А.Ф., Пивоваров В.Ф., Шатилов М.В., Иванова М.И., Россинская О.В., Разин О.А. Овощи в системе обеспечения продовольственной безопасности России. *Овощи России*. 2019;(2):9-15. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-2-9-15>. [Soldatenko A.V., Razin A.F., Pivovarov V.F., Shatilov M.V., Ivanova M.I., Rossinskaya O.V., Razin O.A. Vegetables in the system of ensuring food security of Russia. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(2):9-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-2-9-15>]
- Солдатенко А.В., Пивоваров В.Ф., Разин А.Ф., Мещерякова Р.А., Шатилов М.В., Иванова М.И., Тактарова С.В., Разин О.А. Экономика овощеводства: состояние и современность. *Овощи России*. 2018;(5):63-68. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-5-63-68> [Soldatenko A.V., Pivovarov V.F., Razin A.F., Meshcheryakova R.A., Shatilov M.V., Ivanova M.I., Taktarova S.V., Razin O.A. The economy of vegetable growing: the state and the present. *Vegetable crops of Russia*. 2018;(5):63-68. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-5-63-68>]
- Борисов В.А. Система удобрения овощных культур. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. 392 с. [Borisov V.A. Vegetable crop fertilization system. M.: FGBNU "Rosinformagrotech", 2016. 392 p. (In Russ.)]
- Liu, R.; Yang, Y.; Wang, Y.-S.; Wang, X.-C.; Rengel, Z.; Zhang, W.-J.; Shu, L.Z. Alternate partial root-zone drip irrigation with nitrogen fertigation promoted tomato growth, water and fertilizer-nitrogen use efficiency. *Agric. Water Manag.* 2020;(233):106049.
- Lee, S.K.; Truong, D.; Ngo, M.L. Assessment of improving irrigation efficiency for tomatoes planted in greenhouses in Lam Dong Province, Vietnam. *Ital. J. Agrometeorol.* 2020;(22):52–55.
- Singh, M., Singh, P., Singh, S. et al. A global meta-analysis of yield and water productivity responses of vegetables to deficit irrigation. *Sci Rep* 11, 22095 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01433-w>
- Darko, R. O., Yuan, S., Sekyere, J. D. O. & Liu, J. Effect of deficit irrigation on yield and quality of eggplant. *Int. J. Environ. Agric. Biotechnol.* 2019;(4):1325–1333. <https://doi.org/10.22161/ijeab.45.5>
- Francaviglia, R. & Di Bene, C. Deficit Drip Irrigation in Processing Tomato Production in the Mediterranean Basin. A Data Analysis for Italy. *Agriculture*. 2019;(9):79.
- Mahmood, A.; Hu, Y.; Tanny, J.; Asante, E.A. Effects of shading and insect-proof screens on crop microclimate and production: A review of recent advances. *Sci. Hortic.* 2018;(241):241–251.
- Tanny, J. Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. *Biosyst. Eng.* 2013;(114):26–43.
- Blakey, R.J.; Van Rooyen, Z.; Köhne, J.S.; Malapana, K.C.; Mazhawi, E.; Tesfay, S.Z.; Savage, M.J. Growing Avocados Under Shadenetting. *Progress Report-Year 2, South African Avocado Growers' Association Yearbook. Actas Proceedings Cult. Manag. Tech.* 2016;(39):80–83.
- Kitta, E.; Baille, A.D.; Katsoulas, N.; Rigakis, N.; González-Real, M.M. Effects of cover optical properties on screenhouse radiative environment and sweet pepper productivity. *Biosyst. Eng.* 2014;(122):115–126.
- Nikolaou, G.; Neocleous, D.; Christou, A.; Kitta, E.; Katsoulas, N. Implementing Sustainable Irrigation in Water-Scarce Regions under the Impact of Climate Change. *Agronomy*. 2020, 10, 1120.
- Katsoulas, N.; Nikolaou, G.; Neocleous, D.; Kittas, C. Microclimate and cucumber crop transpiration in a greenhouse cooled by pad and fan system. *Acta Hortic.* 2020;(1271):235–240.
- Gallardo, M.; Thompson, R.B.; Fernández, M.D. Water requirements and irrigation management in Mediterranean greenhouses: The case of the southeast coast of Spain. In *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops; Plant Production and Protection Paper 217; FAO: Rome, Italy, 2013, pp.* 109–136.
- Perret, J.S.; Al-Ismaïl, A.M.; Sablani, S.S. Development of a Humidification-Dehumidification System in a Quonset Greenhouse for Sustainable Crop Production in Arid Regions. *Biosyst. Eng.* 2005;(91):349–359.
- Erialdo, D.O.; Antonio, F.B.; Calorine, M.B.; Fernando, B.L.; Eunice, M.D. Irrigation productivity and water-use efficiency in papaya crop under semi-arid conditions. *Afr. J. Agric. Res.* 2016;(11):4181–4188.
- Katsoulas, N.; Savvas, D.; Kitta, E.; Bartzanas, T.; Kittas, C. Extension and evaluation of a model for automatic drainage solution management in tomato crops grown in semi-closed hydroponic systems. *Comput. Electron. Agric.* 2015;(113):61–71.
- Markou, M.; Papadavid, G. Norm input - output data for the main crop and livestock enterprises of Cyprus. *Agric. Econ.* 2007;(46):0379–0827.
- Moller, M.; Tanny, J.; Li, Y.; Cohen, S. Measuring and predicting evapotranspiration in an insect-proof screenhouse. *Agric. For. Meteorol.* 2004;(127):35–51.
- Nikolaou, G.; Neocleous, D.; Katsoulas, N.; Kittas, C. Dynamic assessment of whitewash shading and evaporative cooling on the greenhouse microclimate and cucumber growth in a Mediterranean climate. *Ital. J. Agrometeorol.* 2018;(2):15–26.
- Leyva, R.; Constán-Aguilar, C.; Sánchez-Rodríguez, E.; Romero-Gámez, M.; Soriano, T. Cooling systems in screenhouses: Effect on microclimate, productivity and plant response in a tomato crop. *Biosyst. Eng.* 2014;(129):100–111.