

УДК 581.1.03
УДК 581.14

Н. С. Зеленчукова, А. Е. Иванецкий, С. А. Агаева, В. Н. Тишкина

СИНТЕЗ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ, АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ В ЛИСТЯХ И ПРОДУКТИВНОСТЬ *LACTUCA SATIVA* L. ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ПОД ПОЛИМЕРНЫМИ ПЛЕНКАМИ

Изучена продуктивность *Lactuca sativa* L. сорта Лолла Росса при выращивании в защищенном грунте под флуоресцентной полиэтиленовой пленкой и полиэтилентерефталатными (лавсан) пленками. Изменение условий выращивания растений при помощи модифицированных полимерных пленок способствует ускоренному росту, развитию и увеличению продуктивности *L. sativa* относительно растений, выращенных под немодифицированной полиэтиленовой пленкой. Повышение продуктивности *L. sativa* сопряжено с увеличением количества аскорбиновой кислоты (АК) и изменением активности каталазы в листьях растений.

Ключевые слова: немодифицированная полиэтиленовая пленка, флуоресцентная пленка, лавсан, *Lactuca sativa* L., продуктивность, аскорбиновая кислота, каталаза.

ВВЕДЕНИЕ

Поскольку оптимальные интенсивность света и спектральный состав необходимы для благоприятного роста и развития растений, то большое внимание в области сельского хозяйства отводится разработке прозрачных укрывных материалов с улучшенными оптическими свойствами, с помощью которых изменяются неблагоприятные для растений условия внешней среды [1, 2]. В практике сельского хозяйства широкое применение нашли флуоресцентные пленки, люминесцирующие в видимой области спектра за счет поглощения УФ радиации введенными в их состав люминофорами [3–7].

Использование таких пленок позволяет увеличивать урожайность выращиваемых культур на 10–50 % в зависимости от видовой и сортовой принадлежности, сокращать сроки роста и созревания на 2–3 недели по сравнению с пленками других классов [8, 9]. Ускорение процессов жизнедеятельности растений и повышение урожайности при применении флуоресцентных пленок обусловлены изменением гормонального баланса растений [10, 11]. Не менее важную роль в морфогенезе растений играет аскорбиновая кислота (АК), которая принимает участие в важнейших энергетических процессах растительной клетки и участвует в передаче сигнала. Кроме того, синтез АК в растениях отражает их способность реагировать на воздействия окружающей среды, в том числе на изменение световых условий [12, 13].

Цель данной работы – установить влияние изменения светового режима выращивания *Lactuca sativa* L. на продуктивность, синтез аскорбиновой кислоты (АК) и активность каталазы в листьях растений при выращивании под флуоресцентной полиэтиленовой и полиэтилентерефталатной (лавсан) пленками.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Испытания проводились на агробиологической станции Томского государственного педагогического университета путем определения морфометрических и биохимических показателей растений, выращенных в сооружениях защищенного грунта, покрытых немодифицированной полиэтиленовой пленкой (ПЭВД, контроль), флуоресцентной полиэтиленовой пленкой (Л-50), трансформирующей часть УФ излучения в красную область спектра (максимум люминесценции 619 нм); полиэтилентерефталатной пленкой (лавсан) с высокой степенью прозрачности для излучения в области ФАР и полиэтилентерефталатной пленкой с низкоэмиссионным (теплосберегающим) покрытием (лавсан-ИК), отражающим до 90 % инфракрасного диапазона (5–25 мкм). Использованы культивационные сооружения арочного типа размером 1×1 м, высотой 0,6 м, в качестве грунта – смесь равных количеств чернозема, перегноя и торфа.

Фотофизические характеристики пленок рассчитаны по спектрам, полученным на спектрометре AvaSpec 2048 (Avantes, Нидерланды) (табл. 1).

Таблица 1

Некоторые фотофизические свойства полимерных пленок

Тип покрытия	Тип добавки	Толщина пленки, мкм	Интегральное светопропускание (380–710 нм), %	Интенсивность флуоресценции, мкВт/см ²
ПЭВД	–	120	90,60	–
ПЭВД	Люминофорфосфат-ванадат иттрия, активированный европием	120	78,00	134,7 ± 8,50
Лавсан	–	120	93,40	–
Лавсан	Низкоэмиссионное покрытие на основе Ag и Cu	120	75,00	–

Объектами исследований служили растения *Lactuca sativa* L. сорта Лолла Росса. Семена растений высевали в грунт и выращивали в течение 30 суток.

Площадь поверхности листьев *L. sativa* определяли бумажно-весовым методом. Сырую массу и массу сухого вещества растений определяли на аналитических весах с точностью 0,1 мг. Для определения массы сухого вещества растения высушивали до постоянного веса при температуре 103–105 °С.

Определение содержания фотосинтетических пигментов проводили на спектрометре AvaSpec-2048FT-2-SPU (Avantes, Нидерланды) в 100 %-х ацетоновых экстрактах растительного материала, рассчитывая по формулам Хольма [14].

Определение содержания АК в листьях *L. sativa* проводили методом титрования растительного экстракта щелочным раствором 2,6-дихлорфенолиндофенола (краска Тильманса) [15].

Активность каталазы в листьях *L. sativa* определяли титриметрическим методом. Растительный экстракт с добавлением 1 % H₂O₂ инкубировали в течение 15 мин при комнатной температуре. Реакцию останавливали добавлением 10 %-й серной кислоты H₂SO₄, а оставшуюся перекись, не разложенную ферментом, титровали 0,1 н раствором перманганата калия [16].

Измерения морфометрических параметров и биохимические исследования были выполнены на 30 растениях в 5 повторностях. Для статистической обработки экспериментальных результатов использовали программу Excel. Оценку достоверности результатов исследований проводили при 95 %-м уровне надежности (уровень значимости – 0,05). В таблицах и на рисунках приведены сред-

ние арифметические значения с двусторонним доверительным интервалом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали различные ростовые ответы растений в зависимости от используемой в качестве укрывного материала сооружений защищенного грунта пленки.

При выращивании *L. sativa* Лолла Росса под опытными пленками отметили ускоренное развитие опытных растений, что проявилось в увеличении морфометрических параметров (количество листьев, площади ассимилирующей поверхности, сырой и сухой биомассы) по сравнению с контролем (табл. 2).

При выращивании *L. sativa* сорта Лолла Росса под флуоресцентной пленкой отметили ускоренное развитие растений. Так, после 30 суток выращивания салата наблюдали увеличение количества листьев на 22 % по сравнению с контролем (рис. 1). В то же время отметили увеличение сырой массы на 36 % по сравнению с контролем, а массы сухого вещества – на 75 % (рис. 2, 3).

Увеличение продуктивности *L. sativa* под пленкой Л-50 было сопряжено с увеличением площади листьев на 31 % (табл. 2, рис. 4). Более интенсивное развитие растений под флуоресцентной пленкой можно объяснить увеличением доли красного света за счет введения в ее состав люминофора, трансформирующего часть УФ излучения в красную область спектра, так как красный свет стимулирует общее развитие растений, усиливает растяжение клеток листовой пластинки и накопление полисахаридной массы [17, 18].

При использовании лавсановой пленки в качестве укрывного материала для выращивания *L. sativa* Лолла Росса на 30-е сутки отметили увеличение

Таблица 2

Морфометрические параметры *L. sativa* при выращивании под полимерными пленками

Параметр	Тип пленки	Возраст растений, сутки			
		9	16	23	30
Количество листьев, шт.	ПЭВД	3,00 ± 0,00	5,40 ± 0,29	6,80 ± 0,24	6,40 ± 0,47
	Л-50	3,00 ± 0,00	5,00 ± 0,00	7,50 ± 0,26	8,80 ± 0,44
	Лавсан	3,00 ± 0,00	5,00 ± 0,00	6,80 ± 0,44	8,40 ± 0,88
	Лавсан-ИК	4,00 ± 0,00	5,00 ± 0,00	7,0 ± 0,00	7,6 ± 0,60
Сырая масса, г	ПЭВД	0,04 ± 0,003	0,36 ± 0,03	1,58 ± 0,22	4,51 ± 0,40
	Л-50	0,04 ± 0,001	0,34 ± 0,04	2,16 ± 0,41	7,28 ± 0,59
	Лавсан	0,03 ± 0,005	0,26 ± 0,04	1,41 ± 0,19	5,55 ± 0,25
	Лавсан-ИК	0,06 ± 0,006	0,52 ± 0,03	2,39 ± 0,35	7,51 ± 0,88
Сухая масса, г	ПЭВД	0,003 ± 0,00	0,2 ± 0,002	0,08 ± 0,01	0,19 ± 0,009
	Л-50	0,002 ± 0,001	0,02 ± 0,002	0,12 ± 0,03	0,40 ± 0,05
	Лавсан	0,002 ± 0,001	0,02 ± 0,001	0,07 ± 0,01	0,26 ± 0,01
	Лавсан-ИК	0,004 ± 0,00	0,03 ± 0,003	0,10 ± 0,02	0,34 ± 0,05
Площадь листьев, см ²	ПЭВД	1,29 ± 0,07	16,19 ± 1,26	62,59 ± 7,34	166,82 ± 10,24
	Л-50	1,15 ± 0,08	14,43 ± 1,64	81,85 ± 12,16	248,18 ± 16,50
	Лавсан	1,07 ± 0,17	13,10 ± 1,03	61,45 ± 6,31	198,73 ± 12,80
	Лавсан-ИК	2,87 ± 0,19	26,55 ± 1,33	96,32 ± 10,64	276,36 ± 22,95

количества листьев на 9,5 %, что было сопряжено с увеличением сырой и сухой массы по сравнению с контролем на 8 и 25 % соответственно (рис. 2, 3). Повышение продуктивности салата сопровождалось увеличением площади листьев на 5 % (рис. 2–4).

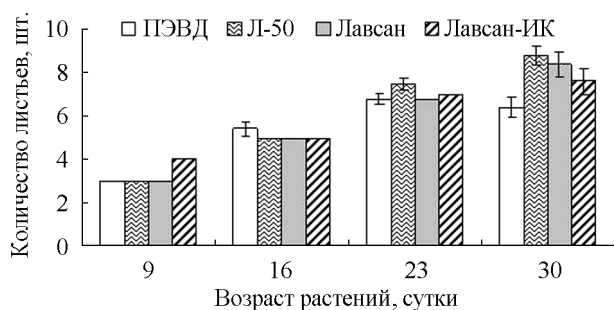


Рис. 1. Количество листьев *L. sativa* при выращивании под полимерными пленками

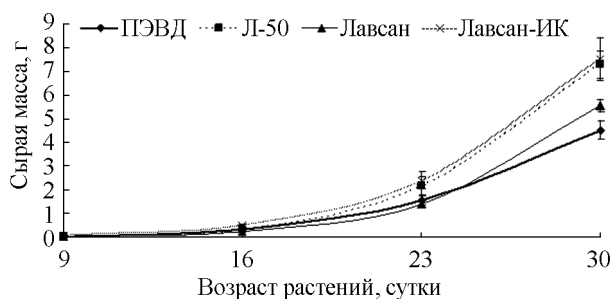


Рис. 2. Сырая масса *L. sativa* при выращивании под полимерными пленками

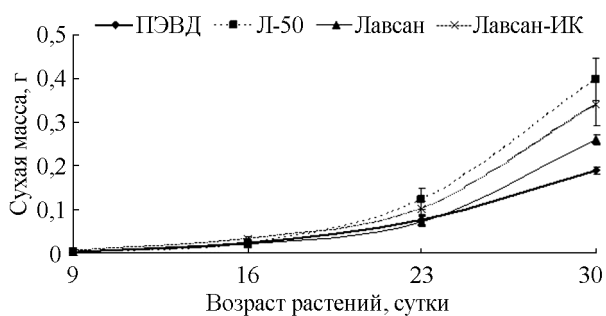


Рис. 3. Сухая масса *L. sativa* при выращивании под полимерными пленками

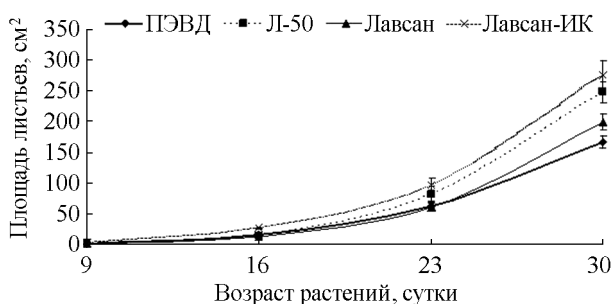


Рис. 4. Площадь листьев *L. sativa* при выращивании под полимерными пленками

Увеличение продуктивности салата под лавсановой пленкой вероятнее всего связано с повышением интенсивности излучения за счет большего пропускания ФАР лавсаном по сравнению с немодифицированной полиэтиленовой пленкой (см. табл. 1).

При выращивании *L. sativa* под лавсановой пленкой с ИК-покрытием наблюдали ускорение роста и развития по сравнению с немодифицированной полиэтиленовой пленкой. Увеличение количества листьев (на 33,3 %) по сравнению с контролем наблюдали только первые 10 суток выращивания, а в дальнейшем достоверных изменений не отмечали. Увеличение сырой и сухой массы салата под лавсановой пленкой с ИК-покрытием по сравнению с контролем составило 35 % и 46 % соответственно (рис. 2, 3). При этом увеличение продуктивности *L. sativa* было сопряжено с ростом листовой пластинки (табл. 2). Так, площадь ассимилирующей поверхности увеличилась на 43 % по сравнению с контролем (рис. 2–4). При этом увеличение площади листьев салата при выращивании под лавсановой пленкой с ИК-покрытием определяется увеличением размера листовой пластинки, а не количества листьев. Усиление роста и развития *L. sativa* под лавсаном с ИК-покрытием можно объяснить теплоудерживающими свойствами пленки, так как по сравнению с полиэтиленовой пленкой низкоэмиссионное покрытие на лавсановой пленке задерживает до 90 % теплового излучения, что способствует сохранению тепла внутри теплицы во время ночных перепадов температур.

Увеличение продуктивности *L. sativa* при выращивании под флуоресцентной пленкой, лавсаном и лавсаном с ИК-покрытием сопровождалось изменением содержания АК и каталазной активности в листьях растений по сравнению с немодифицированной полиэтиленовой пленкой. Во всех вариантах исследования отметили сходную динамику накопления АК. Максимальное содержание АК в листьях как опытных, так и контрольных растений было отмечено на 9-е сутки после посева, затем содержание аскорбиновой кислоты снижалось (рис. 5), что вероятнее всего обусловлено ее расходом на ростовые процессы [19]. При этом в листьях *L. sativa* под опытными пленками накапливается большее количество АК по сравнению с контролем. Так, в листьях 30-суточных растений салата при выращивании под флуоресцентной пленкой синтезировалось на 40 % больше АК по сравнению с контролем (рис. 5), что обусловлено активизацией синтеза АК красным светом, так как красный свет играет активную роль в стимуляции образования АК [11].

При выращивании *L. sativa* под лавсановой пленкой увеличение количества АК в листьях по сравнению с контролем отметили на 9, 23 и 30-е

сутки после посева на 18, 19 и 11 % соответственно (рис. 5). Усиление накопления АК в листьях салата под лавсановой пленкой по сравнению с немодифицированной полиэтиленовой пленкой связано с увеличением интенсивности излучения в области ФАР, так как известно, что увеличение интенсивности освещения приводит к активизации накопления АК в листьях растений [12].

Под лавсановой пленкой с ИК-покрытием в листьях 30-суточных растений *L. sativa* наблюдали усиление синтеза АК на 20 % по сравнению с контролем.

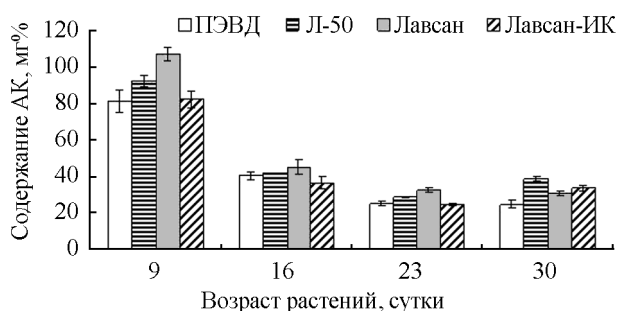


Рис. 5. Содержание АК в листьях *L. sativa* при выращивании под полимерными пленками

Результаты исследования динамики каталазы в листьях *L. sativa* Лолла Росса показали, что наибольшая активность каталазы приходится на 17-е сутки во всех вариантах исследования (рис. 6), что соответствует прегенеративному периоду развития, когда активность каталазы в листьях растений максимальна [20]. При выращивании салата под флуоресцентной пленкой наблюдали увеличение активности каталазы по сравнению с контролем на 13 % в возрасте 17 суток и на 62 % в возрасте 23 суток (рис. 6). Это свидетельствует о более интенсивном протекании обменных процессов у опытных растений. Увеличение активности каталазы в листьях растений первые три недели под пленкой Л-50 может быть обусловлено увеличением доли красного света. Из литературных данных известно, что активность каталазы зависит от спектрального состава света, а красный свет стимулирует активность этого фермента [21].

При выращивании салата с использованием лавсана в качестве укрывного материала наблюдали уменьшение активности каталазы в листьях растений на 5 % в возрасте 23 суток и на 52 % в возрасте 31 суток после посева. Это можно объяснить увеличением интенсивности освещения под лавсаном по сравнению с обычной полиэтиленовой пленкой, так как увеличение интенсивности освещения способствует снижению активности каталазы в листьях растений [22].

Под лавсановой пленкой с ИК-покрытием наблюдали уменьшение активности каталазы в ли-

стьях салата по сравнению с контролем на 29,6 % в возрасте 17 суток (рис. 6). Резкое снижение активности каталазы в этот период вероятнее всего обусловлено фотофизическими свойствами данного укрывного материала. Лавсановая пленка с низкоэмиссионным покрытием имеет более низкий уровень светопропускания по сравнению с контролем, а также способна задерживать тепло внутри теплицы. Это способствует снижению активности каталазы из-за действия повышенных температур. Среднедневная температура наружного воздуха в указанный период (на 17-е сутки) составила 28,5 °С [23], что способствовало снижению активности каталазы в листьях *L. sativa* под лавсаном с ИК-покрытием в начальный период. Затем наблюдали понижение среднедневной температуры на 1–2 °С, что в дальнейшем привело к повышению активности каталазы в листьях 23-суточных растений на 4,7 % (рис. 6).

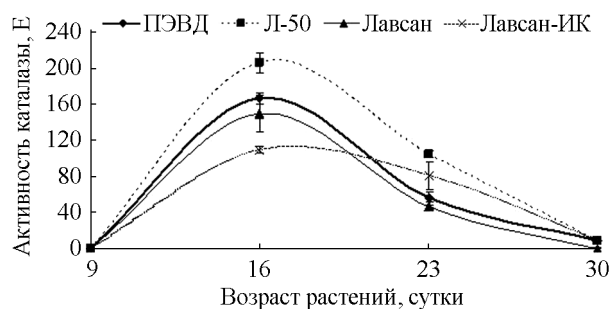


Рис. 6. Содержание каталазы в листьях *L. sativa* при выращивании под полимерными пленками

Таким образом, выращивание *L. sativa* под модифицированными полимерными пленками способствует увеличению продуктивности, накоплению АК и изменению активности каталазы в листьях. Под флуоресцентной пленкой продуктивность увеличивается на 36 % и сопровождается усилением синтеза АК на 40 % и увеличением активности каталазы в листьях до 62 %, что связано с увеличением доли красного света в общем потоке радиации. Использование лавсана в качестве укрывного материала при выращивании салата приводит к незначительному увеличению продуктивности (на 8 %), сопровождается усилением синтеза АК до 19 % и снижением активности каталазы до 52 %, что обусловлено увеличением интенсивности освещения за счет высокой светопрозрачности лавсана. Выращивание *L. sativa* под лавсановой пленкой с ИК-покрытием способствует повышению продуктивности до 35 % и сопровождается увеличением количества АК в листьях на 20 % и снижением активности каталазы на 29 %, что связано с теплоудерживающими свойствами ИК-покрытия на лавсановой пленке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование в качестве укрывного материала для сооружений защищенного грунта флуоресцентной пленки с максимумом люминесценции 619 нм, лавсановой пленки, а также лавсана с ИК-покрытием способствует повышению продуктивности *L. sativa* на 36, 8 и 35 % и количества АК в

листьях на 40, 19 и 20 %, соответственно. Повышение продуктивности *L. sativa* сопровождается увеличением активности каталазы в листьях до 62 % под флуоресцентной пленкой и уменьшением активности каталазы под лавсановой пленкой и лавсаном с ИК-покрытием на 52 и 29 % соответственно.

Список литературы

1. Brown R. P. Polymers in agriculture and horticulture // *Rapra Review Reports*. 2004. Vol. 15, № 2. P. 1–92.
2. Espi E., Salmeron A., Fontecha A., Garcia Y., Real A. I. Plastic films for agricultural applications // *Journal of Plastic Film and Sheeting*. 2006. Vol. 22. P. 85–122.
3. Минич А. С. Физико-химические свойства систем полиэтилен: люминофор на основе аддуктов редкоземельных элементов: дис. ... канд. хим. наук. Томск, 1995. 211 с.
4. Райда В. С., Толстиков Г. А. Проблемы и перспективы использования и применения фотолюминесцентных полимерных пленок // *Мир теплиц*. 2001. № 7. С. 62–64.
5. Карасев В. Е. Новые полимерные светотрансформирующие материалы для солнечной энергетики // *Вестн. Дальневосточ. отделения РАН*. 2002. № 3. С. 51–60.
6. Hemming S., Van Os E. A., Dieleman A., Hemming J., Swinkels G., Breuer J. and Slangen J. Possibilities of increasing production and quality of strawberry fruits and several flowers by new blue fluorescent greenhouse films // *Acta Hort*. 691, ISHS. 2005. P. 225–232.
7. Головацкая И. Ф., Райда В. С., Лещук Р. И., Карначук Р. А., Минич А. С., Большакова М. А., Приходько С. А. Физиолого-биохимические особенности роста и продуктивности овощных культур при выращивании под светокорректирующими пленками // *Сельскохозяйств. биология*. 2002. № 5. С. 47–51.
8. Zhang K., Yuan L., Xi M., Yu Y., Sun J. The application of lights-converted polyethylene film for agriculture // *Wuhan Univ. J. Natur. Sci*. 2000. Vol. 7, № 3. P. 365–367.
9. Минич А. С., Минич И. Б., Зеленчукова Н. С., Райда В. С. Особенности роста растений и продуктивность у гибрида огурца при выращивании под фотолюминесцентной и гидрофильной пленками // *Сельскохозяйств. биология*. 2010. № 1. С. 81–85.
10. Minich A. S., Minich I. B., SHajtarova O. V., Permyakova N. L., Zelenchukova N. S., Ivanitskij A. E., Filatov D. A., Ivlev G. A. Vital activity of *Lactuca sativa* and soil microorganisms under fluorescent films // *Tomsk State Pedagogical University Bulletin*. 2011. Issue. 8. P. 78–84.
11. Минич А. С., Минич И. Б., Зеленчукова Н. С., Карначук Р. А., Головацкая И. Ф., Ефимова М. В., Райда В. С. Роль красного люминесцентного излучения низкой интенсивности в регуляции морфогенеза и гормонального баланса *Arabidopsis thaliana* // *Физиология растений*. 2006. Т. 53, № 6. С. 863–868.
12. Чупахина Г. Н. Система аскорбиновой кислоты растений. Калининград: Калинингр. ун-т, 1997. 120 с.
13. Gallie D. R. L-Ascorbic acid: a multifunctional molecule supporting plant growth and development // *Scientifica*. Vol. 2013 (2013). 24 p.
14. Шлык А. А. Биосинтез хлорофилла и формирование фотосинтетических систем // *Теоретические основы фотосинтетической продуктивности*: сб. М.: Наука, 1972. 460 с.
15. Чупахина Г. Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений: практикум. Калининград: Изд-во КГУ, 2000. 59 с.
16. Филиппович Ю. Б., Егорова Т. А., Севастьянова Г. А. Практикум по общей биохимии: учеб. пособие для студентов хим. спец. пед. ин-тов / под общ. ред. Ю. Б. Филипповича. 2-е изд., перераб. М.: Просвещение, 1982. 311 с.
17. Кахнович Л. В. Фотосинтетический аппарат и световой режим. Минск: Изд-во БГУ, 1980. 142 с.
18. Карначук Р. А., Головацкая И. Ф. Гормональный статус, рост и фотосинтез растений, выращенных на свету разного спектрального состава // *Физиология растений*. 1998. Т. 45, № 6. С. 925–934.
19. Егоров А. Д. Витамин С и каротин в растительности Якутии М.: Изд-во АН СССР, 1954. 248 с.
20. Семенова Е. А. Оценка экологической приспособленности *Glycine max* (L.) Merr. и *Glycine soja* по энзиматической активности в онтогенезе: автореф. дис. ... канд. сельскохозяйств. наук. Изд-во ДальГАУ. 23 с.
21. Appleman D., Pyfrom H. T. Changes in catalase activity and other responses induced in plants by red and blue light // *Plant Physiol*. 1955. P. 543–549.
22. Hertwig B., Streb P., Feierabend I. Light dependence of catalase synthesis and degradation in leaves and the influence of interfering stress conditions // *Plant Physiol*. 1992. Vol. 100. P. 1547–1553.
23. URL : www.pogodavtomsk.ru

Зеленчукова Н. С., кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии растений и биохимии.

Томский государственный педагогический университет.

Ул. Киевская, 60, Томск, Россия, 634061.

E-mail: natazel@sibmail.com

Иваницкий А. Е., кандидат технических наук, доцент кафедры органической химии.

Томский государственный педагогический университет.

Ул. Киевская, 60, Томск, Россия, 634061.

E-mail: aleiv@tspu.edu.ru

Агаева С. А., студентка биолого-химического факультета.

Томский государственный педагогический университет.

ул. Киевская, 60, Томск, Россия, 634061.

Тишкина В. Н., студентка биолого-химического факультета.

Томский государственный педагогический университет.

Ул. Киевская, 60, Томск, Россия, 634061.

Материал поступил в редакцию 14.05.2013.

N. S. Zelenchukova, A. E. Ivanitsky, S. A. Agaeva, V. N. Tishkina

PRODUCTIVITY, ASCORBIC ACID SYNTHESIS AND CATALASE ACTIVITY IN *LACTUCA SATIVA* L. LEAVES UNDER PLASTIC FILMS

Productivity of *Lactuca sativa* L. Lolla Rossa in the conditions of protected cultivation under fluorescent polyethylene film and polyethylene terephthalate films (lavsan) was studied in the article. The change in the conditions of plants, growing with the use of modified polymer films, contributes to accelerated growth, development and productivity of *L. sativa* in relation to plants grown under unmodified polyethylene film. Increase of *L. sativa* productivity was attended with growth of ascorbic acid (AA) level and change in catalase activity in plant leaves.

Key words: *unmodified polyethylene film, fluorescent film, lavsan, Lactuca sativa L., productivity, ascorbic acid, catalase.*

Zelenchukova N. S.

Tomsk state pedagogical university.

Ul. Kievskaya, 60, Tomsk, Russia, 634061.

E-mail: natazel@sibmail.com

Ivanitsky A. E.

Tomsk state pedagogical university.

Ul. Kievskaya, 60, Tomsk, Russia, 634061.

E-mail: aleiv@tspu.edu.ru

Agaeva S. A.

Tomsk state pedagogical university.

Ul. Kievskaya, 60, Tomsk, Russia, 634061.

Tishkina V. N.

Tomsk state pedagogical university.

Ul. Kievskaya, 60, Tomsk, Russia, 634061.