

Научная статья

УДК 631.589.2:635.5

EDN LRXHYH

<https://doi.org/10.22450/978-5-9642-0480-0-253-259>

**Оптимизация процессов производства листового салата «Айсберг»
с учетом искусственного освещения и гидропонной системы
в вертикальных фабриках растений**

Алексей Алексеевич Бессарабов¹, аспирант

Иван Васильевич Бумбар², доктор технических наук, профессор

^{1, 2} Дальневосточный государственный аграрный университет

Амурская область, Благовещенск, Россия

¹ bessarabov13@gmail.com, ² bumbariv@outlook.com

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы оптимизации производства листового салата сорта «Айсберг» в условиях вертикальных фабрик растений. Особое внимание уделено применению динамического светодиодного освещения для повышения биомассы растений и улучшения их качественных характеристик. Дан сравнительный анализ эффективности различных спектральных режимов, а также их влияния на фотосинтетическую активность.

Ключевые слова: гидропоника, светодиодное освещение, фотосинтез, вертикальные фермы, биомасса, динамическое освещение

Для цитирования: Бессарабов А. А., Бумбар И. В. Оптимизация процессов производства листового салата «Айсберг» с учетом искусственного освещения и гидропонной системы в вертикальных фабриках растений // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы всерос. науч.-практ. конф. (Благовещенск, 16–17 апреля 2025 г.). Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2025. С. 253–259.

Original article

**Optimization of Iceberg lettuce production processes, taking into account
artificial lighting and a hydroponic system in vertical plant factories**

Aleksei A. Bessarabov¹, Postgraduate Student

Ivan V. Bumbar², Doctor of Technical Sciences, Professor

^{1, 2} Far Eastern State Agrarian University, Amur region, Blagoveshchensk, Russia

¹ bessarabov13@gmail.com, ² bumbariv@outlook.com

Abstract. The article discusses the issues of optimizing the production of Iceberg lettuce in vertical plant factories. Special attention is paid to the use of dynamic

LED lighting to increase plant biomass and improve their quality characteristics. A comparative analysis of the effectiveness of various spectral modes, as well as their effect on photosynthetic activity, is given.

Keywords: hydroponics, LED lighting, photosynthesis, vertical farms, biomass, dynamic lighting

For citation: Bessarabov A. A., Bumbar I. V. Optimization of Iceberg lettuce production processes, taking into account artificial lighting and a hydroponic system in vertical plant factories. Proceedings from Agro-industrial complex: problems and prospects of development: *Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 253–259), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2025 (in Russ.).

Введение. В связи с ростом населения и урбанизацией увеличивается спрос на свежие овощи, в том числе листовой салат. Вертикальные фабрики растений на основе гидропонных систем с искусственным освещением позволяют повысить эффективность производства за счет точного контроля условий выращивания [1]. Одним из ключевых факторов, влияющих на рост растений, является освещение. Современные исследования подтверждают, что динамическое LED-освещение позволяет увеличить урожайность до 30 % за счет оптимизации спектрального состава и фотопериодизма [2, 3].

В статье впервые проводится комплексная оценка влияния динамического освещения на рост салата в промышленных гидропонных системах.

Гипотеза. *Применение динамического освещения с изменяющимися спектральными характеристиками в процессе роста салата «Айсберг» приведет к увеличению биомассы растений и улучшению их качественных характеристик при одновременном снижении энергозатрат.*

Цель исследований – оптимизировать процесс выращивания листового салата «Айсберг» с применением динамического светодиодного освещения в условиях гидропонной системы вертикальных фабрик растений. В соответствии с целью поставлены и решены следующие задачи:

1. Провести анализ влияния различных спектральных режимов освещения на рост и развитие салата «Айсберг».

2. Определить оптимальный режим освещения для повышения урожайности и снижения энергозатрат.

3. Провести эксперимент по выращиванию салата с разными режимами LED-освещения.

4. Выполнить оценку биомассы, содержания хлорофилла.

5. Провести сравнительный анализ энергопотребления различных режимов освещения.

Исследования в области светодиодного освещения растений активно развиваются. В работах [2, 4] показано, что использование красного и синего света в соотношении 3:1 увеличивает фотосинтетическую активность растений. В то же время исследования [3, 5] подтверждают эффективность динамического режима освещения, при котором растения получают разные спектральные комбинации на различных стадиях роста.

Непрерывное освещение увеличивает скорость фотосинтеза, однако может приводить к стрессу растений [6]. Также отмечается, что светодиодные источники обеспечивают наибольшую эффективность по сравнению с натриевыми лампами, позволяя гибко регулировать спектральные характеристики [7].

Методика исследований. Исследования проводились в вертикальных фабриках растений компаний «Тепличный» и «EcoFarm». В качестве объекта исследований выбран листовой салат «Айсберг».

Экспериментальная установка включала три группы растений:

Контрольная группа 1 (EcoFarm) – освещение 16 часов в сутки красно-синим спектром (660 нм/450 нм) в соотношении 3:1.

Экспериментальная группа – динамическое освещение с изменением соотношения спектров в течение суток (утром больше синего, днем красного, вечером добавление зеленого) (рис. 1).

Контрольная группа 2 (Тепличный) – использование белого широко-спектрального LED-освещения.



Рисунок 1 – Экспериментальный стеллаж с динамическим освещением

Параметры освещения: интенсивность – $250 \text{ мкмоль/м}^2/\text{с}$; фотопериод – 16 час; температура – $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$; относительная влажность – 70 %. Во всех группах использовались одинаковые семена и одинаковый питательный раствор.

Параметры оценки: биомасса растений (граммы); содержание хлорофилла (SPAD-значение); энергопотребление системы (кВт·час/сут).

Измерения биомассы проводились с использованием калиброванных весов, а содержание хлорофилла определялось специализированным прибором, предназначенным для анализа содержания хлорофилла в зеленой массе растений. Потребление электроэнергии фиксировалось индивидуальными опломбированными счетчиками электроэнергии, обеспечивающими точность и невозможность несанкционированного вмешательства. Полученные данные обрабатывались с использованием методов математической статистики.

Результаты исследований. Анализ данных показал, что динамическое освещение (экспериментальная группа) обеспечило прирост биомассы, который оказался на 26,48 % выше по сравнению с контрольной группой 1 (ЕcoFarm) и на 9,22 % с контрольной группой 2 (Тепличный) (табл. 1, рис. 2). Также наблюдалось снижение энергопотребления на 6,12 и 3,16 % соответственно.

Таблица 1 – Показатели роста салата «Айсберг» в каждой группе (по 10 растений)

Таблица 1. Показатели роста салата «Кнеберг» в каждой группе (по 10 растений)				
Группа	Номер растения	Энергопотребление, кВт·час/сут	Содержание хлорофилла, SPAD	Биомасса, г
Контрольная группа 1 (EcoFarm)	1	9,8	34,50	245,0
	2		35,10	252,0
	3		34,80	248,0
	4		35,50	255,0
	5		34,90	249,0
	6		35,20	251,0
	7		35,00	250,0
	8		35,30	253,0
	9		34,70	247,0
	10		35,00	250,0
Среднее			35,00	250,0
Экспериментальная группа	1	9,2	42,50	310,0
	2		43,00	320,0
	3		42,80	315,0
	4		43,20	318,0
	5		42,60	312,0
	6		43,10	319,0
	7		42,90	317,0
	8		43,30	321,0
	9		42,70	316,0
	10		42,60	314,0
Среднее			42,90	316,2
Контрольная группа 2 (Тепличный)	1	9,5	39,20	285,0
	2		39,40	288,0
	3		39,60	290,0
	4		39,30	287,0
	5		39,20	286,0
	6		39,50	289,0
	7		39,70	292,0
	8		39,80	293,0
	9		39,60	291,0
	10		39,90	294,0
Среднее			39,52	289,5

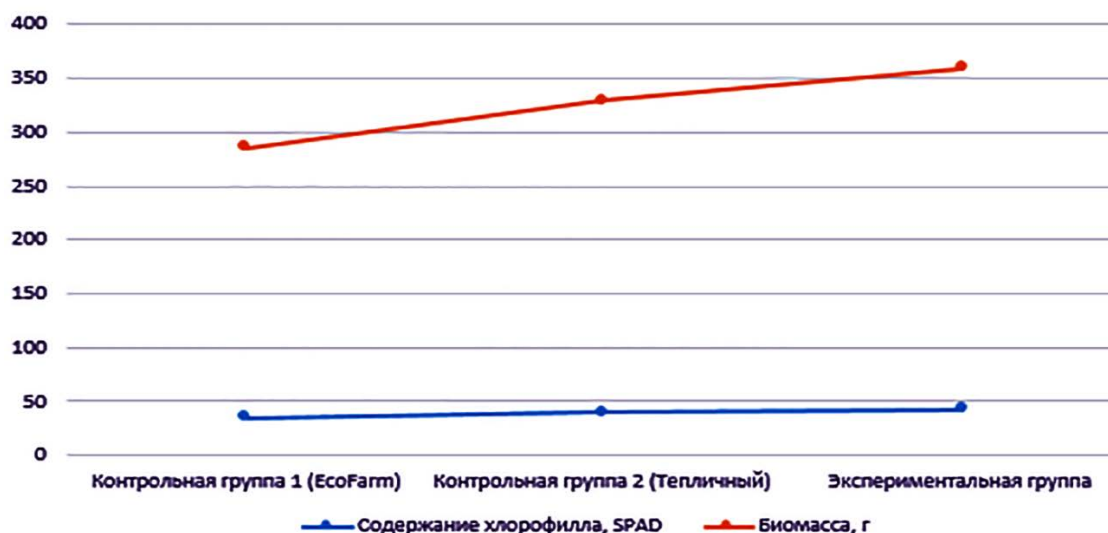


Рисунок 2 – График изменения биомассы салата и содержания в нем хлорофилла при различных режимах освещения

В результате исследований установлено, что применение динамического LED-освещения в гидропонных системах вертикальных ферм растений способствует: 1) увеличению биомассы салата «Айсберг» на 26 %; 2) повышению содержания хлорофилла и фотосинтетической активности; 3) снижению энергопотребления по сравнению с контрольными группами.

Закключение. *Результаты подтверждают перспективность внедрения динамических спектральных режимов освещения в промышленные гидропонные системы. Дальнейшие исследования могут быть направлены на анализ долгосрочного воздействия различных спектральных режимов и их влияния на вкусовые качества и питательную ценность продукции.*

Список источников

1. Бессарабов А. А. Вертикальные фабрики растений с искусственным освещением как перспективное направление развития российского агропроизводства и способ повышения продовольственной безопасности городов // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : материалы всерос. науч.-практ. конф. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2022. С. 10–20.

2. Кулешова Т. Э., Удалова О. Р., Балашова И. Т. Особенности влияния спектра излучения на продуктивность и биохимический состав тестовых плодовых и листовых овощных культур // Журнал технической физики.

2022. Т. 92. № 7. С. 1060–1068.

3. Zhang X. Optimization of LED spectra for plant growth // *Frontiers in Plant Science*. 2021. No. 10.

4. Gu M. Effects of different light spectra on plant morphology and photosynthesis // *Journal of Plant Research*. 2016. No. 2.

5. Chia P. L., Kubota C. Effects of continuous light on plant growth and development // *Environmental Control in Biology*. 2010. No. 7.

6. Протасова Н. Н. Светокультура как способ выявления потенциальной продуктивности растений // *Физиология растений*. 1987. Т. 34. Вып. 4. С. 51.

7. Тихомиров А. А., Шарупич В. П., Лисовский Г. М. Светокультура растений: биофизические и биотехнические основы. Новосибирск : Сибирское отделение РАН, 2000. 213 с.

References

1. Bessarabov A. A. Vertical plant factories with artificial lighting as a promising direction for the development of Russian agricultural production and a way to improve the food security of cities. Proceedings from Agro-industrial complex: problems and prospects of development: *Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 10–20), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2022 (in Russ.).

2. Kuleshova T. E., Udalova O. R., Balashova I. T. Peculiarities of the influence of the radiation spectrum on productivity and biochemical composition of test fruit and leafy vegetable crops. *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki*, 2022;92;7:1060–1068 (in Russ.).

3. Zhang X. Optimization of LED spectra for plant growth. *Frontiers in Plant Science*, 2021;10.

4. Gu M. Effects of different light spectra on plant morphology and photosynthesis. *Journal of Plant Research*, 2016;2.

5. Chia P. L., Kubota C. Effects of continuous light on plant growth and development. *Environmental Control in Biology*, 2010;7.

6. Protasova N. N. Light culture as a way to identify the potential productivity of plants. *Fiziologiya rastenii*, 1987;34;4:51 (in Russ.).

7. Tikhomirov A. A., Sharupich V. P., Lisovsky G. M. *Plant light culture: biophysical and biotechnical foundations*, Novosibirsk, Sibirskoe otделение RAN, 2000, 213 p. (in Russ.).

© Бессарабов А. А., Бумбар И. В., 2025

Статья поступила в редакцию 01.04.2025; одобрена после рецензирования 07.05.2025; принята к публикации 22.07.2025.

The article was submitted 01.04.2025; approved after reviewing 07.05.2025; accepted for publication 22.07.2025.