

ISSN 1029-8940 (Print)

ISSN 2524-230X (Online)

УДК 581.174.1/2:582.572.7

<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2021-66-3-333-338>

Поступила в редакцию 28.05.2021

Received 28.05.2021

Е. Н. Карасева

*Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси,
Минск, Республика Беларусь*

НАКОПЛЕНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ И ПОКАЗАТЕЛИ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА В ЛИСТЯХ *DIOSCOREA ALATA* L. ПРИ ВЕГЕТАТИВНОМ РАЗМНОЖЕНИИ РАСТЕНИЙ НА ИОНООБМЕННЫХ СУБСТРАТАХ

Аннотация. Изучены содержание фотосинтетических пигментов и флуоресценция хлорофиллов (Хл) в листьях растений *Dioscorea alata* L., выращенных на модифицированном ионообменном субстрате. Установлено, что в варианте с добавлением в субстрат гидрогеля мелкой фракции в количестве 1 г/л содержание Хл *a* на 15 % выше по отношению к контролю. Содержание Хл *b* и каротиноидов по сравнению с контролем различались несущественно. При добавлении гидрогеля в концентрации 0,5 г/л содержание Хл *a* во всех изученных вариантах было значительно ниже контроля.

Исходя из исследованных параметров флуоресценции Хл, наиболее благоприятные для продуктивности фотосинтеза условия были в варианте с добавлением с 1 г мелкой фракции и при освещении ДНАТ-400.

Ключевые слова: гидрогель, ионообменный субстрат, фотосинтетические пигменты, *Dioscorea alata* L.

Для цитирования: Карасева, Е. Н. Накопление фотосинтетических пигментов и показатели флуоресценции хлорофилла в листьях *Dioscorea alata* L. при вегетативном размножении растений на ионообменных субстратах / Е. Н. Карасева // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. биол. наук. – 2021. – Т. 66, № 3. – С. 333–338. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2021-66-3-333-338>

Alena N. Karasiova

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus*

ACCUMULATION OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS AND INDICATORS OF FLUORESCENCE OF CHLOROPHYLL IN LEAVES OF *DIOSCOREA ALATA* L. DURING VEGETATIVE REPRODUCTION OF PLANTS ON ION-EXCHANGE SUBSTRATES

Abstract. The content of photosynthetic pigments and fluorescence of chlorophylls in leaves of *Dioscorea alata* L. plants grown on a modified ion-exchange substrate were studied. It was found that in the variant with the addition of a fine fraction to the hydrogel substrate in an amount of 1 g/l, the Chl *a* content is 15 % higher than in the control. The content of Chl *b* and carotenoids in comparison with the control differed insignificantly. When the hydrogel was added at a concentration of 0.5 g/l, the Chl *a* content in all studied variants was significantly lower than the control.

Based on the investigated parameters of chlorophyll fluorescence, the most favorable conditions for the productivity of photosynthesis were in the variant with the addition of 1 g of a fine fraction and illumination of DNaT-400.

Keywords: hydrogel, ion exchange substrate, photosynthetic pigments, *Dioscorea alata* L.

For citation: Karasiova A. N. Accumulation of photosynthetic pigments and indicators of fluorescence of chlorophyll in leaves of *Dioscorea alata* L. during vegetative reproduction of plants on ion-exchange substrates. *Vesti Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2021, vol. 66, no. 3, pp. 333–338 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2021-66-3-333-338>

Введение. Адаптация растений к условиям выращивания представляет собой интегральный процесс, зависящий от ряда факторов. Для нормального роста и развития растений необходимо оптимальное сочетание элементов питания, теплового и светового режимов, влажности почвы и воздуха. В растениеводстве защищенного грунта существует проблема адаптации микроклонов при перенесении их из условий *in vitro* или гидропонной культуры на корнеобитаемую среду *in vivo* [1].

Рис. 1. Внешний вид растений *Dioscorea alata* L.Fig. 1. Appearance of *Dioscorea alata* L.

В настоящей работе изучены особенности адаптации интродукента *Dioscorea alata* L. в условиях защищенного грунта при ускоренном микрорепродукции *in vivo*.

Диоскорея крылатая представляет интерес для интродукции как высокодекоративное растение для озеленения офисов, холлов гостиниц, торговых сетей, оранжерей, а также для вертикального озеленения с использованием горшечных культур. *Dioscorea alata* L. – многолетняя травянистая лиана, формирующая богатые биологически активными веществами крупные клубни (рис. 1). Растение культивируется в Юго-Восточной Азии. Стебли четырехугольные, с 4 продольно крылатыми, волнистыми, зелеными или красноватыми выростами. Листья, как правило, супротивные, иногда чередуются на быстрорастущих ветвях, кожистые, широкояйцевидные. Соцветия пазушные, цветки однополые. Благодаря фиолетовой окраске листьев может быть ценным естественным источником пищевого красителя [2].

Учитывая, что объект исследования – лиана тропического происхождения, требующая достаточного водообеспечения и минерального питания в процессе вегетативного роста, необходимо было решить ряд задач. Во-первых, разработать условия ускоренного размножения путем черенкования. Во-вторых, оптимизировать ионообменный субстрат по агрохимическому составу и агрофизическим свойствам для успешного роста интродуцируемой лианы.

Ранее нами разработаны ионообменные субстраты, состоящие из новых катионо- и анионообменных материалов и инертного материала – агроперлита [3]. Такой ионообменный субстрат способен поглощать и удерживать до 120 % воды относительно своей массы. Этих влажностных параметров достаточно при выращивании большинства растений с периодическим поливом, не вызывающим стрессовых изменений в листьях. Однако при выращивании тропических интродуктов, требующих высокой влажности для своего роста, необходимо создать более влагоемкий субстрат [4].

Для ускорения процессов ризогенеза и начального роста в условиях *in vivo* целесообразно также использование биологически активных веществ (БАВ), в частности новых соединений на основе адсорбционного геля – Есофлос (КНР), ковалентно удерживающего ионы макро- и микроэлементов, гуминовые кислоты, бентонит и другие вещества. С помощью этого геля и был модифицирован ионообменный субстрат Триона® для потребностей лианы [5].

Одним из показателей адаптации растений к условиям выращивания *in vivo* является содержание в листьях растений фотосинтетических пигментов. Содержание зеленых и желтых пигментов в листьях растений – один из существенных признаков их фотосинтетической активности и в определенной степени интенсивности снабжения растений ассимилятами. При этом содержание хлорофилла (Хл) в листьях служит свидетельством и возрастного состояния растений, так как при их старении уровень Хл значительно снижается [1].

Важным параметром оптимальности условий для роста растений является изменение флуоресценции Хл. Анализ изменения параметров флуоресценции Хл представляет собой мощный

инструмент при изучении воздействия самых разнообразных экологических факторов на растительные организмы. Химические факторы и климатические условия, часто являясь ингибиторами или активаторами биоэнергетических процессов, протекающих в тилакоидах хлоропластов растительных клеток, способны оказывать выраженное влияние на параметры кинетики и спектральные особенности флуоресценции, а также на ее стационарный уровень. Исследования кинетики флуоресценции могут дать важную информацию о влиянии внешней среды на параметры фотосинтеза как при осуществлении экологического мониторинга, так и при оценке устойчивости растений. Объективные данные получают на основе анализа таких кинетических параметров, как фоновая флуоресценция (F_0), максимальная флуоресценция (F_m) и стационарная флуоресценция (F_s) [6].

Цель исследования – изучение пигментного комплекса растений *Dioscorea alata* L., выращенных на модифицированном ионообменном субстрате с добавлением гидрогелей, для оптимизации условий их адаптации.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования служили растения диоскорей крылатой (*Dioscorea alata* L.), что было обусловлено их ценными хозяйственными, фармакологическими и декоративными свойствами.

Черенки *Dioscorea alata* L. укореняли на биотехнических комплексах, установленных в закрытом помещении с искусственным освещением, на которых размещали пластиковые контейнеры размером 20×20 см² с вариантами модифицированного субстрата. Объем субстрата в контейнере составлял 1,6 л. Густота посадки – 5 черенков в контейнере. В качестве источника света использовали натриевые лампы ДНаТ-400, температуру поддерживали на уровне 20 ± 2 °C [3].

Для повышения влагоемкости корнеобитаемой среды использовали разного состава и размера гранулы гидрогелей. Модификацию субстрата осуществляли путем внесения определенного количества гидрогеля марки ECOFLOC A-07 (КНР) в следующих вариантах: гидрогель без удобрений крупной и мелкой фракции, гидрогель с бентонитом, гидрогель с гуматом, гидрогель K⁺ (вариант представляет собой полиакриламид на основе калия). Гель в дозах 1,0 и 0,5 г/л вносили в субстрат ТРИОНА® после предварительного его набухания [4].

Определение фотосинтетических пигментов осуществляли согласно методике, приведенной в работе [7].

Флуоресценцию Хл исследовали с помощью флуориметра СМ 2203. В качестве источника света использовали натриевые лампы ДНаТ-400. Спектры излучения (фотоиндукционные кривые) записывали в диапазоне 600–780 нм, при возбуждающем свете 450 нм, щели 5 нм и с шагом 2 нм. По кривым флуоресценции вычисляли коэффициенты спада флуоресценции Rfd.

Для количественной характеристики формы спектра флуоресценции Хл использовали параметр ω , равный отношению максимальных значений интенсивности флуоресценции в области 730–750 и 685 нм [8]: $\omega = F_{740}/F_{685}$.

Другой информативный показатель, коэффициент спада флуоресценции (Rfd), характеризующий квантовую эффективность фотосинтеза, вычисляли по формуле $Rfd = (F_m - F_s)/F_s$, где F_m и F_s – соответственно максимальный и стационарный уровни флуоресценции, получаемые из фотоиндукционных кривых. Величина Rfd получила также название индекса жизнеспособности [9, 10].

Чтобы определить значения стационарного уровня флуоресценции, записывали исходные фотоиндукционные кривые Хл сегментов листьев опытных растений площадью 3–4 см². Для получения максимального уровня флуоресценции Хл данные сегменты листьев помещали в 0,01 %-ный раствор диурона на 50 мин, затем повторно записывали кривые флуоресценции.

Для статистической обработки экспериментальных данных использовали прикладные пакеты программ STATISTICA 6.0 и статистические методы, применяемые для биологических исследований [11].

Результаты и их обсуждение. Содержание пигментов в листьях укорененных черенков *Dioscorea alata* L. было изучено в вариантах с добавлением в субстрат разного количества гидрогеля.

Показатели содержания Хл *a*, Хл *b*, каротиноидов (car) и их соотношений в листьях *Dioscorea alata* L. в зависимости от композиционного состава ионообменного субстрата Триона® представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Содержание Хл *a*, Хл *b*, *car* и их соотношение в листьях *Dioscorea alata* L. при добавлении 1 г/л гидрогеля в состав ионообменного субстратаTable 1. The content of Chl *a*, Chl *b*, *car* and their ratio in the leaves of *Dioscorea alata* L. with the addition of 1 g/l hydrogel to the composition of the ion-exchange substrate

Вариант гидрогеля	Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	<i>car</i>	Хл <i>a</i> + Хл <i>b</i>	Хл <i>a</i> /Хл <i>b</i>	Хл <i>a</i> + Хл <i>b</i> / <i>car</i>
Мелкая фракция	0,867 ± 0,025	0,289 ± 0,016	0,413 ± 0,034	1,156 ± 0,009	3,001 ± 0,264	2,807 ± 0,193
Крупная фракция	0,587 ± 0,037	0,251 ± 0,005	0,267 ± 0,004	0,837 ± 0,041	2,336 ± 0,112	3,128 ± 0,113
С добавлением:						
калия	0,583 ± 0,026	0,297 ± 0,037	0,400 ± 0,011	0,880 ± 0,023	1,980 ± 0,327	2,190 ± 0,071
бентонита	0,569 ± 0,051	0,290 ± 0,052	0,413 ± 0,062	0,859 ± 0,103	1,970 ± 0,186	2,086 ± 0,063
гумата	0,711 ± 0,005	0,297 ± 0,065	0,453 ± 0,039	1,007 ± 0,060	2,473 ± 0,448	2,224 ± 0,055
Контроль	0,749 ± 0,023	0,247 ± 0,005	0,437 ± 0,008	0,996 ± 0,028	3,034 ± 0,028	2,281 ± 0,019

Примечание. Здесь и в табл. 2: $p = 0,05$.

Таблица 2. Содержание Хл *a*, Хл *b*, *car* и их соотношение в листьях *Dioscorea alata* L. при добавлении 0,5 г/л гидрогеля в состав ионообменного субстратаTable 2. The content of Chl *a*, Chl *b*, *car* and their ratio in the leaves of *Dioscorea alata* L. with the addition of 0.5 g/L hydrogel to the composition of the ion-exchange substrate

Вариант гидрогеля	Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	<i>car</i>	Хл <i>a</i> + Хл <i>b</i>	Хл <i>a</i> /Хл <i>b</i>	Хл <i>a</i> + Хл <i>b</i> / <i>car</i>
Мелкая фракция	0,514 ± 0,027	0,204 ± 0,012	0,228 ± 0,013	0,718 ± 0,016	2,558 ± 0,252	3,160 ± 0,106
Крупная фракция	0,405 ± 0,031	0,187 ± 0,034	0,231 ± 0,019	0,593 ± 0,017	2,210 ± 0,510	2,575 ± 0,246
С добавлением:						
калия	0,613 ± 0,022	0,268 ± 0,029	0,401 ± 0,005	0,882 ± 0,008	2,315 ± 0,361	2,195 ± 0,039
бентонита	0,524 ± 0,01	0,252 ± 0,016	0,330 ± 0,002	0,776 ± 0,027	2,078 ± 0,097	2,351 ± 0,097
гумата	0,531 ± 0,016	0,216 ± 0,125	0,369 ± 0,044	0,747 ± 0,109	2,643 ± 1,322	2,024 ± 0,058
Контроль	0,749 ± 0,023	0,247 ± 0,005	0,437 ± 0,008	0,996 ± 0,028	3,034 ± 0,028	2,281 ± 0,019

Как видно из приведенных данных, в условиях *in vivo* с искусственным освещением на ионообменном субстрате как оптимальной среде корнеобитания все изученные варианты имеют достаточно высокие показатели фотосинтетической активности.

Исходя из полученных данных (табл. 1), содержание Хл *a* значительно выше в варианте с добавлением гидрогеля мелкой фракции (на 15 % по отношению к контролю), а в вариантах с калием, бентонитом и крупной фракцией гидрогеля – ниже относительно контроля на 24–25 %. Содержание Хл *b* и *car* по сравнению с контролем различалось несущественно. Обращает на себя внимание тот факт, что содержание *car* в варианте с гидрогелем крупной фракции почти в 2 раза ниже контроля.

В табл. 2 представлены значения содержания Хл *a*, Хл *b*, *car* и их соотношений с использованием различных модификаций композиционного состава ионообменного субстрата Триона® за счет добавления гидрогеля в дозе 0,5 г/л. Согласно полученным данным (табл. 2), уровень Хл *a* во всех изученных вариантах значительно ниже контроля и несущественно отличается от содержания Хл *b* и *car*.

Поскольку условия выращивания исследуемого объекта были одинаковые (гидротермический режим, освещенность), наблюдаемые различия в содержании фотосинтетических пигментов, на наш взгляд, обусловлены введением в состав ионообменного субстрата гидрогелей.

Следует отметить, что наиболее стабилизированным по влажности является вариант ионообменного субстрата марки Триона® с добавлением гидрогеля мелкой фракции в концентрации 1 г/л.

Известно, что на коэффициент флуоресценции Хл (ω) влияют уровень и сбалансированность минерального питания, концентрация CO_2 , освещенность и длительность светового дня, влажность почвы и воздуха. Показано, что величина ω и скорость прироста биомассы определяются одними и теми же факторами, причем оптимальным условиям развития растения соответствует максимальное значение параметра ω [8].

Коэффициенты флуоресценции представлены по вариантам на диаграммах (рис. 2, 3).

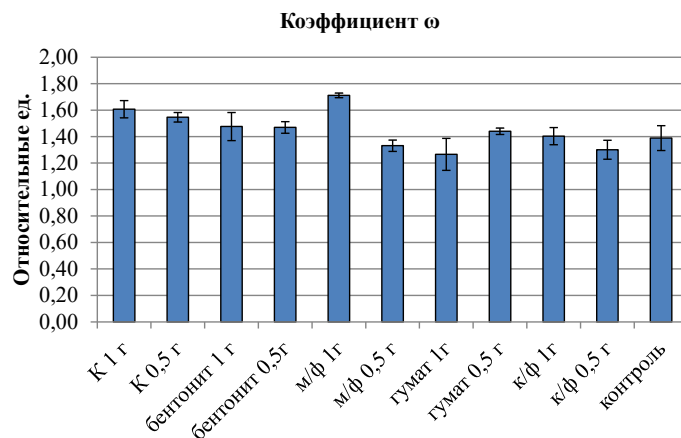


Рис. 2. Коэффициент флуоресценции хлорофилла в листьях *Dioscorea alata* L. (ω) по вариантам модифицированного субстрата при освещении лампами ДНаТ-400

Fig. 2. Chlorophyll fluorescence coefficient in the leaves of *Dioscorea alata* L. (ω) by variants of the modified substrate under illumination with DNaT-400 lamps

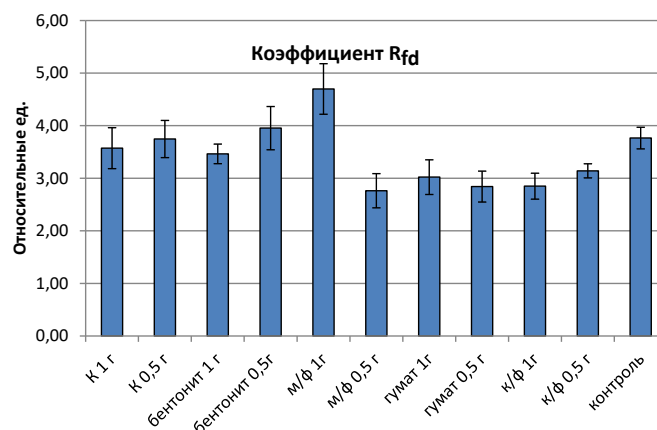


Рис. 3. Индекс жизнеспособности растений *Dioscorea alata* L. (Rfd)

по вариантам модифицированного субстрата при освещении лампами ДНаТ-400

Fig. 3. Viability index of *Dioscorea alata* L. plants (Rfd) by variants of the modified substrate under illumination with DNaT-400 lamps

Согласно нашим данным, при освещении лампами ДНаТ-400 максимальный коэффициент ω наблюдался в варианте с добавлением 1 г мелкой фракции (на 23 % выше, чем в контроле). Также более высокий, чем в контроле, коэффициент был в вариантах с добавлением 0,5 и 1 г гидрогеля с калием (на 11 и 15 % соответственно). Остальные варианты отличались от контроля несущественно.

Максимальная квантовая эффективность фотосинтеза Rfd наблюдалась также в варианте с добавлением 1 г мелкой фракции (на 25 % выше, чем в контроле). В вариантах с добавлением гидрогеля крупной фракции, гумата (в обеих концентрациях) и 1 г мелкой фракции отмечались наиболее низкие значения индекса жизнеспособности Rfd (на 20–27 % ниже контрольного). В остальных вариантах индекс жизнеспособности несущественно отличался от контроля.

Исходя из исследованных параметров флуоресценции Хл, наиболее благоприятные для продуктивности фотосинтеза условия были в варианте с добавлением 1 г/л мелкой фракции и освещении ДНаТ-400.

Заключение. Согласно результатам исследований, различия в содержании фотосинтетических пигментов в листьях *Dioscorea alata* L. связаны с введением в состав ионообменного субстрата Триона® гидрогелей, так как все другие условия выращивания исследуемого объекта были одинаковы.

Список использованных источников

1. Кузнецов, В. В. Физиология растений : учебник / В. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева. – М. : Высш. школа, 2005. – 735 с.
2. Bouman, F. Seed structure and systematics in Dioscoreales / F. Bouman // *Monocotyledons: systematics and evolution: papers presented at the Intern. symp., The Roy. Bot. Gardens, Kew, 18–23 July 1993* : in 2 vol. / ed. : P. J. Rudall [et al.]. – Richmond, 1995. – Vol. 1. – P. 139–156.
3. Янчевская, Т. Г. Оптимизация содержания катионов и анионов в среде корнеобитания для максимального коэффициента размножения картофеля *in vivo* / Т. Г. Янчевская, В. А. Бобров // *Ботаника : исследования*. – 2008. – Т. 35. – С. 495–506.
4. Янчевская, Т. Г. Ионнообменные питательные субстраты – их уникальные свойства и области применения / Т. Г. Янчевская, К. В. Бахнова, А. Л. Ольшаникова // *Ботаника: исследования*. – 2005. – Вып. 33. – С. 361–366.
5. Изучение гелеобразования в водных растворах цистеина и нитрата серебра / М. В. Лавриенко [и др.] // *Физико-химия полимеров: синтез, свойства и применение*. – 2003. – Вып. 9. – С. 125–130.
6. Флуоресценция хлорофилла растений как показатель экологического стресса: теоретические основы применения метода / В. С. Лысенко [и др.] // *Фунд. исслед.* – 2013. – № 4-1. – С. 112–120.
7. Шлык, А. А. О спектрофотметрическом определении хлорофиллов *a* и *b* / А. А. Шлык // *Биохимия*. – 1968. – Т. 33, № 2. – С. 275–285.
8. Метод определения функционального состояния растений по спектрам флуоресценции хлорофилла: техника биомониторинга : метод. рекомендации / К. Б. Асланиди [и др.]. – Пушчино : Науч. центр биол. исслед., 1988. – 42 с.
9. Lichtenthaler, H. K. Light adaptation and senescence of the photosynthetic apparatus. Changes in pigment composition, chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic activity / H. K. Lichtenthaler, K. Babani // *Chlorophyll fluorescence: a signature of photosynthesis* / ed. : G. C. Papageorgiou, Govindjee. – Dordrecht ; London, 2004. – P. 713–736.
10. Lichtenthaler, H. K. How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio R_{fd} of leaves with the PAM fluorometer / H. K. Lichtenthaler, C. Buschmann, M. Knapp // *Photosynthetica*. – 2005. – Vol. 43, N 3. – P. 379–393. <https://doi.org/10.1007/s11099-005-0062-6>
11. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика : учеб. пособие / П. Ф. Рокицкий. – Изд. 3-е, испр. – Минск : Высш. школа, 1973. – 318 с.

References

1. Kuznetsov V. V., Dmitrieva G. A. *Plant physiology*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2005. 735 p. (in Russian).
2. Bouman F. Seed structure and systematics in Dioscoreales. *Monocotyledons: systematics and evolution: papers presented at the Intern. symp., The Roy. Bot. Gardens, Kew, 18–23 July 1993*. Vol. 2. Richmond, 1995, pp. 139–156.
3. Yanchevskaya T. G., Bobrov V. A. Optimizing the content of cations and anions in the environment corneometry for maximum multiplication factor of potato *in vivo*. *Botanika: issledovaniya* [Botany: research], 2008, vol. 35, pp. 495–506 (in Russian).
4. Yanchevskaya T. G., Bakhnova K. V., Ol'shanikova A. L. Ion exchange nutrient substrates – their unique properties and applications. *Botanika: issledovaniya* [Botany: research], 2005, vol. 33, pp. 361–366 (in Russian).
5. Lavrienko M. V., Ovchinnikov M. M., Khizhnyak S. D., Pakhomov P. M. Study of gelation in aqueous solutions of cysteine and silver nitrate. *Fiziko-khimiya polimerov: sintez, svoistva i primeneniye* [Physicochemistry of polymers: synthesis, properties and application], 2003, no. 9, pp. 125–130 (in Russian).
6. Lysenko V. S., Varduni T. V., Soier V. G., Krasnov V. P. Plant chlorophyll fluorescence as an environmental stress characteristic: a theoretical basis of the method application. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2013, no. 4-1, pp. 112–120 (in Russian).
7. Shlyk A. A. About spectrometric determination of chlorophylls *a* and *b*. *Biokhimiya* [Biochemistry], 1968, vol. 33, no. 2, pp. 275–285 (in Russian).
8. Aslanidi K. B., Shalapenok A. A., Karnaukhov V. N., Berestovskaya N. G., Shavkin V. I. *Method for determining the functional state of plants by chlorophyll fluorescence spectra: biomonitoring technique*. Pushchino, Scientific Center for Biological Research, 1988. 42 p. (in Russian).
9. Lichtenthaler H. K., Babani K. Light adaptation and senescence of the photosynthetic apparatus. Changes in pigment composition, chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic activity. *Chlorophyll fluorescence: a signature of photosynthesis*. Dordrecht, London, 2004, pp. 713–736.
10. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio R_{fd} of leaves with the PAM fluorometer. *Photosynthetica*, 2005, vol. 43, no. 3, pp. 379–393. <https://doi.org/10.1007/s11099-005-0062-6>
11. Rokitskii P. F. *Biological statistics*. 3rd ed., rev. Minsk, Vysshaya shkola Publ., 1973. 318 p. (in Russian).

Информация об авторе

Карасева Елена Николаевна – науч. сотрудник. Институт экспериментальной ботаники НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: ledymc_net@mail.ru

Information about the author

Alena N. Karasiova – Researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ledymc_net@mail.ru