

## Способ контроля продуктивности растения

**Александр Петрович Гришин,**  
доктор технических наук,  
главный научный сотрудник;  
**Андрей Александрович Гришин,**  
кандидат экономических наук,  
старший научный сотрудник;

**Наталья Александровна Семенова,**  
кандидат сельскохозяйственных наук,  
старший научный сотрудник,  
e-mail: 5145411@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** Показали, что управление продукционными процессами в растении в системе закрытых искусственных агроэкосистем – необходимое условие получения высоких урожаев. Важно контролировать интенсивность этих процессов в динамическом режиме. (*Цель исследования*) Разработать способ неразрушающего контроля роста продуктивности растений для создания алгоритмов управления продукционными процессами. (*Материалы и методы*) Изучили зависимость продуктивности растения от температуры листа. Определили прирост листовой массы растения с помощью цифровых весов, провели учет температуры листа и контрольного объекта пирометрическим термометром, измерили площадь листовой поверхности. (*Результаты и обсуждение*) Получили значения параметров растения и окружающей среды и, учитывая расход влаги на транспирационное охлаждение, установили значения прироста листовой массы салата (*Latuca sativa L.*), которые будут использованы в совокупности с другими измеренными параметрами растения и окружающей среды для управления лимитирующими факторами в закрытых искусственных агроэкосистемах. (*Выводы*) Разработали способ неразрушающего контроля роста продуктивности растений в климатических камерах на примере салата сорта Красный дуболистный. Определили, что прирост прирост зеленой массы имеет максимум, если масса охлаждающей воды при испарении равна 0,65 грамма, то есть растение стремится максимально использовать свободную энергию и определяющие ее продуктивные факторы. Рассчитанные по результатам эксперимента весовые значения (2,0 грамма) соответствуют данным, полученным в Омском государственном аграрном университете (1,9 грамма), с точностью 5 процентов. **Ключевые слова:** эксергия светового излучения, фотосинтез, транспирационное охлаждение, прирост листовой массы, салат, цифровые агротехнологии, продукционный процесс, закрытые искусственные агроэкосистемы.

■ **Для цитирования:** Гришин А.П., Гришин А.А., Семенова Н.А. Способ контроля продуктивности растения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №2. С. 69-74. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-69-74.

## Non-Destructive Testing of Growth Productivity

**Alexandr P. Grishin,**  
Dr.Sc.(Eng.), senior researcher;  
**Andrey A. Grishin,**  
Ph.D.(Econ.), chief researcher;

**Natalya A. Semenova,**  
Ph.D.(Agric.), senior researcher,  
e-mail: 5145411@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The necessary condition for obtaining high yields is the management of plant production processes in closed artificial agroecosystems. It is important to control the intensity of these processes in a dynamic mode. (*Research purpose*) To develop a non-destructive method for controlling the plant productivity growth to create algorithms for controlling the plant production processes. (*Materials and methods*) The authors studied the dependence of plant productivity on leaf temperature. They determined the increase in plant leaf mass using digital scales, studied the leaf temperature and the control object with a pyrometric thermometer and measured the leaf surface area. (*Results and discussion*) The authors obtained the values of plant and environmental parameters and, taking into account the moisture consumption for transpiration cooling, determined the values of the lettuce leaf mass growth (*Latuca sativa L.*), which would be used in conjunction with other measured plant and environmental parameters to control the limiting factors in closed artificial agroecosystems. (*Conclusions*) The authors developed a non-destructive method to control

plant productivity growth in climatic chambers using the example of Krasnyy Dubolistnyy lettuce. It was determined that the green mass growth rate had a maximum if the mass of cooling water during evaporation was 0.65 gram. That meant the plant tried to maximize the use of free energy and the productive factors that determined it. The weight values calculated from the experiment results (2.0 grams) corresponded to the data obtained at the Omsk State Agrarian University (1.9 gram) with an accuracy of 5 percent.

**Keywords:** light radiation exergy, photosynthesis, transpiration cooling, leaf mass growth, lettuce, digital agricultural technologies, production process, closed artificial agroecosystems.

**For citation:** Grishin A.P., Grishin A.A., Semenova N.A. Sposob kontrolya produktivnosti rasteniya [Method for controlling plant productivity]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 69-74 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-69-74.

**О**бообщение аграрно-экологических знаний необходимо для полноценного использования цифровых технологий и техники. Программирование урожая – это «не просто использование математики и компьютерной техники в агроэкологии, а использование новейших достижений фундаментальной науки» [1].

Большинство операций и процессов, применяемых в агротехнологиях растениеводства, направлены на повышение КПД использования растениями эксергии светового излучения, которая расходуется на фотосинтез и формирование урожая [2, 3]. Очевидна необходимость совместного эксергетического анализа как преобразования растениями энергии излучения в процессе фотосинтеза, так и затрат техногенной энергии на управление производственными процессами цифровых агротехнологий [4-6].

Производственный процесс в растении зависит от факторов внешней среды, при этом растение само способно трансформировать средообразующие факторы через изменение газообмена, транспирацию, архитектуру посевов. Таким образом, в основе роста урожайности лежит повышение эффективности производственных процессов [7, 8].

Управление производственными процессами в растении в системе закрытых искусственных агроэкосистем – необходимое условие получения высоких урожаев. Важно контролировать интенсивность этих процессов в динамическом режиме. Наиболее точный вариант такого контроля – регулярное определение листовой массы растений и ее динамики в режиме онлайн методом взвешивания. Однако взвесить лист, не разрушив самого растения и среду его произрастания, довольно затруднительно.

**Цель исследования** – разработать способ неразрушающего контроля роста продуктивности растений для создания алгоритмов управления производственными процессами растений.

**Методы и материалы.** Объект исследования – терморегуляционные показатели салата сорта Красный дуболистный.

Для нахождения зависимости продуктивности растения от температуры листа провели опыт по определению прироста листовой массы посредством из-

менения массы растения и параметров среды окружения. Испарение влаги с поверхности субстрата исключали с помощью изоляции его от окружающей среды в герметичном боксе, имеющем сальниковое уплотнение для выхода стебля растения.

При измерении массы растения учитывали уменьшение показателя в ходе испарительного охлаждения и его увеличение в результате прироста листовой массы:

$$W_{t_2} - W_{t_1} = W_{\text{прирост}} - W_{\text{испар}} \quad (1)$$

где  $W_{t_2}$  – масса растения вместе со средой произрастания (субстратом) в момент времени  $t_2$ , г;

$W_{t_1}$  – масса растения вместе со средой произрастания (субстратом) в момент времени  $t_1$ , г;

$W_{\text{прирост}}$  – прирост листовой массы за интервал времени  $t_2 - t_1$ , г;

$W_{\text{испар}}$  – масса влаги испарительного охлаждения за интервал времени  $t_2 - t_1$ , г.

Массу измеряли с трехкратным повторением ежедневно (3600 с) в течение 16 ч на одном растении.

Температуру определяли пирометрическим термометром *Fluke* (Кельвин ИКС 4-20/5), массу – цифровыми весами (*ML-A01*) с точностью измерения 0,01 г. Площадь листа вычисляли с помощью специализированного ПО на базе *CorelDraw*.

**Результаты и обсуждение.** Значения  $W_{t_2}$  и  $W_{t_1}$  – измеряемые, а для определения  $W_{\text{прирост}}$  необходимо знать объем испаряемой растением влаги за интервал времени. Для этого учитывали площадь листьев и разницу температур. Известно, что для обеспечения максимальной скорости фотосинтеза растение самостоятельно регулирует собственную температуру посредством испарительного охлаждения [9, 10]. Объем испаряемой влаги напрямую зависит от разности температур (оптимальной для растения и температуры окружающего воздуха) и площади поверхности листа (чем больше площадь листьев, тем больше влаги испаряется за единицу времени). Для определения необходимых значений растение со средой произрастания, исключая испарение влаги каким-либо иным способом, кроме транспирационного, помещали на весы в замкнутую агроэкосистему с искусственным освещением и поддержанием стабильных кли-

Параметры Parameters	Интервалы замера, с / Measurement intervals, s					
	3600	4080	6600	10800	12600	14400
	Масса растения, г Plant weight, g	0,24	0,19	0,60	0,92	1,45
Температура листа, °C Leaf temperature, °C	27,80	28,20	29,80	27,80	27,40	20,60
Температура контрольного объекта, °C Control object temperature, °C	28,20	28,60	31,60	32,00	29,40	22,80
Разница температур листа и контрольного объекта, °C Temperature difference between leaf and control object, °C	0,01	0,40	1,00	2,00	2,20	2,40
Расход воды, г/(м <sup>2</sup> ·с) Water consumption, g/(m <sup>2</sup> ·s)	0,0030	0,0098	0,009	0,0125	0,0160	0,0140

матических параметров [11-13]. Для учета разницы температуры в ходе испарительного охлаждения измеряли температуру поверхности листа и поверхности куска картона зеленого цвета в качестве контрольного объекта (для одинакового поглощения теплового излучения источника света, обеспечивающего нагрев листа).

После стабилизации температур поверхности листа и контрольного объекта проводили интервальный ( $t_1$  и  $t_2$ ) замер параметров, необходимых для расчета расхода влаги на транспирационное охлаждение (табл. 1, рис. 1).

Замеры проводили в течение 6 ч, чтобы исключить сопутствующий измерениям прирост листовой массы и в то же время обеспечить достаточный изменяемый объем массы испаряемой воды.

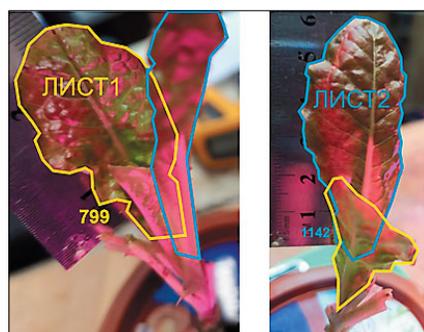


Рис. 1. Измерение площади листьев контрольного растения с помощью программы CorelDraw (суммарная площадь двух листьев 0,001941 м<sup>2</sup>)

Fig. 1. Measuring the leaf area of a control plant with CorelDraw (Total area 0.001941 m<sup>2</sup>)

За интервал времени измерений растение стабильно поддерживало свою температуру 29,2°C. Температура контрольного объекта за данный интервал продолжала расти и стабилизировалась на отметке 32,2°C. Расход влаги на транспирационное охлаждение определяли по формуле (2):

$$Q_{\text{испар}} = \frac{W_{t_1} - W_{t_2}}{(t_2 - t_1) \cdot S_{\text{листа}}}, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{испар}}$  – расход влаги на транспирационное охлаждение, г/(м<sup>2</sup>·с);

$S_{\text{листа}}$  – площадь поверхности листа, м<sup>2</sup>.

Подставив полученные в процессе измерения значения в формулу (2), получим расход влаги на транспирационное охлаждение 1 м<sup>2</sup> листа в секунду для соответствующей разницы температур. Затем, построив линию тренда (рис. 2), определим функциональную зависимость:

$$Q_{\text{испар}} = 0,011 (T_{\text{контр}} - T_{\text{лист}})^{0,2804}, \quad (3)$$

где  $T_{\text{контр}}$  – температура контрольного объекта, С°.

$T_{\text{лист}}$  – температура листа для сравнения с контрольным объектом, С°.

Достоверность аппроксимации составила 0,95.

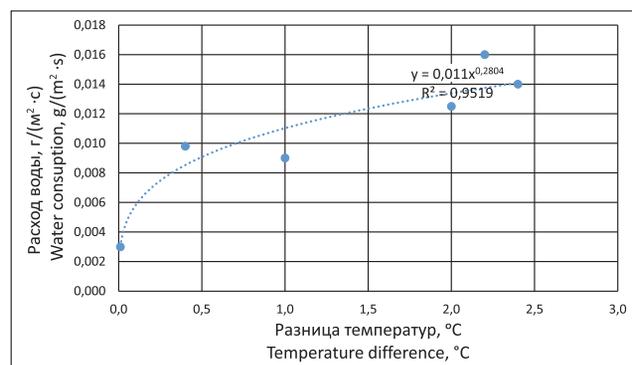


Рис. 2. Линия тренда зависимости расхода воды от разницы температур листа и контрольного объекта

Fig. 2. The trend line of the water consumption dependence on the temperature difference between the leaf and the control object

Полученные данные использовали для определения прироста листовой массы растения салата в динамическом режиме. Для вычислений использовали данные, полученные регистратором растений, разработанным в ФНАЦ ВИМ [14]. Он определяет 12 параметров, в том числе массу растения, температуру поверхности листа, температуру окружающего воздуха.

Получив значения параметров и учитывая расход влаги на транспирационное охлаждение (3), опреде-

лили прирост листовой массы для растения салата (табл. 2):

$$W_{\text{прирост}} = W_{t_2} - W_{t_1} + W_{\text{испар}}; \quad (4)$$

$$W_{\text{испар}} = S_{\text{лист}} \cdot 0,011 \cdot (T_{\text{контр}} - T_{\text{лист}}) \cdot 0,2804 \cdot (t_2 - t_1). \quad (5)$$

Наблюдаемое растение имеет 12 листьев, суммарная площадь которых составила 17981 мм<sup>2</sup> (0,017981 м<sup>2</sup>). Площадь этих листьев определяли аналогичным контрольному способом – с применением специализированного ПО *CorelDraw*.

Данные отклонения проверили на предмет достоверности, для чего определили доверительный интервал значений массы:  $W = 407,56 \dots 427,34$  г (математическое ожидание  $M = 415,30$  г; среднеквадратическое отклонение  $\sigma = 5,03$ ). Измеренные значения соответствуют доверительному интервалу и критерию достоверности.

Рассчитанные по результатам эксперимента весо-

вые значения соответствуют данным, полученным в ранее проведенных исследованиях Л.Я. Плотниковой и др. в Омском государственном аграрном университете имени П.А. Столыпина: масса одного растения составила 45 г за 16 суток роста, что для 16 ч равно 1,9 г. Кроме того, согласно формуле (4),  $W_{\text{прирост}} = -8,1 + 10,1 = 2,0$  г, что также подтверждает достоверность результатов с точностью 5%.

Полученные значения прироста листовой массы растения в дальнейшем будут использованы в совокупности с другими измеренными параметрами растения и окружающей среды для выявления закономерностей и зависимостей влияния агроклиматических параметров на продукционные процессы растений [15, 16]. Это необходимо для разработки алгоритмов управления продукционными процессами растений посредством воздействия на факторы среды и управления лимитирующими факторами в закрытых искусственных агроэкосистемах.

**Таблица 2**
**Table 2**
**РАСЧЕТ ПРИРОСТА ЛИСТОВОЙ МАССЫ САЛАТА ЗА 16 Ч НАБЛЮДЕНИЙ  
CALCULATION OF THE LEAF MASS GROWTH FOR 16 HOURS OF OBSERVATION**

Интервалы наблюдений, ч Observation intervals, h	Измеренные значения / Measured values			Расчетные значения / Calculated values			
	температура контрольного объекта, °C control object temperature, °C	температура листа растения, °C leaf temperature, °C	масса растения, г plant weight, g.	разница температур контрольного объекта и листа растения, °C temperature difference between leaf and control object, °C	изменение массы растения, г plant weight change, g	масса влаги испарительного охлаждения, г cooling water weight, g	прирост листовой массы растения, г plant leaf weight gain, g
1	27,13	26,59	421,40	0,54	-0,50	0,65	0,15
2	27,44	26,93	421,00	0,51	-0,40	0,45	0,05
3	27,81	26,97	420,40	0,84	-0,60	0,67	0,07
4	28,00	27,13	419,90	0,87	-0,50	0,73	0,23
5	28,19	27,59	419,20	0,60	-0,70	0,73	0,03
6	28,31	27,55	418,65	0,76	-0,55	0,58	0,03
7	28,25	27,21	418,15	1,04	-0,50	0,62	0,12
8	28,19	27,33	417,60	0,86	-0,55	0,71	0,16
9	28,13	27,27	417,00	0,86	-0,60	0,72	0,12
10	28,80	27,19	416,60	1,61	-0,40	0,65	0,25
11	28,40	27,19	416,10	1,21	-0,50	0,50	0,00
12	28,00	27,19	415,55	0,81	-0,55	0,58	0,03
13	28,38	27,59	415,00	0,79	-0,55	0,79	0,24
14	28,56	27,81	414,70	0,75	-0,30	0,49	0,19
15	28,63	27,79	414,20	0,84	-0,50	0,63	0,13
16	28,75	27,85	413,80	0,90	-0,40	0,60	0,20
Сумма / Total	-	-	-	-	-8,10	10,10	2,00

Используя полученные данные прироста листовой массы, предварительно отсортировав их совместно с данными  $W_{испар}$  по возрастанию, построили график зависимости  $W_{прирост}$  ( $W_{испар}$ ), определив линию тренда с ее аналитическим выражением (рис. 3). Найдя производную выражения и приравняв ее к нулю, нашли абсциссу максимума зависимости.

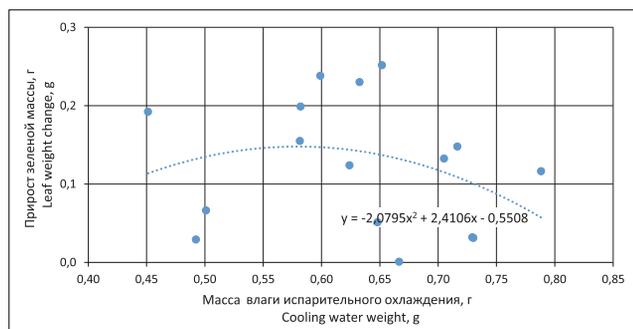


Рис. 3. Зависимость прироста листовой массы от массы охлаждающей воды при терморегуляции

Fig. 3. Dependence of the leaf mass growth on the cooling water mass during thermoregulation

Наибольший прирост массы растения соответствует массе испаряемой охлаждающей воды, равной 0,65 г (рис. 3). Данный результат подтверждает значимость влияния терморегуляции на продукционные процессы в растении. Согласно закону выживания, растение в своем развитии стремится максимально использовать свободную энергию и определяющие ее продуктивные факторы.

**Выводы.** Разработали способ неразрушающего контроля роста продуктивности растений в климатических камерах на примере салата сорта Красный дуболистный. Рассчитанные по результатам эксперимента весовые значения прироста листовой массы растения 2,0 г соответствуют данным, полученным в ранее проведенных исследованиях Омского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина: масса одного растения составила 1,9 г, что также подтверждает достоверность результатов с точностью 5%.

Этот способ необходим для разработки алгоритма управления продукционными процессами в цифровых замкнутых агроэкосистемах. Основываясь на данных массы всего растения, текущей площади его листьев и разницы температур окружающего воздуха и листьев растений, можно определить листовую массу растений. При оценке ее динамики алгоритм управления климатическими параметрами в искусственной замкнутой агроэкосистеме получает сигнал обратной связи для контроля результатов управляющего воздействия на продуктивность растений.

Установили, что зависимость прироста зеленой массы от массы охлаждающей воды при испарении имеет максимум при значения испаряемой воды 0,65 г. Это свидетельствует о стремлении растения в своем развитии максимально использовать свободную энергию и определяющие ее продуктивность факторы. Данный результат подтверждает значимость влияния терморегуляции на продукционные процессы в растении.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковалев В.М. Теория урожая. М.: МСХА. 2003. 331 с.
2. Ghasemkhani H., Keyhani A., Aghbashlo M., Rafiee S., Mujumdar A.S. Improving exergetic performance parameters of a rotating-tray air dryer via a simple heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*. 2016. N94. 13-23.
3. Silva C.S., Seider W.D., Lior N. Exergy efficiency of plant photosynthesis. *Chemical engineering science*. 2015. Vol. 130. 151-171.
4. Свентицкий И.И. Принципы энергосбережения в АПК. Естественная методология. М.: ВИЭСХ. 2001. 192 с.
5. Свентицкий И.И. Энергосбережение в АПК и энергетическая экстремальность самоорганизации. М.: ВИЭСХ. 2007. 468 с.
6. Свентицкий И.И. Естественная основа всеединства знаний. Эксергетическая теория урожая. М.: ВИЭСХ. 2015. 316 с.
7. Ouyang Z., Tian J., Yan X., Shen H. Effects of different concentrations of dissolved oxygen or temperatures on the growth, photosynthesis, yield and quality of lettuce. *Agricultural water management*. 2020. Vol. 228. N105826.
8. Gustafson E.J., Miranda B.R., De Bruijn A.M.G. Do rising temperatures always increase forest productivity? Interacting effects of temperature, precipitation, cloudiness and soil texture on tree species growth and competition. *Environmental modeling & software*. 2017. Vol. 97. 171-183.
9. Воронин П.Ю., Федосеева Г.П. Устьичный контроль фотосинтеза у отделенных листьев древесных и травянистых растений // *Физиология растений*. 2012. Т. 59. N2. С. 309-315.
10. Voronin P.Y., Rakhmankulova Z.F., Shuyskaya E.V., Maevskaya S.N., Nikolaeva M.K., Myasoedov N.A., Balnokin Y.V., Kuznetsov V.V., Maksimov A.P., Maximov T.C., Rymar V.P., Valdayskih V.V. New method for quantitative determination of water potential of mesophyll cells' apoplast in substomatal cavity of the leaf. *Russian journal of plant physiology*. 2017. N3 (64). 452-456.
11. Graamans L., Dobbelsteen A., Meinen E. Plant factories; crop transpiration and energy balance. *Agricultural Systems*. 2017. Vol. 53. 138-147.
12. Стребков Д.С., Юфев Л.Ю., Александров Д.В., Соколов А.В. Повышение эффективности систем освещения и облучения // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2014. N1. С. 13-16.
13. Vasiliev A.N., Ospanov A.B., Budnikov D.K., Karmenov D.K., Salginbayev D.B., Vasilyev A.A. Controlling reaction of biological objects of agricultural production with the use of electrotechnology. *International Journal of Pharmacy & Technology*. 2016. Vol. 8. N4. 26855-26869.

14. Гришин А.П., Гришин А.А., Гришин В.А. Программное обеспечение регистратора параметров роста растения // *Агротехника и энергообеспечение*. 2019. N1(22). С. 72-78.

15. Slattery R.A., Ort D.R. Carbon assimilation in crops at high temperatures. *Plant cell and environment*. 2019. Vol. 42(10). 2750-2758.

16. Ma S., Osuna J.L., Verfaillie J. Photosynthetic responses to temperature across leaf-canopy-ecosystem scales: a 15-year study in a Californian oak-grass savanna. *Photosynthesis research*. 2017. Vol. 132(3). 277-291.

### REFERENCES

1. Kovalev V.M. Teoriya urozhaya [Theory of harvest]. Moscow: 2003. 331 (In Russian).

2. Ghasemkhani H., Keyhani A., Aghbashlo M., Rafiee S., Mujumdar A.S. Improving exergetic performance parameters of a rotating-tray air dryer via a simple heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*. 2016. N94. 13-23 (In English).

3. Silva C.S., Seider W.D., Lior N. Exergy efficiency of plant photosynthesis. *Chemical engineering science*. 2015. Vol. 130. 151-171 (In English).

4. Sventitskiy I.I. Printsipy energosberezheniya v APK. Estestvennonauchnaya metodologiya [The principles of energy conservation in the agro-industrial complex. Natural science methodology]. Moscow: VIESH, 2001. 192 (In Russian).

5. Sventitskiy I.I. Energosberezhenie v APK i energeticheskaya ekstremal'nost' samoorganizatsii [Energy saving in the agro-industrial complex and energy extremity of self-organization]. Moscow: VIESH. 2007. 468 (In Russian).

6. Sventitskiy I.I. Estestvennonauchnaya osnova vseedinstva znaniy. Eksergeticheskaya teoriya urozhaya [The natural science basis for the unity of knowledge. Exergetic harvest theory]. Moscow: FGBNU VIESH. 2015. 316 (In Russian).

7. Ouyang Z., Tian J., Yan X., Shen H. Effects of different concentrations of dissolved oxygen or temperatures on the growth, photosynthesis, yield and quality of lettuce. *Agricultural water management*. 2020. Vol. 228. N105826 (In English).

8. Gustafson E.J., Miranda B.R., De Bruijn A.M.G. Do rising temperatures always increase forest productivity? Interacting effects of temperature, precipitation, cloudiness and soil texture on tree species growth and competition. *Environmental modeling & software*. 2017. Vol. 97. 171-183 (In English).

9. Voronin P.Yu., Fedoseeva G.P. Ust'ichnyy kontrol' fotosinteza u otdelennykh list'ev drevesnykh i travyanistykh rasteniy [Stomatal control of photosynthesis in detached leaves of woody

and herbaceous plants]. *Fiziologiya rasteniy*. 2012. 59(2). 309-315 (In Russian).

10. Voronin P.Y., Rakhmankulova Z.F., Shuyskaya E.V., Maevskaya S.N., Nikolaeva M.K., Myasoedov N.A., Balnokin Y.V., Kuznetsov V.V., Maksimov A.P., Maximov T.C., Rymar V.P., Valdayskih V.V. New method for quantitative determination of water potential of mesophyll cells' apoplast in substomatal cavity of the leaf. *Russian journal of plant physiology*. 2017. N3 (64). 452-456 (In English).

11. Graamans L., Dobbelsteen A., Meinen E. Plant factories; crop transpiration and energy balance. *Agricultural Systems*. 2017. Vol. 53. 138-147 (In English).

12. Strebkov D.S., Yuferev L.Yu., Alexandrov D.V., Sokolov A.V. Povyshenie effektivnosti sistem osveshcheniya i oblucheniya [Improving the efficiency of lighting and irradiation systems]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2014. 1. 13-16 (In Russian).

13. Vasiliev A.N., Ospanov A.B., Budnikov D.K., Karmenov D.K., Salginbayev D.B., Vasilyev A.A. Controlling reaction of biological objects of agricultural production with the use of electrotechnology. *International Journal of Pharmacy & Technology*. 2016. Vol. 8. N4. 26855-26869 (In English).

14. Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A. Programmnoe obespechenie registratora parametrov rosta rasteniya [Software for the registrar of plant growth parameters]. *Agrotekhnika i energoobespechenie*. 2019. 1(22). 72-78 (In Russian).

15. Slattery R.A., Ort D.R. Carbon assimilation in crops at high temperatures. *Plant cell and environment*. 2019. Vol. 42(10). 2750-2758 (In English).

16. Ma S., Osuna J.L., Verfaillie J. Photosynthetic responses to temperature across leaf-canopy-ecosystem scales: a 15-year study in a Californian oak-grass savanna. *Photosynthesis research*. 2017. Vol. 132(3). 277-291 (In English).

**Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

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

**Статья поступила в редакцию 16.03.2020  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 16.03.2020**

**Статья принята к публикации 09.03.2021  
The paper was accepted  
for publication on 09.03.2021**