

Оригинальная статья / Original article

https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-5-12
УДК: 634.75-02:631.589.2

О.Х. Синдаров^{1*}, Ш.Н. Ражаметов²,
С.Ш. Ражаметова³

¹Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» Республика Узбекистан

²Научно-исследовательский институт генетических ресурсов растений Республика Узбекистан

³Ташкентский аграрный университет Республика Узбекистан

*Автор для переписки:
obidjonsindarov@gmail.com

Вклад авторов: Синдаров О.Х.: методология, проведение исследований, концептуализация. Ражаметов Ш.Н.: проведение исследований, верификация данных, формальный анализ. О.Х. Синдаров, Ражаметов Ш.Н., Ражаметова С.Ш.: создание черновика рукописи и её редактирование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Синдаров О.Х., Ражаметов Ш.Н., Ражаметова С.Ш. Оценка эффективности использования РЕ- и РО-пленок в гидропонике для выращивания земляники: влияние освещенности на урожайность и качество ягод. *Овощи России*. 2026;(1):5-12. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-5-12>

Поступила в редакцию: 18.04.2025
Принята к печати: 11.12.2025
Опубликована: 16.03.2026

Obidjon Kh. Sindarov^{1*},
Sherzod N. Rajametov², Saodat Sh. Rajametova³

¹National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" Republic of Uzbekistan

²Research Institute of Plant Genetic Resources Republic of Uzbekistan

³Tashkent Agrarian University Republic of Uzbekistan

*Corresponding Author:
obidjonsindarov@gmail.com

Authors' Contribution: Sindarov O.Kh.: methodology, conceptualization, investigation. Rajametov Sh.N.: investigation, validation, formal analysis. Sindarov O.Kh., Rajametov Sh.N., Rajametova S.Sh.: writing – original draft, writing – review & editing.

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

For citations: Sindarov O.Kh., Rajametov Sh.N., Rajametova S.Sh. Evaluation of the effectiveness of using PE- and PO-films in hydroponics for strawberry cultivation: the impact of illumination on yield and berry quality. *Vegetable crops of Russia*. 2026;(1):5-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2026-1-5-12>

Received: 18.04.2025
Accepted for publication: 11.12.2025
Published: 16.03.2026

Оценка эффективности использования РЕ- и РО-пленок в гидропонике для выращивания земляники: влияние освещенности на урожайность и качество ягод

Check for updates



РЕЗЮМЕ

Актуальность. В сельском хозяйстве внедрение современных инновационных технологий для повышения производительности и качество продукции культур является актуальным. Основной целью данной работы была оценка эффективности использования полиэтиленовой (РЕ) и полиолефиновой (РО) плёнок в условиях гидропонного выращивания земляники, а также изучить влияние уровня освещенности на урожайность, качественные показатели ягод и экономическую целесообразность применения данных технологий.

Материал и методика. В эксперименте использовали сорта земляники *Fragaria × ananassa* Duch., такие как Seolhyang, Maehyang, Jukhyang, King's Berry, Keumstil, а также японский гибрид Yotsuboshi F₁ (красная земляника), которые возделывали в теплицах с использованием пленок из полиэтилена (РЕ) и полипропилена (РО), отличающихся по пропускной способности света.

Результаты. Проведенные исследования позволили установить влияние уровня освещенности на стебель, листья, поверхность листа, урожайность и качественные характеристики плодов различных сортов земляники. Во время выращивания пяти сортов и гибрида земляники, генетически значительно отличающихся друг от друга, было установлено, что пленка РЕ сохраняет температуру днем в среднем 22,5°C, а ночью -15,4°C, в то время как пленка РО сохраняет температуру 23,6°C днем и 17,3°C ночью. Из-за снижения уровня освещенности под пленкой РЕ урожайность уменьшилась до 5,0 т/га, тогда как пленка РО обеспечивала стабильный уровень освещенности и позволила получить дополнительный урожай в пределах от 3,3 до 5,0 т/га.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

земляника; пленка; РЕ; РО; дневная температура; ночная температура; pH; ягод; урожай; показатель Brix

Evaluation of the effectiveness of using PE- and PO-films in hydroponics for strawberry cultivation: the impact of illumination on yield and berry quality

ABSTRACT

Relevance. In agriculture, the adoption of modern innovative technologies aimed at increasing crop productivity and improving product quality is highly relevant. The main objective of this study was to evaluate the efficiency of using polyethylene (PE) and polyolefin (PO) films under hydroponic strawberry cultivation conditions, as well as to examine the effect of light intensity on yield, berry quality parameters, and the economic feasibility of applying these technologies.

Methodology. The experiment used strawberry varieties *Fragaria × ananassa* Duch., such as Seolhyang, Maehyang, Jukhyang, King's Berry, Keumstil, as well as the Japanese hybrid Yotsuboshi F₁ (red strawberry), grown in greenhouses with the use of polyethylene (PE) and polypropylene (PO) films, which differ in their light transmission capacity.

Results. The conducted studies made it possible to determine the effect of light intensity on stem development, leaf growth, leaf surface area, yield, and fruit quality characteristics of different strawberry varieties. During the cultivation of five strawberry varieties and hybrids that were genetically significantly different from each other, it was established that PE film maintained an average daytime temperature of 22.5°C and a nighttime temperature of 15.4°C, whereas PO film maintained temperatures of 23.6°C during the day and 17.3°C at night. Due to the reduced level of light transmission under PE film, yield decreased by up to 5.0 t/ha, while PO film ensured a stable light regime and made it possible to obtain an additional yield ranging from 3.3 to 5.0 t/ha.

KEYWORDS:

strawberry, film, PE, PO, daytime temperature, nighttime temperature, pH, berry, yield, Brix index

Введение

В связи с непрерывным ростом мирового населения возникает необходимость увеличения производства продовольствия. Однако этот процесс требует большего использования энергетических, водных и земельных ресурсов, что может угрожать экологической устойчивости нашей планеты. С целью решения этих проблем Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН [1] рекомендует внедрение современных и экологически устойчивых методов, таких как аквапоника, гидропоника и аэропоника. Эти системы земледелия без почвы способствуют увеличению объемов производства продовольствия за счет эффективного использования ресурсов, одновременно уменьшая негативное воздействие на окружающую среду.

Подобно гидропонике, аквапоника использует инертные субстраты для поддержания растений. В то же время, система снабжается сточными водами от рыбных прудов, содержащими высокое количество питательных веществ, которые можно фильтровать и использовать для орошения растений [2, 3]. В свою очередь, растения могут помогать фильтровать нитраты из воды, возвращая её обратно в рыбные пруды [4].

Аэропоника с некоторыми модификациями использует подход, схожий с гидропоникой. Вместо того чтобы корни погружались в воду, как в гидропонике, они подвешиваются в воздухе и подвергаются воздействию туманной среды. Таким образом, аэропоника может экономить до 90% растворов для орошения по сравнению с гидропонной системой [5, 6].

Для выращивания плодоовощных культур с длительным вегетационным периодом, таких как земляника садовая (*Fragaria × ananassa*), огурец (*Cucumis sativus*), сладкий перец (*Capsicum annuum*) и томат (*Solanum lycopersicum*), рекомендуется использование агрегированных (интегрированных) систем выращивания культур [7].

Повышение температуры ускоряет процесс цветения и поддерживает его до наступления оптимальных условий. Однако при снижении температуры ниже определённого порогового значения процесс цветения замедляется и, в конечном итоге, полностью прекращается при дальнейшем понижении температуры в помещении [8].

В конце периода роста стрессирование растений является стандартной практикой для всех цветущих растений. Эти стрессы моделируются для имитации природных условий дикого мира, таких как засуха, снижение температуры и дефицит азота. Рассчитывая скорость роста салата, определили следующие оптимальные температурные диапазоны: для фотосинтеза – 20...25°C, для дыхания – 30...35°C, для производства сухого вещества – 16...17°C [9].

В теплицах часто используют системы освещения на основе LED, которые по сравнению с традиционными лампами с высоким давлением натрия, излучают гораздо меньше инфракрасного излучения и считаются более энергоэффективными. Таким образом, LED-технология помогает поддерживать растения в оптимальных температурных условиях [10].

Таким образом, в настоящем исследовании особое внимание было уделено методу гидропонного выращивания сортов земляники. В ходе эксперимента проводили научные исследования, направленные на изучение влияния светово-

го режима на рост, развитие и урожайность земляники, а также на качество ягод при выращивании в условиях беспочвенной культуры с использованием полиэтиленовой (PE) и полиолефиновой (PO) плёнок. Полученные результаты позволили оценить влияние световых факторов на продуктивность растений и качественные показатели ягод.

Материалы и методы

Научные исследования сортов земляники в условиях теплицы проводили в соответствии со стандартами, изложенными в Руководстве по изучению овощных культур Корейской администрации сельскохозяйственного развития [11].

• Растительный материал и условия выращивания.

Настоящая научная работа была проведена на территории Республики Корея в период с 2016 по 2019 годы. В эксперименте использовались сорта земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.): Seolhyang, Maehyang, Jukhyang, King's Berry, Keumsil, а также японский гибрид Yotsuboshi F1 (красноплодный). Для опыта высаживали растения с 3-4 настоящими листьями и диаметром розетки 5-6 мм.

• Растения выращивали в двухрядных контейнерах размером 60×34×10 см (Hwaseong Industrial Co. Ltd., Окчхон, Республика Корея) в условиях теплицы с использованием полиэтиленовой (PE) и полиолефиновой (PO) плёнок. Каждый контейнер был заполнен специально подготовленным питательным субстратом на основе кокосового волокна (coir). В качестве корневой среды использовали два варианта: CO – чистый coir (Cocopeat Co. Ltd., Думмаласурия, Шри-Ланка) и MIX – смесь coir и перлита в соотношении 8:2.

• В полевых экспериментах посадку исследуемых сортов земляники проводили в следующие сроки: в сезоне 2016-2017 годов – 1 октября, в 2017-2018 годах – 5 октября, в 2018-2019 годах – 2 октября. Все растения высаживали полностью в течение одного дня, что обеспечивало однородность начальных условий эксперимента.

• Физические свойства среды (например, общая пористость, ёмкость специального контейнера с кокосовым субстратом, воздушные пустоты и плотность массы) и химические свойства (например, ЕС-выход электролитов и pH) измерялись методами, предложенными [12]. ЕС и pH также были измерены с помощью pH/ЕС измерителя (Enzo 8200M, GOnDO Electronic Co. Ltd., Тайпей, Тайвань), как описано [13].

• В течение эксперимента средняя температура и влажность измерялись с помощью регистратора данных (TR-74Ui, T&D Co. Ltd., Matsumoto, Япония), и были установлены значения 17 ± 5°C и 42 ± 5% соответственно.

• Минеральные удобрения и орошения для питания земляники поставлялись с использованием капельных систем, разработанный центром сельскохозяйственных исследований Гёсангнам-до (Республика Корея). Использовали макроэлементы: NO₃⁻ – 13,0, NH₄⁺ – 1,0, H₂PO₄⁻ – 4,0, K₂O⁺ – 6,0, Ca₂⁺ – 2,0, SO₄²⁻ 4,0; микроэлементы: Fe – 3,0, B – 0,5, Mn – 0,5, Zn – 0,2, Cu – 0,04, Mo – 0,04 мг/л. В составе воды используемый для орошения растений землянике отмечено содержание Ca₂⁺ – 0,90, Mg₂⁺ – 0,49, SO₄²⁻ – 0,31 и HCO₃⁻ – 0,60 мг/л. K⁺, NH₄⁺, NO₃⁻ и H₂PO₄⁻ в воде не обнаружены. Для

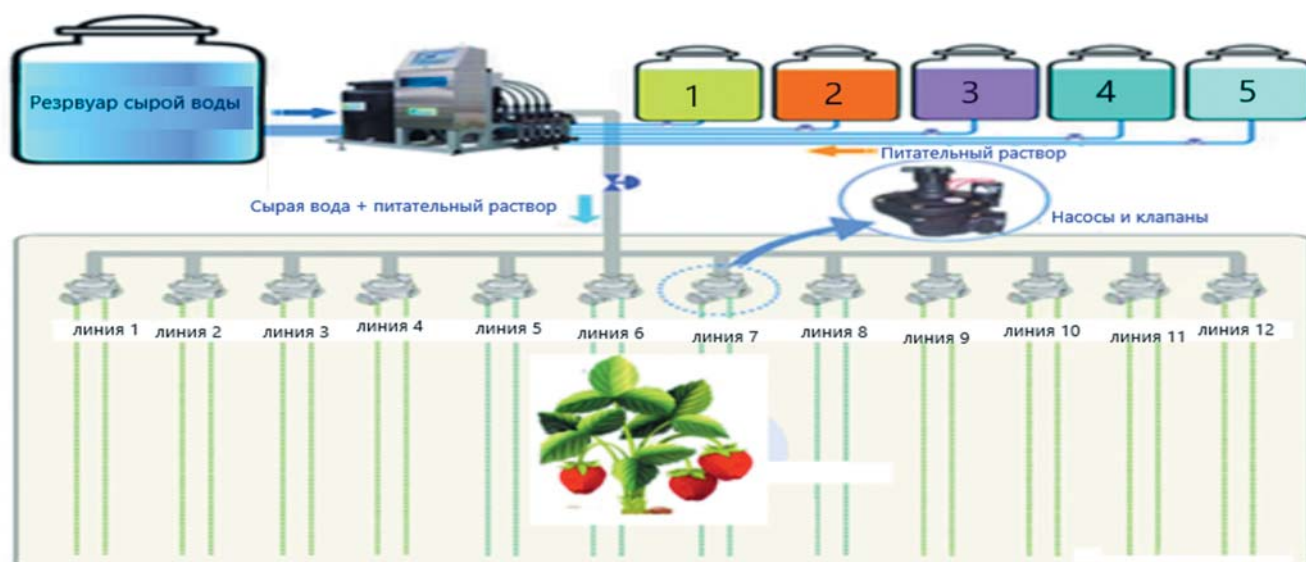


Рис. 1. Система удобрения и орошения
Foto 1. System of fertigation and irrigation

стимуляции роста молодых корней в течение первой недели использовался раствор с электропроводностью (ЕС) 0,3 дС/м и рН 5,8, который подавался растениям четыре раза в день (по 200 мл на каждое растение, продолжительность подачи – 5 минут).

- Для измерения светопропускания пленки раз в год в начале и в конце сезона использовались измерители светопропускания (VTSYIQI Haze Meter Touch Screen Hazemeter Light Transmission Tester) для PO- и PE-пленок. Светопропускание PE- и PO-пленок было измерено в начале сезона 2016 года и в конце сезона 2019 года.

- В течение вегетационного периода уровень освещенности в теплице измеряли с использованием люксметра LI-1400 Light Meter (LI-COR Inc., Линкольн, Небраска, США). Прибор LI-1400 предназначен для количественной оценки освещенности и функционирует на основе фотоэлектрического принципа измерения светового потока.

- Время работы системы туманообразования зависит от температуры, влажности и потребностей растений, и может варьироваться от 6 до 12 часов в день. Например, для 1 гектара (10,000 м²) площадью система туманообразования потребляет в среднем 0,1–0,2 л воды в час на 1 м². Если система туманообразования расходует 0,15 л воды на 1 м² в час и работает 8 часов в день, то расчет водопотребления следующий:

- ▶ Суточный расход воды: 0,15 л/час × 8 часов/день = 1,2 л/день на 1 м².
- ▶ Для 1 га: 1,2 л/день × 10,000 м² = 12,000 л/день или 12 м³.
- ▶ Для 1 месяца: 12 м³/день × 30 дней = 360 м³/месяц.
- ▶ За 7 месяцев на 1 га землянки потребуется: 360 м³/месяц × 7 месяцев = 2,520 м³ воды.

Таким образом, за 7 месяцев работы системы туманообразования на 1 га землянки расходуются примерно 2,520 м³ воды. Этот расчет основан на том, что система работает в среднем 8 часов в день и расходует 0,15 л/час на 1 м². Если время работы системы или расход воды изменится, результаты могут отличаться.

- Система капельного орошения оснащена специальным механизмом, который обеспечивает равномерное распределение воды для каждого растения. Для выращивания земляники на 1 гектаре в теплице ежедневно требуется 5,0 т воды.

- Для расчета общего объема воды нужно перевести это количество в кубометры (м³). Поскольку 1 т воды равна 1 м³, то 5 т воды в день составляют 5 м³ воды. Для вычисления общего объема воды за весь вегетационный период, который составляет 7 месяцев (210 дней), расчет будет следующим:

- ▶ За 1 месяц (30 дней) будет использовано 5 т воды в день, что составляет 5 м³ в день.
- ▶ За 210 дней (7 месяцев) общий объем воды составит: 210 дней × 8 м³ = 1680 м³ воды.

Таким образом, за 7 месяцев для выращивания земляники на 1 га потребуется 1680 м³ воды. Система капельного орошения должна обеспечивать равномерное распределение воды и питательных веществ для каждой части растения.

- Урожайность исследуемых сортов земляники оценивали в первые дни каждого месяца на основе морфо-фенологических наблюдений. Для проведения фенологических учётов в каждом варианте опыта отбирали по 15 растений, на которых систематически осуществлялись наблюдения. Показатели урожайности определяли методом взвешивания собранной продукции на лабораторных весах.

- В для каждого варианта был определен показатель коэффициента Вrix, который показывает уровень растворимых сахара в ягодах, то есть количество растворимых твердых веществ (в основном сахара) в плодах.

Статистический анализ. Показатель урожайности был определен методом обычного взвешивания собранных ягод в каждом варианте с учетом повторностей. Кроме того, биологический показатель урожая был рассчитан путем умножения общего числа растений на поле, количества плодов на одно растение и средней массы одного плода.

Результаты исследования

В ходе эксперимента изучали влияние различных типов пленок (РЕ и РО) на вегетативные и генеративные органы земляники. В тепличных условиях для оптимального роста, развития и урожайности растений ключевыми показателями являются уровни рН и ЕС, отражающие концентрацию растворённых питательных веществ и их доступность для растений.

Уровень рН питательного раствора или субстрата в воде поддерживали в оптимальном для земляники диапазоне 5,5–6,5, что обеспечивает эффективное усвоение макро- и микроэлементов растениями. ЕС, отражающая концентрацию растворённых солей и питательных веществ в растворе, регулировали в пределах 0,8–1,5 мС/см, рекомендованных для выращивания земляники. Поддержание указанных парамет-

ров способствовало созданию оптимальных условий для роста, развития и формирования урожая, что было учтено при интерпретации полученных экспериментальных результатов.

В первый год эксперимента было исследовано влияние пропускания света полиэтиленовых и полиолефиновых пленок. Эти пленки использовались как новые покрытия для теплиц. Пленки были одинаковой толщины – 0,15 мм. Исследовали такие показатели, как рН среды, относительная влажность воздуха, температура (дневная и ночная) и ЕС в субстрате, которые были измерены в период с 2016 по 2018 годы.

Полученные данные показали, что под полиэтиленовой пленкой уровень рН в субстрате в среднем составил 5,5, относительная влажность воздуха – 72,5%, дневная температура – 22,5°C, ночная температура – 15,4°C, а уровень ЕС соста-

Таблица 1. Автоматический контроль параметров выращивания земляники в условиях теплицы
Table 1. Automatic monitoring of strawberry cultivation parameters under greenhouse conditions

№	Характеристики, соответствующие агротехническим требованиям теплицы	2016-2017	2017-2018	2018-2019	Среднее
Полиэтиленовая пленка (РЕ)					
1.	рН среды	6,0	5,5	5,5	5,5
2.	Относительная влажность воздуха, %	72,4	71,7	73,5	72,5
3.	Температура, °С Дневная: Ночная:	21,7 14,7	22,6 15,3	22,5 16,2	22,6 15,4
4.	ЕС (электропроводность), измеренная в полевых условиях, мС/см	1,4	1,3	1,5	1,4
Полиолефиновая пленка (РО)					
5.	рН среды	5,5	6,0	5,5	5,5
6.	Относительная влажность воздуха, %	73,2	72,7	72,6	72,8
7.	Температура, °С Дневная: Ночная:	22,5 16,9	23,6 17,8	23,6 17,2	23,6 17,3
8.	ЕС (электропроводность), измеренная в полевых условиях, мС/см	1,5	1,4	1,7	1,5

Таблица 2. Мониторинг температурных показателей в течение вегетационного периода земляники в тепличных условиях
Table 2. Monitoring of temperature parameters during the strawberry growing (vegetation) period under greenhouse conditions

№	Температурный показатель, °С	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Среднее
Полиэтиленовая пленка (РЕ) 2016-2017									
1.	Дневная:	23,2	22,0	20,6	20,1	20,8	22,0	23,2	21,7
2.	Ночная:	15,2	14,8	13,9	13,8	14,5	14,9	15,8	14,7
Полиолефиновая пленка (РО) 2016-2017									
3.	Дневная:	23,5	23,0	21,9	21,3	21,2	22,7	23,9	22,5
4.	Ночная:	17,6	16,9	16,0	15,7	16,9	17,3	17,9	16,9
Полиэтиленовая пленка (РЕ) 2017-2018									
5.	Дневная:	24,2	23,9	22,5	21,8	22,5	23,4	24,5	23,2
6.	Ночная:	15,8	15,1	14,6	14,3	15,0	15,4	16,7	15,3
Полиолефиновая пленка (РО) 2017-2018									
7.	Дневная:	25,5	25,3	23,9	23,3	23,6	24,7	25,9	24,6
8.	Ночная:	18,4	17,8	17,0	16,7	17,8	18,0	18,9	17,8
Полиэтиленовая пленка (РЕ) 2018-2019									
9.	Дневная:	24,5	22,9	21,8	20,6	22,7	22,2	23,7	22,6
10.	Ночная:	17,0	16,1	15,3	15,0	16,3	16,6	17,2	16,2
Полиолефиновая пленка (РО) 2018-2019									
11.	Дневная:	24,5	24,2	23,1	21,9	22,7	23,8	24,9	23,6
12.	Ночная:	18,2	17,3	16,4	16,2	17,0	17,4	18,1	17,2

вил 1,4 мС/см. Под полиолефиновой пленкой соответствующие показатели были следующими: рН – 5,5, влажность – 72,8%, дневная температура – 23,6°C, ночная температура – 17,3°C, ЕС – 1,5 мС/см (табл. 1 и рис. 2).

На основе данных (табл. 2) были сделаны следующие выводы о влиянии РЕ и РО-пленок на температуру в теплицах в разные годы.

В теплицах, покрытых РЕ, дневная температура была: 21,7...23,2°C (2016-2017 годы), 22,6...23,2°C (2017-2018 годы), 22,6°C (2018-2019 годы). Ночная температура соответственно составляла 14,7...15,8°C (2016-2017 годы), 15,3°C (2017-2018 годы), 16,2°C (2018-2019 годы).

В теплицах, покрытых полиэтиленовым покрытием (РО), дневная температура в течение вегетационного периода составляла 22,5...23,9°C в сезоне 2016-2017, 24,6°C – в сезоне 2017-2018, 23,6°C – в сезоне 2018-2019 годов. Ночная температура соответственно была 16,9°C, 17,8°C и 17,2°C.

Сравнивая погодные условия в осенние месяцы (октябрь–ноябрь), можно отметить снижение температуры воздуха и уменьшение солнечной освещенности, что делает особенно важной способность пленочного покрытия сохранять тепло. В теплицах с покрытием РО тепло сохраняется дольше, особенно ночью, когда температура воздуха оказывается на 2-3°C выше, что способствует сохранению осеннего урожая и повышению продуктивности поздней осенью. В теплицах с покрытием РЕ из-за быстрого ночного охлаждения скорость роста растений может замедляться.

Зимой (декабрь–февраль) температура воздуха достигает самых низких значений, и способность пленки сохранять тепло становится особенно важной. Зимой пленка РО удерживает температуру на 1,5-3°C выше, чем пленка РЕ, как днем, так и ночью. Наибольшее различие ощущается ночью, поскольку пленка РО удерживает тепло дольше. Ночью под пленкой РЕ температура составляет около 13...15°C, а под пленкой РО – около 16...18°C. Это различие особенно важно для растений в теплицах, особенно для таких чувствительных к холоду культур, как клубника и помидоры.

Весной (март–апрель), из-за увеличения солнечного света, температура в теплице повышается, однако ночами еще может быть заметный холод. В теплицах с РО-пленкой дневная температура на 1-2°C выше, а ночная – на 2-3°C. Поскольку ночью еще холодно, пленка РО защищает растения от замерзания. Стабильность температуры весной непосредственно влияет на урожайность.

Полученные данные показывают, что полиолефиновая

пленка более эффективно сохраняет тепло по сравнению с полиэтиленом, особенно в ночное время. Разница ночных температур составляет примерно 2-3°C, что является важным фактором, влияющим на рост и развитие растений. Стабильность температуры и повышение ночной температуры в теплицах способствуют увеличению урожайности, позволяют получать продукцию раньше и снижают потребление энергии за счёт сокращения затрат на отопление.

В таблице 3 проведён анализ изменения уровня освещённости в тепличных условиях в зависимости от года и сезона в течение периода вегетации земляники. Для глубокого научного анализа можно обратить внимание на следующие аспекты.

Значительное снижение уровня освещённости в период с 2016 по 2019 годы, особенно под РЕ-пленкой, вероятно связано с воздействием внешних факторов в начале сезона и особенностями структуры пленки.

Сравнительный анализ материалов показывает, что под РО-пленкой уровень освещённости оставался стабильно высоким, особенно в конце сезона, по сравнению с РЕ-пленкой. Это свидетельствует о более высокой светопропускной способности РО-пленки и её меньшей подверженности деградации с течением времени.

Анализ сезонных изменений показал, что наибольший уровень освещённости фиксируется весной, тогда как зимой он достигает минимальных значений, что обусловлено естественными колебаниями солнечной инсоляции в течение года.

Средний уровень освещённости под РЕ-пленкой снижался с 79,0% в 2016 году до 59,0% в 2019 году. В то же время РО-пленка сохраняла относительно стабильное светопропускание и демонстрировала высокие показатели, достигая 78,0% весной 2019 года.

Результаты данного исследования позволяют провести анализ различий в светопропускной способности РЕ и РО-пленок, а также их устойчивости к внешним факторам.

Сравнение уровней светопропускания показало, что РО-пленка сохраняла более высокие показатели освещённости по сравнению с РЕ-пленкой на протяжении всего времени. Это подтверждает лучшие оптические свойства РО-пленки и её меньшую подверженность разрушению с течением времени. Хотя РЕ-пленка изначально пропускала хороший уровень света, к 2019 году наблюдается заметное снижение. Это свидетельствует о её старении и помутнении под воздействием пыли или внешней среды.

С учетом изменений характеристик пленок с течением времени, РЕ-пленка потеряла в среднем 20,0% светопропускания

Таблица 3. Уровень освещённости в течение вегетационного периода земляники в тепличных условиях
Table 3. Light intensity levels during the strawberry growing (vegetation) period under greenhouse conditions

Сезоны	Полиэтиленовая пленка (РЕ)	Полиолефиновая пленка (РО)
Время в единицах света, %	8:00 AM	12:00AM
Начало сезона, 2016 год		
Осень	80,0	83,0
Зима	65,0	71,0
Весна	80,0	84,0
Конец сезона, 2019 год		
Осень	57,0	67,0
Зима	52,0	63,0
Весна	58,0	63,0

с 2016 по 2019 год. Особенно заметное снижение наблюдается зимой, где показатель упал с 66,3% до 54,7%. В отличие от РЕ-пленки, РО-пленка была значительно более стабильной, и снижение светопропускания с течением времени не превышало 4,0-5,0%.

По сезонному влиянию, весной и осенью уровень освещенности под обеими пленками был высоким, так как естественное освещение в окружающей среде также было больше.

Зимой же уровень освещенности во всех условиях был ниже, и различие между пленками было более заметным. Это подтверждает преимущество РО-пленки в пропускании света и создании комфортных условий в теплице.

Было установлено, что в тепличных условиях уровень урожайности земляники изменяется в зависимости от типа используемой пленки. Полученные данные свидетельствуют о наличии тесной взаимосвязи между урожайностью земляники и условиями освещенности. В рамках исследования были проанализированы средние показатели урожайности за период 2016-2019 годов.

Тип используемой пленки в теплице оказывала влияние на урожайность, что во многом было связано с изменением уровня освещенности. Согласно данным, приведённым в таблице 3, с 2016 по 2019 год уровень освещенности под РЕ-пленкой снизился с 79% до 59%. Результаты таблицы 4 демонстрируют соответствующее снижение урожайности. Так, у сорта «Seolhyang» в сезоне 2016-2017 годов получен урожай 34,4 т/га, а в сезоне 2018-2019 годов этот показатель снизился до 22,7 т/га. Эти данные позволяют предположить, что снижение уровня освещенности замедляет процесс фотосинтеза, что, в свою очередь, негативно сказывается на формировании урожая.

Полиолефиновая пленка эффективно пропускала свет и способствовала повышению урожайности. Светопропускаемость под РО-пленкой была выше по сравнению с РЕ-пленкой и весной 2019 года оставалась на уровне около 78,0%. В результате сорта земляники, выращенные под РО-пленкой, демонстриро-

вали более высокую продуктивность по сравнению с растениями, выращенными под РЕ-пленкой. Так, сорт Seolhyang под РО-пленкой средняя урожайность составила 34,3 т/га, что на 5,0 т/га превышало урожайность при использовании РЕ-пленки.

Более высокая стабильная урожайность земляники была отмечена при возделывании под РО-пленкой по сравнению с растениями РЕ-пленкой. В условиях РО-пленки показатель урожайности оставалась относительно стабильной каждый год. Например, у сорта King's Berry в сезоне 2018-2019 годов было получено 24,8 т/га урожая при возделывании под РЕ-пленкой и 34,6 т/га под РО-пленкой, что на 4,5 т/га больше. Эти данные подтверждают, что РО-пленка сохраняет высокую светопропускаемость и создаёт благоприятные условия для фотосинтеза.

Полученные данные подтверждают прямую зависимость между уровнем освещенности и фотосинтезом растений. Количество света оказывает непосредственное влияние на процесс фотосинтеза: при снижении уровня освещенности уменьшается синтез хлорофилла, что замедляет фотосинтетическую активность. Снижение фотосинтеза ведёт к уменьшению продукции органических веществ и, как следствие, к снижению урожайности. Так как РО-пленка пропускает больше света, интенсивность фотосинтеза поддерживается на высоком уровне, что обеспечивает сохранение высокой урожайности.

Исследование показало, что пленка из полипропилена обеспечивает более высокое светопропускание по сравнению с полиэтиленовой пленкой, что приводит к существенному увеличению урожайности. В период с 2016 по 2019 годы урожайность под РЕ-пленкой значительно снизилась: например, у сорта Seolhyang снизился с 34,4 т/га до 22,7 т/га, тогда как под РО-пленкой показатели оставались относительно стабильными и варьировали от 36,5 т/га до 32,1 т/га.

В целом использование РО-пленки обеспечивало дополнительный урожай в пределах 3,3–5,0 т/га. Снижение светового потока под РЕ-пленкой вероятно ограничивает фотосинтези-

Таблица 4. Влияние уровня освещенности на урожайность сортов земляники (средние значения за 2016–2019 годы)
Table 4. Effect of light intensity on the yield of strawberry cultivars (average values for 2016–2019)

№	Сорта	2016-2017 (т/га)	2017-2018 (т/га)	2018-2019 (т/га)	Средняя урожайность (т/га)	Дополнительный урожай по сравнению с РЕ (т/га)
Полиэтиленовая пленка (РЕ)						
1.	Seolhyang	34,4	30,9	22,7	29,3	-
2.	Maehyang	33,5	28,7	21,9	28,0	-
3.	Jukhyang	31,8	26,8	18,8	25,8	-
4.	Keumsil	32,8	28,0	20,2	27,0	-
5.	King's Berry	37,7	33,6	24,8	32,0	-
6.	Yotsuboshi F ₁	35,5	31,7	24,8	30,7	-
Полиолефиновая пленка (РО)						
7.	Seolhyang	36,5	34,2	32,1	34,3	+5,0
8.	Maehyang	34,7	31,8	28,3	31,6	+3,6
9.	Jukhyang	32,1	29,9	26,4	29,5	+3,7
10.	Keumsil	33,0	30,7	27,2	30,3	+3,3
11.	King's Berry	38,2	36,7	34,6	36,5	+4,5
12.	Yotsuboshi F ₁	36,3	34,2	33,4	34,6	+3,9

Таблица 5. Физико-химические показатели различных сортов земляники (2016-2017 годы)
Table 5. Physicochemical parameters of different strawberry cultivars (2016-2017)

№	Сорта	Средняя длина плода, см	Средняя ширина плода, см	Средний вес плода, г	Т.С.С (Brix)	Титрованная кислота, %	Содержание воды, %
Полиэтиленовая пленка (PE)							
1.	Seolhyang	4,7	3,6	22,1	11,6	0,72	88,0
2.	Maehyang	4,2	3,2	21,1	11,8	0,65	86,0
3.	Jukhyang	4,6	3,2	19,5	12,1	0,64	88,7
4.	Keumasil	4,6	3,4	20,7	11,2	0,65	86,3
5.	King's Berry	4,7	4,2	26,5	11,4	0,71	89,1
6.	Yotsuboshi F1	4,3	3,0	22,0	11,7	0,65	87,6
Полиолефиновая пленка (PO)							
7.	Seolhyang	4,8	3,6	22,8	11,9	0,72	88,1
8.	Maehyang	4,4	3,3	22,0	12,0	0,66	86,1
9.	Jukhyang	4,6	3,3	19,9	12,2	0,64	88,9
10.	Keumasil	4,8	3,5	21,2	11,4	0,71	89,2
11.	King's Berry	4,8	4,4	26,9	11,9	0,72	87,7
12.	Yotsuboshi F ₁	4,3	3,1	22,5	11,9	0,66	87,8

ческую активность, что приводит к уменьшению продукции органических веществ и снижению урожайности. Эти результаты свидетельствуют о том, что РО-пленка является предпочтительным покрытием для повышения урожайности и обеспечения долгосрочной стабильности производства земляники в защищённом грунте.

Анализируя результаты исследования физико-химических характеристик различных плодов (длина, ширина, масса, содержание сахара (Brix), титруемая кислотность и содержание воды) в зависимости от типа пленки (PE и PO) для земляники в сезоне 2016–2017 годов, можно отметить, что снижение уровня освещённости существенно влияло на органолептические показатели ягод.

Результаты, представленные в таблице 5, показывают, что высокий уровень освещённости оказывает значительное влияние не только на урожайность, но и на качество плодов. Под РО-пленкой уровень освещённости был выше, что положительно сказывалось на размерах, массе и химическом составе ягод.

Что касается размеров и массы ягод, земляника, выращенная под РО-пленкой, была несколько крупнее: средняя длина плода составляла 4,8 см, а ширина – 3,6-4,4 см. В то время как плоды, выращенные под PE-пленкой, имели длину 4,2-4,7 см и ширину 3,0-4,2 см, и в некоторых случаях уступали по размеру плодам, выращенным под РО-пленкой. Достаточный уровень освещённости способствовал увеличению размера и массы ягод, что особенно заметно у растений под РО-пленкой.

Что касается массы плодов, под РО-пленкой средняя масса составляла от 22,8 до 26,9 г, тогда как под PE-пленкой – масса колебалась от 19,5 до 26,5 г. Наибольшие плоды были получены под РО-пленкой и достигали 26,9 г, в то время как максимальная масса плодов под PE-пленкой составляла 26,5 г. Это связано с тем, что более высокий уровень освещённости стимулирует фотосинтетическую активность растений, что способствует увеличению массы плодов.

Содержание растворимых сухих веществ (Т.С.С.) в ягодах под PE-пленкой колебалось от 11,2 до 12,1 °Brix, а под РО-пленкой – от 11,4 до 12,2 °Brix, что свидетельствует о незначительном повышении сладости плодов под РО-пленкой. Разница в показателях не является статистически значимой и не существенная. Содержание титруемой кислоты в обеих группах было практически одинаковым.

Аналогичная картина отмечено при анализе содержания воды, где в плодах, выращенных под PE-пленкой, оно составляло 86,0-89,1%, а под РО-пленкой – 86,1-89,2%.

Земляника, выращенная под РО-пленкой, характеризовалась большими размерами, большей массой, повышенным содержанием сахара и более высоким уровнем воды. В то время как недостаток освещённости под PE-пленкой приводил к уменьшению размера и сладости плодов. Следовательно, для получения плодов высокого качества предпочтительно использовать РО-пленку, обеспечивающую оптимальный уровень освещённости.

Обсуждение

Как известно, с течением времени физико-химические и оптические характеристики пленок могут изменяться. Согласно полученным данным, в период с 2016 по 2019 годы светопропускание PE-пленки снизилось в среднем на 20%. В зимний период этот показатель уменьшился с 66,3% до 54,7%. В то же время РО-пленка продемонстрировала гораздо большую стабильность: снижение светопропускания за этот период не превышало 4–5%. В весенний и осенний сезоны уровень освещённости под обеими пленками оставался высоким, что объясняется более высокой естественной инсоляцией.

Влияние уровня освещённости на урожайность и качество земляники можно рассматривать с научной точки зрения. Недостаток света приводил к снижению урожайности, уменьшению размеров плодов и снижению их сладости, особенно под PE-пленкой, где этот эффект проявлялся наиболее выраженно.

Эти результаты подтверждают прямую зависимость между светопропусканием покрытия и физиологической активностью растений, включая фотосинтез и синтез органических веществ, которые определяют продуктивность и качество плодов.

Под РО-пленкой урожайность увеличивалась в среднем на 3,3-5,0 т/га, что свидетельствует о том, что РО-пленка эффективно сохраняет уровень освещённости и обеспечивает оптимальную фотосинтетическую активность растений. В то же время под РЕ-пленкой снижение освещённости ограничивало фотосинтез, что замедляло рост растений земляники и уменьшало их продуктивность.

Длина, ширина и масса плодов под РО-пленкой были выше, что связано с оптимальной инсоляцией и эффективной трансфера света к фотосинтетически активным тканям. Уровень растворимых сухих веществ (T.S.S.) под РО-пленкой был несколько выше (до 12,2 °Brix), что отражает повышение синтеза сахаров при увеличении светового потока. Содержание воды в плодах под РО-пленкой также было незначительно выше, что способствовало повышению их сочности.

При достаточном уровне освещённости фотосинтез у растений активен на максимальном уровне, что обеспечивает синтез большего количества органических веществ и, как следствие, увеличение урожайности [14, 15]. Благодаря высокой светопропускной способности РО-пленки растения получают достаточную энергию для поддержания высокой продуктивности.

Уровень растворимых сухих веществ (T.S.S.) и сладость ягод у сортов земляники напрямую связаны с интенсивностью фотосинтеза. Под РО-пленкой наблюдается более высокий

синтез сахаров, что делает землянику слаще.

Анализ водного баланса показывает, что при оптимальной освещённости регулируется работа устьиц, стабилизируется транспирация, и ягоды накапливают больше воды. Под РО-пленкой это способствует повышению сочности ягод и улучшению их сохранности.

Заключение

Проведённые исследования подтвердили ключевую роль уровня освещённости в формировании урожайности и качественных показателей земляники при гидропонном выращивании. Установлено, что в 2016-2019 годах снижение светопропускания под РЕ-пленкой сопровождалось уменьшением урожайности в среднем на 5,0 т/га. В то же время применение РО-пленки обеспечивало более стабильный световой режим, что способствовало повышению урожайности на 3,3-5,0 т/га по сравнению с РЕ-пленкой.

Кроме того, под РО-пленкой формировались более крупные ягоды с большей средней массой. Достаточный уровень освещённости активизировал фотосинтетическую деятельность растений, усиливая синтез органических веществ и положительно влияя на продуктивность насаждений.

В целом, результаты исследования показывают, что использование РО-пленки в гидропонных системах выращивания земляники является более эффективным с точки зрения урожайности и качества ягод и может быть рекомендовано для практического применения в условиях интенсивного производства.

Литература / References

1. FAO. Information and communication technology (ICT) in agriculture: a report to the G20 agricultural deputies. FAO, Rome. 2017.
2. Diver S., Rinehart L. Aquaponics—Integration of hydroponics and aquaculture. Appropriate technology transfer for rural areas: Horticulture systems guide 27 Oct. 2010. <http://attra.ncat.org/attra-pub/aquaponic.html>
3. Mohammed S. (Eds), Tomorrow's agriculture "NFT Hydroponic" - Grow within your budget, Springer Nature, Switzerland AG, 2018.
4. Al-Kodmany O. The Vertical City: A Sustainable Urban Form? *Journal of Urban Design*. 2018;23(2):176–194.
5. Al-Shrouf A. Hydroponics, Aeroponic and Aquaponic as Compared with Conventional Farming. 2017;27(1):247-255.
6. Birkby J. Vertical farming. ATTRA sustainable agriculture. NCAT IP516. 2016;(12).
7. Gómez C. et al. Controlled environment food production for urban agriculture. *Hort Sci*. 2019;(54):1448–1458. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14073-19>
8. Engler N., Krarti M. Review of energy efficiency in controlled environment agriculture. *Renew Sust Energy Rev*. 2021;141(2021):110786. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110786>
9. Graamans L., Baeza E., van den Dobbelen A., Tsafaras I., Stanghellini C. Plant factories versus greenhouses: comparison of

resource use efficiency. *Agric Syst*. 2018;(160):31–43. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.11.003>

10. Kozai T. Towards sustainable plant factories with artificial lighting (PFALs) for achieving SDGs. *Int J Agric Biol Eng*. 2019;(12):28–37. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191205.5177>
11. CNARE NSES, RDA. Nursery Techniques for Strawberry Forcing Culture; Wanju, Korea, 2020. p. 75.
12. Kim G.H., Jeong B.R. Hydroponic culture of a pot plant *Ficus benjamina* 'King' using mixtures of used rockwool slab particles and chestnut wood chips. *J. Korean Soc. Hortic. Sci*. 2003;(44):251-254.
13. Kim H.M., No K.O., Hwang S.J. Use of pellet of cube-type phenolic foam as an artificial medium for production of tomato plug seedlings. *Korean J. Hortic. Sci. Technol*. 2016;(34):414-423. <https://doi.org/10.12972/kjhst.20160042>
14. Rajametov S.N., Lee K., Jeong H.-B., Cho M.-C., Nam C.-W., Yang E.-Y. The Effect of Night Low Temperature on Agronomical Traits of Thirty-Nine Pepper Accessions (*Capsicum annuum* L.). *Agronomy*. 2021;(11)1986. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101986>
15. Lee K., Rajametov S.N., Jeong H.-B., Cho M.-C., Lee O.-J., Kim S.-G., Yang E.-Y., Chae W.-B. Comprehensive Understanding of Selecting Traits for Heat Tolerance during Vegetative and Reproductive Growth Stages in Tomato. *Agronomy*. 2022;(12):834. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040834>

Об авторах:

Обиджон Холдарович Синдаров – кандидат с.-х. наук, доцент, автор для переписки, <https://orcid.org/0009-0005-3508-2215>, obidjonsindarov@gmail.com

Шерзод Нигматуллаевич Ражаметов – кандидат с.-х. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0001-7055-9932>, sherzod_2004@list.ru

Саодат Шерзодовна Ражаметова – студентка Ташкентского аграрного университета

About the Authors:

Obidjon Kh. Sindarov – PhD (Agriculture), Associate Professor, Correspondence Author, <https://orcid.org/0009-0005-3508-2215>, obidjonsindarov@gmail.com

Sherzod N. Rajametov – PhD (Agriculture), Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-7055-9932>, sherzod_2004@list.ru

Saodat Sh. Rajametova – Student Tashkent state agrarian university