

DOI: 10.31862/2500-2961-2021-11-2-204-214

Н.Г. Дуплий, А.В. Усатов, А.С. Азаров

Южный федеральный университет,
344090 г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Влияние предпосевной обработки семян 10-(6'-метилпластохинонил) децилтрифенилфосфонием (SkQ3) на скорость роста и урожайность подсолнечника

В связи с увеличением посевных площадей подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) актуален поиск новых средств защиты растений для повышения урожайности данной культуры. Цель данной работы – оценка влияния предпосевной обработки семян подсолнечника 10-(6'-метилпластохинонил) децилтрифенилфосфонием (SkQ3) на урожайность и скорость роста растений. В качестве объекта исследования использовали гибрид подсолнечника НК Конди. В ходе работы проведен оранжерейный опыт, а также полевые испытания в ООО «Степное» (Верхнедонской район Ростовской области). После 40-дневного выращивания в различных условиях водного режима в оранжерейном опыте установлено, что оптимальной концентрацией SkQ3 для обработки семян является 2,5 нМ. При этом наибольший эффект наблюдался в условиях дефицита влаги (влажность почвы 35%): высота обработанных SkQ3 растений превышала высоту контрольных на 15,1% при концентрации 2,5 нМ и 11,7% – при 7,5 нМ, а сухая масса

увеличилась на 36,8 и 33,3%, соответственно. Обработка семян SkQ3 в полевых испытаниях проводилась в 2017 и 2018 гг. В первый год урожайность на контрольном и экспериментальном участках практически не отличалась. Однако в 2018 г., когда количество осадков в период вегетации подсолнечника существенно отличалось от климатической нормы, обработка семян 10-(6'-метилпластохинонил) децилтрифенилфосфонием привела к увеличению всех исследуемых показателей продуктивности и повышению урожайности на 17,6% по сравнению с контролем.

Ключевые слова: подсолнечник, митохондриальные антиоксиданты, 10-(6'-метилпластохинонил) децилтрифенилфосфоний (SKQ3), показатели продуктивности, урожайность

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Дуплий Н.Г., Усатов А.В., Азаров А.С. Влияние предпосевной обработки семян 10-(6'-метилпластохинонил) децилтрифенилфосфонием (SkQ3) на скорость роста и урожайность подсолнечника // Социально-экологические технологии. 2021. Т. 11. № 2. С. 204–214. DOI: 10.31862/2500-2961-2021-11-2-204-214

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2021-11-2-204-214

N.G. Duplii, A.V. Usatov, A.S. Azarov

Southern Federal University,
Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation

The effect of pre-sowing seed treatment with 10-(6'-methylplastoquinonyl) decyltriphenylphosphonium (SkQ3) on growth rate and yield of sunflower

As a result of the increase in the cultivated areas of sunflower (*Helianthus annuus* L.), the search for new plant protection products to increase the yield of this crop is topical problem. That is why the purpose of this work was to execute pre-sowing seed treatment with 10-(6'-methylplastoquinonyl) decyltriphenylphosphonium (SkQ3) and analyze its effect on the productivity

of sunflower plants and their yield. The object of the research was a hybrid of sunflower – NK Condi. In the course of the work, a greenhouse experiment was carried out, as well as field testing at “Stepnoye” Ltd. (Verkhnedonskaya district of Rostov region). Optimal concentration of SkQ3 for seed treatment – 2.5 nM was established after 40 days of cultivation with different types of water regime in greenhouse. Furthermore, the maximum effect of SkQ3 seed-treatment was observed in plants with water deficiency (soil moisture 35%) – we observed plant height increase by 15.1% (SkQ3 concentration 2.5 nM) and 11.7% (SkQ3 concentration 7.5 nM) comparison with control, moreover dry weight increases by 36.8% and 33.3% respectively. Seed treatment with SkQ3 in field trials was carried out in 2017 and 2018. In the first year, the yield in the control and experimental plots practically did not differ. However, seed treatment with 10-(6'-methylplastoquinonyl) decyltriphenylphosphonium in 2018 resulted in an increase in all studied productivity indicators and an increase in yield by 17.6% compared to the control.

Key words: sunflower, mitochondrial antioxidants, 10-(6'-methylplastoquinonyl) decyltriphenylphosphonium (SKQ3), productivity indicators, yield

CITATION: Duplii N.G., Usatov A.V., Azarov A.S. The effect of pre-sowing seed treatment with 10-(6'-methylplastoquinonyl) decyltriphenylphosphonium (SkQ3) on growth rate and yield of sunflower. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2021. Vol. 11. No. 2. Pp. 204–214. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2021-11-204-214

Подсолнечник является основной масличной культурой РФ. По данным Росстата, в 2019 г. посевные площади подсолнечника в России составили 8505 тыс. га. Ростовская область занимает третье место по посевным площадям подсолнечника (Экспертно-аналитический центр «АБ-Центр» (ab-centre.ru)). Однако увеличение посевных площадей данной культуры привели к ухудшению фитосанитарного фона агрофитоценозов [Ионов, 2015]. Отсюда возникает необходимость повышения эффективности производства семян подсолнечника не за счет увеличения посевных площадей, а путем получения более высоких и стабильных урожаев [Фетюхин, Шульженко, Толпинский, 2016]. Приоритетным направлением для решения данной проблемы является научно-обоснованное применение широкого ассортимента средств защиты растений для стимуляции роста и повышения устойчивости к неблагоприятным факторам среды [Гринько, Тарадин, 2018]. Эта задача особенно актуальна для засушливых районов Ростовской области, где основным

лимитирующим фактором, определяющих величину и качество урожая подсолнечника, является почвенная влага [Тарадин, 2017].

На данный момент есть различные исследования влияния абиотических факторов и химических средств на продуктивность подсолнечника [Аксенов, 2016; Беленков и др., 2018]. Существуют исследования, показывающие эффективность обработки различными веществами в лабораторных условиях, но при этом отсутствуют данные о влиянии данных соединений в полевых условиях. Среди подобных средств в последние годы в сельском хозяйстве начали применяться препараты на основе митохондриальных антиоксидантов [Skulachev et al., 2009]. Коллективом Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова под руководством академика В.П. Скулачева для наиболее эффективного воздействия антиоксидантов на митохондрии путем их адресной доставки был синтезирован ряд веществ класса SkQ (ионы Скулачева) [Feniouk, Skulachev, 2018]. Было впервые описано опосредованное окислительно-восстановительное взаимодействие SkQ1 с кластером Mn в фотосистеме II микроводоросли *Chlorella vulgaris*, которое ингибирует расщепление молекулы воды и приводит к отключению комплекса, выделяющего кислород [Ptushenko et al., 2019]. Также было обнаружено увеличение скорости роста растений зерновых культур в условиях дефицита влаги при обработке семян растворами SkQ3 [Дуплий и др., 2018; Дуплий, 2019].

Поэтому целью данной работы являлась оценка влияния предпосевной обработки семян подсолнечника SkQ3 на урожайность и скорость роста растений подсолнечника.

Материалы и методы

Материалом исследования служил гибрид подсолнечника НК Конди («Сингента»).

Семена замачивали в течение 10 часов в дистиллированной воде (контроль) или в растворах SkQ3 в концентрациях 2,5 и 7,5 нМ. Затем их проращивали в пластиковых контейнерах размером 12 × 17 × 5 см в термостате в течение 36 часов при температуре 26 °С и далее в вегетационных сосудах объемом 60 л, по 30 растений в каждом сосуде, в оранжерее течение 40 дней при температуре 25–28 °С. Сосуды были разделены на два варианта, в одном – регулярным поливом (по весу сосудов) поддерживали влажность почвы 70%, от ее максимальной гигроскопической влажности, а в другом – 35%. Вегетационный опыт был проведен в шести повторностях. Влажность почвы определяли по ГОСТ 28268–89 (Государственный стандарт. Почвы. Методы определения влажности,

максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завязания растений (docs.cntd.ru/document/gost-28268-89)). После окончания эксперимента измеряли высоту (см) и сухую массу растений (г).

Полевые испытания проводили согласно общепринятым рекомендациям [Доспехов, 1979; Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, 1985] (также см.: Зональные системы земледелия Ростовской области на 2013–2020 годы. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Ростовской обл. (don-agro.ru/old/index.php?id=928)) в Верхнедонском р-не Ростовской обл. на базе предприятия ООО «Степное» в 2017–2018 гг. Предшественником подсолнечника была озимая пшеница. Каждый вариант полевого эксперимента был изучен в трехкратной повторности. Обработку SkQ3 осуществляли непосредственно перед посевом, из расчета 0,16 мг SkQ3 на 100 кг семян. Полученные результаты статистически обрабатывали с помощью программы Statistica 10.

Климатические показатели района проведения опыта были получены на метеостанции «Казанская» (Верхнедонской р-н).

Результаты и их обсуждение

Показатели высоты и сухой массы растений после 40-дневного выращивания в различных условиях водного режима в оранжерейном опыте представлены на рис. 1 и 2.

Недостаток почвенной влаги оказал значительное влияние на рост и развитие проростков подсолнечника. При двукратном снижении влажности почвы с 70 до 35% происходит уменьшение как высоты, так и сухой массы растений в 1,5 и 3 раза соответственно.

SkQ3 в концентрациях 2,5 и 7,5 нМ не оказал значительного влияния на исследуемые показатели растений в физиологически нормальных условиях вегетации (влажность почвы 70%). Однако в условиях дефицита влаги (влажность почвы 35%) при обработке семян растворами обеих концентраций высота обработанных SkQ3 растений превышала высоту контрольных на 15,1 и 11,7%, а сухая масса увеличилась на 36,8 и 33,3%, соответственно.

Оранжерейный опыт был подтвержден полевыми испытаниями, проводившимися в ООО «Степное» (Верхнедонской р-н). Среднемесячные значения температур и сумма осадков в районе проведения опыта были получены на метеостанции «Казанская», расположенной в непосредственной близости от места проведения эксперимента (рис. 3, 4).

Сравнительный анализ температурного и водного режимов свидетельствует, что климат Верхнедонского р-на Ростовской обл. аридный, характеризующийся жарким и засушливым летом.

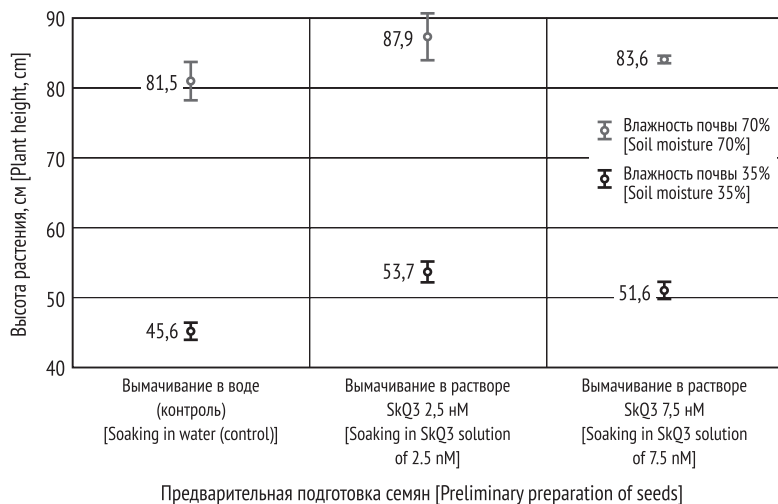


Рис. 1. Влияние предварительной подготовки семян на высоту растений в различных условиях увлажненности почвы

Fig. 1. Influence of preliminary preparation of seeds on plant height under different conditions of soil moisture

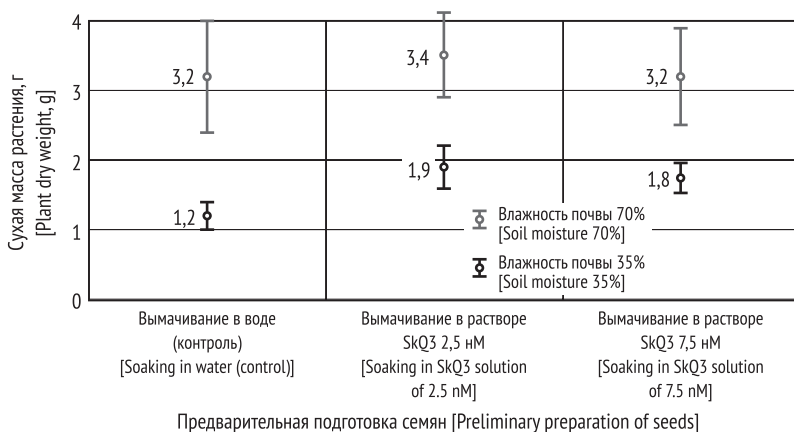


Рис. 2. Влияние предварительной подготовки семян на сухую массу растений в различных условиях увлажненности почвы

Fig. 2. Influence of preliminary preparation of seeds on dry weight of plants under different conditions of soil moisture

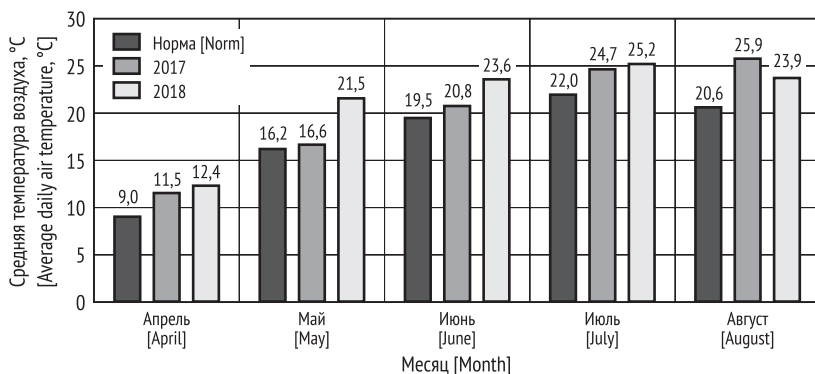


Рис. 3. Среднемесячные значения температуры воздуха за период вегетации подсолнечника в 2017–2018 гг.

Данные получены на метеостанции «Казанская», расположенной в непосредственной близости от места проведения эксперимента

Fig. 3. Average monthly values of air temperature for the growing season of sunflower in 2017–2018.

The data were obtained at “Kazanskaya” meteorological station located in the immediate vicinity of the experiment site

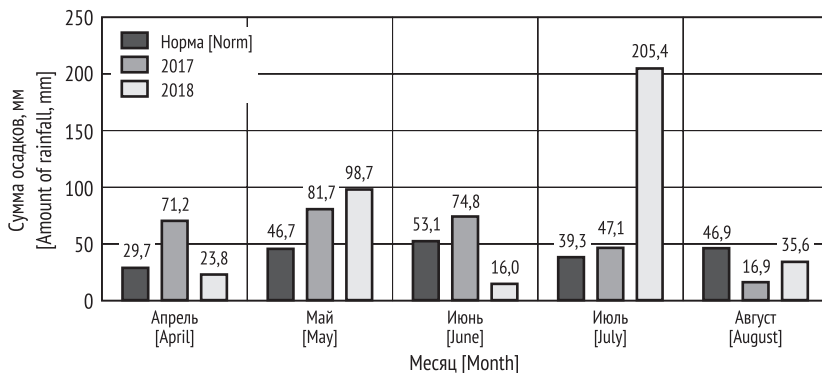


Рис. 4. Сумма атмосферных осадков за период вегетации подсолнечника в 2017–2018 гг.

Данные получены на метеостанции «Казанская», расположенной в непосредственной близости от места проведения эксперимента

Fig. 4. Average monthly values of air temperature for the growing season of sunflower in 2017–2018.

The data were obtained at “Kazanskaya” meteorological station located in the immediate vicinity of the experiment site

Среднемесячные значения температуры в Верхнедонском р-не в 2017–2018 гг. превышают показатели нормы, в то время как количество осадков в период созревания семян (июль-август) значительно варьирует. Например, в 2017 г. климатические показатели Верхнедонского р-на в период вегетации подсолнечника были близки к норме, что создало оптимальные условия для его культивирования, в то время как в 2018 г. количество осадков июне не превысило 30% от климатической нормы, а в августе – 76% от климатической нормы.

Напротив, июль 2018 г. характеризовался обильными осадками, на 191% превышающими климатическую норму. Таким образом, в 2018 г. в указанном регионе отмечено значительное отклонение от климатической нормы.

Показатели продуктивности подсолнечника в 2017–2018 гг. суммированы в табл. 1.

Таблица 1

**Показатели продуктивности подсолнечника
при полевом эксперименте в 2017–2018 гг.
[Indicators of sunflower productivity in 2017–2018]**

Год [Year]	Диаметр корзинки, см [Anthodium diameter, sm]	Масса семян одной корзинки, г [Seed mass of one anthodium, g]	Масса тысячи семян, г [Mass of a thousand seeds, g]	Урожайность, ц/га [Yield, c/ha]
2017	Контроль [Control]			
	19,3 ± 0,4	69,3 ± 3,6	56,6 ± 3,7	19,7
	SkQ3			
	20,8* ± 0,5	75,6 ± 4,1	65,3* ± 2,2	22,5
2018	Контроль [Control]			
	18,5 ± 0,3	61,2 ± 4,8	54,7 ± 2,3	17,8
	SkQ3			
	21,6* ± 0,4	83,6* ± 5,2	63,8* ± 3,1	21,6

* Достоверные отличия по сравнению с контролем при $p < 0,05$.

[* Significant differences compared to control at $p < 0.05$.]

В 2018 г. показатели продуктивности подсолнечника в контроле были ниже, чем в 2017 г. (масса семян одной корзинки на 11,7%, масса тысячи семян – на 3,4%, урожайность – на 9,7%). Обработка семян SkQ3

в 2017 г. привела к увеличению диаметра корзинки на 7,2% и массы тысячи семян на 13,4% по сравнению с контролем. Урожайность подсолнечника выросла на 2,8 ц/га (12,5%). В 2018 г. увеличиваются все исследуемые показатели продуктивности: диаметр корзинки, масса семян одной корзинки и масса тысячи семян на 14,4, 26,8 и 14,3% соответственно. Урожайность также повысилась на 3,8 ц/га (17,6%) по сравнению с контролем.

Выводы

В условиях оранжереи обработка 40-дневных проростков подсолнечника растворами SkQ3 не оказала значительного влияния на рост и развитие растений при влажности почвы 70%.

Напротив, при влажности почвы 35% в результате обработки семян как раствором концентрации 2,5, так и 7,5 нМ увеличивалась высота и сухая масса растений.

Оптимальная концентрация SkQ3 для обработки семян – 2,5 нМ.

Обработка семян SkQ3 в полевых испытаниях привела к незначительному увеличению показателей продуктивности подсолнечника в 2017 г., однако в 2018 г., когда количество осадков в период вегетации подсолнечника существенно отличалось от климатической нормы (средних многолетних значений), показатели продуктивности значительно выросли после обработки семян SkQ3: диаметр корзинки увеличился на 14,4%, масса семян одной корзинки – на 26,8%, масса тысячи семян – на 14,3%. Урожайность также повысилась на 17,6%.

Данные исследования показывают эффективность обработки семян подсолнечника 10-(6'-метилпластохинонил) децилтрифенилфосфонием (SkQ3) в связи с его влиянием на урожайность и скорость роста растений.

Библиографический список / References

Аксенов М.П. Влияние предпосевной комплексной обработки семян подсолнечника электрофизическими воздействиями и регулятором роста на их посевные качества // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 2 (44). Ч. 3. С. 85–89. [Aksenov M.P. Influence of pre-sowing complex treatment of sunflower seeds with electrophysical effects and a growth regulator on their sowing qualities. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 2016. No. 2 (44). Part 3. Pp. 85–89. (In Rus.)]

Беленков А.И., Аксенов М.П., Юдаев И.В. Влияние предпосевной обработки семян подсолнечника на урожайность // Фермер. Поволжье. 2018. № 11. С. 34–38. [Belenkov A.I., Aksenov M.P., Yudaev I.V. Influence of pre-sowing treatment of sunflower seeds on yield. *Fermer. Povolzhe*. 2018. No. 11. Pp. 34–38. (In Rus.)]

Гринько А.В., Тарадин С.А. Экономическая оценка применения почвенных гербицидов на подсолнечнике // Экономика и бизнес: теория и практика. 2018. № 3. С. 52–54. [Grinko A.V., Taradin S.A. Economic evaluation of the use

of soil herbicides on sunflower. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*. 2018. No. 3. Pp. 52–54. (In Rus.)]

Доспехов В.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 4-е изд., перераб. и доп. М., 1979. [Dospekhov V.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Field experiment technique (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, 1979.]

Дуплий Н.Г. Эффективность предпосевной обработки семян кукурузы стимуляторами роста для повышения ее продуктивности в условиях Ростовской области // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ–2019» / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. М., 2019. [Duplii N.G. Efficiency of pre-sowing treatment of corn seeds with growth stimulants to increase its productivity in the conditions of the Rostov region. *Materiyaly Mezhdunarodnogo molodezhnogo nauchnogo foruma «LOMONOSOV-2019»*. Moscow, 2019.]

Ионов Д.Ф. Динамика производства масличных культур в Ростовской области // Интеграционные процессы в науке в современных условиях: Сб. ст. Международной научно-практической конференции. Казань, 2015. С. 27. [Ionov D.F. Dynamics of production of oilseeds in the Rostov region. *Integratsionnye protsessy v nauke v sovremennykh usloviyakh*. Kazan, 2015. P. 27. (In Rus.)]

Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. М., 1985. [Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaistvennykh kultur [Methodology for state variety testing of agricultural crops]. Vol. 1. Moscow, 1985.]

Тарадин С.А. Влияние способов основной обработки на водно-физические показатели почвы и урожайность подсолнечника на эрозионно-опасных склонах Ростовской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 5 (65). С. 70–73. [Taradin S.A. Influence of basic tillage methods on the water-physical parameters of the soil and the yield of sunflower on the erosion-dangerous slopes of the Rostov region. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. No. 5 (65). Pp. 70–73. (In Rus.)]

Фетюхин И.В., Шульженко К.Д., Толпинский В.В. Эффективность возделывания подсолнечника в приазовской зоне Ростовской области // Успехи современной науки. 2016. Т. 2. № 5. С. 88–91. [Fetyukhin I.V., Shulzhenko K.D., Tolpinskiy V.V. Efficiency of sunflower cultivation in the Azov zone of the Rostov region. *Uspekhi sovremennoi nauki*. 2016. Vol. 2. No. 5. Pp. 88–91. (In Rus.)]

Эффективность применения SkQ3 (10-(6'-метилпластохинонил) децилтрифенилфосфония) при возделывании озимой пшеницы и ярового ячменя в условиях Ростовской области / Дуплий Н.Г., Азаров А.С., Усатов А.В., Попов А.С. // Научный журнал КубГАУ. 2018. № 140 (6). С. 60–72. [Duplii N.G., Azarov A.S., Usatov A.V., Popov A.S. Efficiency of SkQ3 (10-(6'-methylplastoquinonyl) decyltriphenylphosphonium) use in the cultivation of winter wheat and spring barley in the conditions of the Rostov region. *Scientific journal of KubSAU*. 2018. No. 140 (6). Pp. 60–72. (In Rus.)]

Feniouk B.A., Skulachev V.P. Studies on mitochondria directed plastoquinones. *Mitochondrial Biology and Experimental Therapeutics*. Springer, Cham, 2018. Pp. 523–533.

Ptushenko V.V. et al. Cationic penetrating antioxidants switch off Mn cluster of photosystem II *in situ*. *Photosynthesis Research*. 2019. Pp. 1–12.

Skulachev V.P. et al. An attempt to prevent senescence: A mitochondrial approach. *Biochim. Biophys. Acta*. 2009. Vol. 1787. Pp. 437–461.

Статья поступила в редакцию 02.03.2021, принята к публикации 01.05.2021
The article was received on 02.03.2021, accepted for publication 01.05.2021

Сведения об авторах / About the authors

Дуплий Надежда Геннадьевна – аспирант кафедры генетики Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Nadezhda G. Duplii – postgraduate student at the Department of Genetics of the Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5782-9942>

E-mail: duplii@rambler.ru

Усатов Александр Вячеславович – доктор биологических наук, профессор; заведующий лабораторией молекулярной генетики Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Alexander V. Usatov – Dr. Biol. Hab.; Head at the Laboratory of Molecular Genetics of the Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0600-7927>

E-mail: usatova@sfedu.ru

Азаров Анатолий Сергеевич – инженер-проектировщик Ботанического сада Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет

Anatoliy S. Azarov – design engineer at the Botanical Garden of the Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0354-8958>

E-mail: bioclon@list.ru

Заявленный вклад авторов

Н.Г. Дуплий – разработка и проведение экспериментов, подготовка основного текста статьи

А.В. Усатов – осуществление научного руководства работой, подготовка и написание литературного обзора

А.С. Азаров – помощь в статистической обработке данных и составлении таблиц и графиков

Contribution of the authors

N.G. Duplii – development and carry out of experiments, preparation of the main text of the article

A.V. Usatov – scientific supervision of work, preparation of a review

A.S. Azarov – assistance in statistical data processing and drawing up tables and graphs

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript