

УДК 634.74-047.44:577.118

Я. Л. Страх, Е. В. Феськова, О. С. Игнатовец

Белорусский государственный технологический университет

ПОПУЛЯЦИОННЫЕ РАЗЛИЧИЯ МАКРО-, МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ И ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА ЛИПИДОВ СЕМЯН МОРОШКИ ПРИЗЕМИСТОЙ (*RUBUS CHAMAEMORUS L.*)

Элементный состав и его соотношение в структуре растительного сырья является показателем адаптивности и изменчивости растений к условиям окружающей среды. Однако существует видоспецифичность, которая обуславливает необходимость изучения минерального состава для разных видов растений. Морошка приземистая (*Rubus chamaemorus L.*) является редким для Республики Беларусь видом, нуждающимся в защите и охране, однако имеющим в себе большой потенциал. В статье представлены результаты по определению макро- и микроэлементного состава различных частей морошки, сделаны выводы о популяционных различиях в зависимости от соотношения биогенных элементов. Определен жирно-кислотный состав липидов семян плодов, который варьирует в зависимости от популяций и климатических условий произрастания данного вида. Установлено, что доминирующими жирными кислотами в составе триацилглицеридов являются линолевая (ω -6), линоленовая (ω -3) и олеиновая (ω -9). Сделан вывод, что заказник «Лонно» является наиболее оптимальным с точки зрения условий произрастания данного вида.

Ключевые слова: морошка приземистая (*Rubus chamaemorus L.*), жирно-кислотный состав липидов, макроэлементы, микроэлементы, популяция, адаптация, экологическая чистота.

Для цитирования: Страх Я. Л., Феськова Е. В., Игнатовец О. С. Популяционные различия макро-, микроэлементного состава растений и жирнокислотного состава липидов семян морошки приземистой (*Rubus chamaemorus L.*) // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 94–100.

Ya. L. Strakh, A. Feskova, O. S. Ignatovets

Belarusian State Technological University

POPULATION DIFFERENCES IN MACRO-, MICROELEMENTAL COMPOSITION OF PLANTS AND FATTY ACID COMPOSITION OF SEED LIPIDS OF CLOUDBERRY (*RUBUS CHAMAEMORUS L.*)

The elemental composition and its ratio in the composition of plant materials is an indicator of the adaptability and variability of plants to environmental conditions. However, there is species specificity, which necessitates the study of the mineral composition for different plant species. Squat cloudberry (*Rubus chamaemorus L.*) is a rare species for the Republic of Belarus which is wanted for saving and protection, but it has a great potential. The article presents the results of the macro- and microelement composition of various parts of the cloudberry determining, it is drawn conclusions about population differences depending on the ratio of biogenic elements. The fatty acid composition of lipids of fruit seeds was determined, which varies depending on the populations and climatic conditions of growth of this species. It has been established that the dominant fatty acids in the composition of triacylglycerides are linoleic (ω -6), linolenic (ω -3) and oleic (ω -9). It was concluded that the Lonno reserve is the most optimal from the point of view of the growing conditions of this species.

Key words: cloudberry (*Rubus chamaemorus L.*), fatty acid composition of lipids, macroelements, microelements, species specificity, population, adaptation, ecological purity.

For citation: Strakh Ya. L., Feskova A., Ignatovets O. S. Population differences in macro-, microelemental composition of plants and fatty acid composition of seed lipids of cloudberry (*Rubus chamaemorus L.*). *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 94–100 (In Russian).

Введение. Современные темпы роста промышленных мощностей с одновременным ростом численности населения обеспечивают людей всеми необходимыми видами сырья, материалов и продукции. Однако данный факт

вносит не только положительные аспекты в жизнедеятельность каждого индивида и общества в целом, но и негативные, одним из которых является ухудшение экологического состояния окружающей среды.

Под негативное воздействие попадает не только человек как высшая форма жизни, но и растения, которые страдают сами, однако потенциально могут принести вред человеку. Существует проблема экологической чистоты растительного сырья, которая является актуальной в настоящее время.

Растения содержат ряд макро- и микроэлементов, обладающих высоким биологическим потенциалом. Однако состав и соотношение элементов зависит от генетических особенностей вида, фазы развития растения, факторов окружающей среды, почвенных, природно-климатических и ландшафтно-геохимических условий произрастания [1].

Техногенная нагрузка, оказываемая на биогеоценоз, провоцирует аккумуляцию различных элементов, в том числе и нежелательных для определенных видов растений.

В последние годы получены сведения о биогеоценности целого ряда микроэлементов, которые раньше не рассматривались в качестве факторов, необходимых для жизнедеятельности [2]. Следовательно, требует внимания задача определения степени негативного воздействия факторов окружающей среды на популяции охраняемых видов.

Морошка приземистая (*Rubus chamaemorus* L.) является редким реликтовым растением на территории Республики Беларусь, где проходит южная граница ее ареала обитания. Так как таксон включен в Красную книгу Беларуси и относится ко II национальной категории охраны (соответствует статусу EN по Международной системе IUCN), он нуждается во внимании с целью обеспечения сохранности вида на данной территории.

На сегодняшний день актуальным является исследование видоспецифичности элементного и жирнокислотного состава дикорастущего сырья морошки приземистой.

Изучение популяционных различий, установление закономерностей и особенностей вида позволит сформировать рекомендации для осуществления активных способов ее защиты и сохранения.

Основная часть. Цель настоящей работы – количественное определение макро- и микроэлементов морошки приземистой для оценки видоспецифичности, популяционных различий и условий произрастания, а также сравнительный анализ жирнокислотного состава липидов семян плодов морошки приземистой (*Rubus chamaemorus* L.) в зависимости от страны произрастания.

Объектами исследования являлись семена и зола листовых пластинок, черешков, ягод и се-

мян морошки приземистой, полученная согласно ГФ РБ [3].

Макро- и микроэлементный состав образцов золы анализировали с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 (JEOL, Япония).

Результаты определения содержания макро- и микроэлементов в золе частей морошки приземистой (*Rubus chamaemorus* L.) представлены в табл. 1.

Особенности химического состава растений определенной систематической группы проявляются в любых условиях их произрастания. Поэтому аккумулятивный ряд и соотношение элементов идентичен для каждого вида растения независимо от условий его произрастания, однако популяционные различия выявляются в уровне накопления различных элементов [4].

В большинстве обменных процессов в организме минеральные вещества играют значительную роль (водно-солевой, кислотно-щелочной балансы). В то же время, многие ферментные процессы невозможны без их участия.

Из табл. 1 видно, что в листовых пластинках преобладают такие макроэлементы, как $K > Ca > Mg$. Данные результаты демонстрируют видовую специфичность накопления элементов *Rubus chamaemorus* L. [5].

В черешках преобладает K, его содержание больше в 1,5–2 раза, чем в листовых пластинках. Этот факт объясняется тем, что калий – ключевой элемент водно-солевого баланса растения, в котором черешки являются транспортными путями между корневой системой растения и листовой массой, осуществляющий фотосинтез.

Калий задействован в биосинтезе крахмала, жиров, белков и сахарозы, что особенно важно в период плодоношения. При недостатке калия угнетается развитие плодов, бутонов и зачаточных соцветий. Калий защищает от обезвоживания, укрепляет ткани, предупреждает преждевременное увядания цветков, повышает сопротивляемость культур к различного рода патогенам.

Микроэлементы и ферменты на их основе усиливают восстановительную активность тканей и препятствуют заболеванию растений.

При недостаточном поступлении либо отсутствии какого-либо микроэлемента из числа необходимых для роста растения отклоняется от нормы, а также возможно полное прекращение роста, нарушаются метаболические циклы, что может повлечь его гибель [6].

Таблица 1

Содержание макро- и микроэлементов в золе листовых пластинок различных популяций морозники приземистой и в золе черешков

Элемент	Объект исследования			
	Листовые пластинки, РБ, заказник «Лонно», Полоцкий р-н, Витебская обл.	Листовые пластинки, РБ, нацпарк «Нарочанский», Мядельский р-н, Минская обл.	Листовые пластинки, РБ, заказник «Болото Великий Мох», Миорский р-н, Витебская обл.	Черешки, РБ, заказник «Лонно», Полоцкий р-н, Витебская обл.
	Содержание элементов, мг элемента/100 мг золы			
O	26,08 ± 0,10	22,13 ± 0,08	23,67 ± 0,08	16,95 ± 0,09
Na	1,28 ± 0,02	0,58 ± 0,02	0,65 ± 0,02	1,50 ± 0,01
Mg	10,43 ± 0,01	11,38 ± 0,01	12,53 ± 0,01	4,44 ± 0,01
Al	1,14 ± 0,01	0,84 ± 0,01	–	0,72 ± 0,01
Si	0,61 ± 0,01	2,46 ± 0,01	1,97 ± 0,01	0,66 ± 0,01
P	1,20 ± 0,01	1,12 ± 0,01	1,83 ± 0,01	0,40 ± 0,01
S	1,10 ± 0,01	0,62 ± 0,01	1,30 ± 0,01	–
Cl	2,93 ± 0,01	3,35 ± 0,01	2,29 ± 0,01	8,21 ± 0,01
K	30,50 ± 0,01	23,98 ± 0,01	26,52 ± 0,01	53,83 ± 0,01
Ca	19,01 ± 0,01	23,57 ± 0,01	20,47 ± 0,01	7,93 ± 0,01
Mn	0,70 ± 0,01	2,23 ± 0,02	2,52 ± 0,02	0,86 ± 0,02
Fe	0,64 ± 0,02	1,26 ± 0,02	–	0,45 ± 0,02
Cu	1,97 ± 0,04	4,08 ± 0,04	2,85 ± 0,04	2,99 ± 0,03
Zn	2,42 ± 0,05	2,21 ± 0,05	2,77 ± 0,04	1,07 ± 0,04

Результаты определения содержания макро- и микроэлементов в золе плодов и семян морозники приземистой (*Rubus chamaemorus* L.) различных популяций представлены в табл. 2.

При недостатке микроэлементов активность многих ферментов резко снижается. Например, установлено, что при недостатке меди резко падает активность ферментов, в состав которых

входит медь, а именно, полифенолоксидазы и аскорбатоксидазы [7].

Также медь входит в состав пластоцианина, участвующего в фотосинтезе, она повышает стойкость растений к неблагоприятным климатическим условиям, однако при превышении содержания медь проявляет токсическое действие на растение.

Таблица 2

Содержание макро- и микроэлементов в золе ягод и семян морозники приземистой различных популяций

Элемент	Объект исследования			
	Ягоды, РФ	Ягоды, Латвия	Семена, РФ	Семена, Латвия
	Содержание элементов, мг элемента/100 мг золы			
O	23,46 ± 0,06	27,14 ± 0,16	26,14 ± 0,07	25,26 ± 0,12
Na	–	–	–	0,83 ± 0,02
Mg	6,56 ± 0,01	9,00 ± 0,01	11,89 ± 0,01	13,10 ± 0,01
Al	0,69 ± 0,01	–	0,51 ± 0,01	–
Si	1,07 ± 0,01	1,43 ± 0,01	0,69 ± 0,01	0,62 ± 0,01
P	4,12 ± 0,01	2,28 ± 0,01	13,84 ± 0,01	9,57 ± 0,01
S	0,80 ± 0,01	2,13 ± 0,01	1,24 ± 0,01	2,13 ± 0,01
Cl	1,19 ± 0,01	1,12 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,35 ± 0,01
K	50,91 ± 0,01	56,30 ± 0,01	33,66 ± 0,01	45,89 ± 0,01
Ca	2,26 ± 0,01	–	4,42 ± 0,01	–
Mn	0,56 ± 0,01	–	0,23 ± 0,02	–
Fe	0,33 ± 0,01	0,60 ± 0,03	2,14 ± 0,02	1,83 ± 0,03
Cu	5,24 ± 0,02	–	1,73 ± 0,04	–
Zn	2,81 ± 0,03	–	3,32 ± 0,05	–

По данным сведениям можно косвенно сделать вывод о наличии факторов стресса растения. Например, наибольшее содержание меди в составе растений обнаружено в нацпарке «Нарочанский», где наблюдалась недостаточная освещенность популяции.

Необходимо отметить, что для нормальной жизнедеятельности растения железо и марганец должны находиться в соотношении примерно 2,5 : 1,5 [6, 8, 9]. Подобная закономерность наблюдается у растений популяции заказника «Лонно», где определены наиболее оптимальные условия произрастания. Следовательно, популяция заказника обладает наибольшим потенциалом для плодоношения.

Анализ литературных данных и полученных результатов показывает, что наличие макро- и микроэлементов в комплексе с различными классами биологически активных веществ в растениях демонстрирует терапевтический потенциал и дает возможность создания новых биологически активных добавок.

Необходимо отметить, что в растительном сырье содержание элементов соответствует «биологическим» концентрациям и комбинациям, что обеспечивает наилучшую усвояемость в дополнение к синергизму с другими химическими соединениями.

Количественное определение жирно-кислотного состава липидов в семенах проводили по модифицированному методу Welch [10]. Навески образцов 50–70 мг помещали в стеклянные ампулы, приливали 1 см³ раствора 2%-ной серной кислоты в метаноле с внутренним стандартом – маргариновой кислотой (C_{17:0}; 1,35 мг/см³). Ампулы запаивали на газовой горелке, гидролиз триацилглицеридов с одновре-

менным метилированием образующихся жирных кислот проводили при температуре (80 ± 1) °С в течение 4 ч. Затем ампулы охлаждали до комнатной температуры, вскрывали и экстрагировали метиловые эфиры жирных кислот (МЭЖК) гексаном (0,5 см³). МЭЖК разделяли методом газовой хроматографии на приборе Agilent 7820A (Agilent Technologies, США), оснащенный пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой HP-Innowax 0,25 мм × × 30 м × 0,25 мкм (полиэтиленгликоль). Анализ проводили при скорости потока гелия через колонку 1,36 мл/мин; температуре инжектора – 250 °С, детектора – 275 °С, температуре колонки – 150 °С (1 мин), затем температура колонки повышалась со скоростью 2,9 °С/мин до 250 °С и выдерживалась 3 мин. Объем анализируемой пробы – 1 мкл.

Идентификацию метиловых эфиров жирных кислот производили по времени удерживания при разделении стандартных смесей этих веществ (AccuStandart, США) и оценивали в процентах от весового суммарного содержания по отношению к внутреннему стандарту.

В табл. 3 представлены результаты исследования жирнокислотного состава липидов семян морозки. На рисунке изображена хроматограмма испытуемого образца.

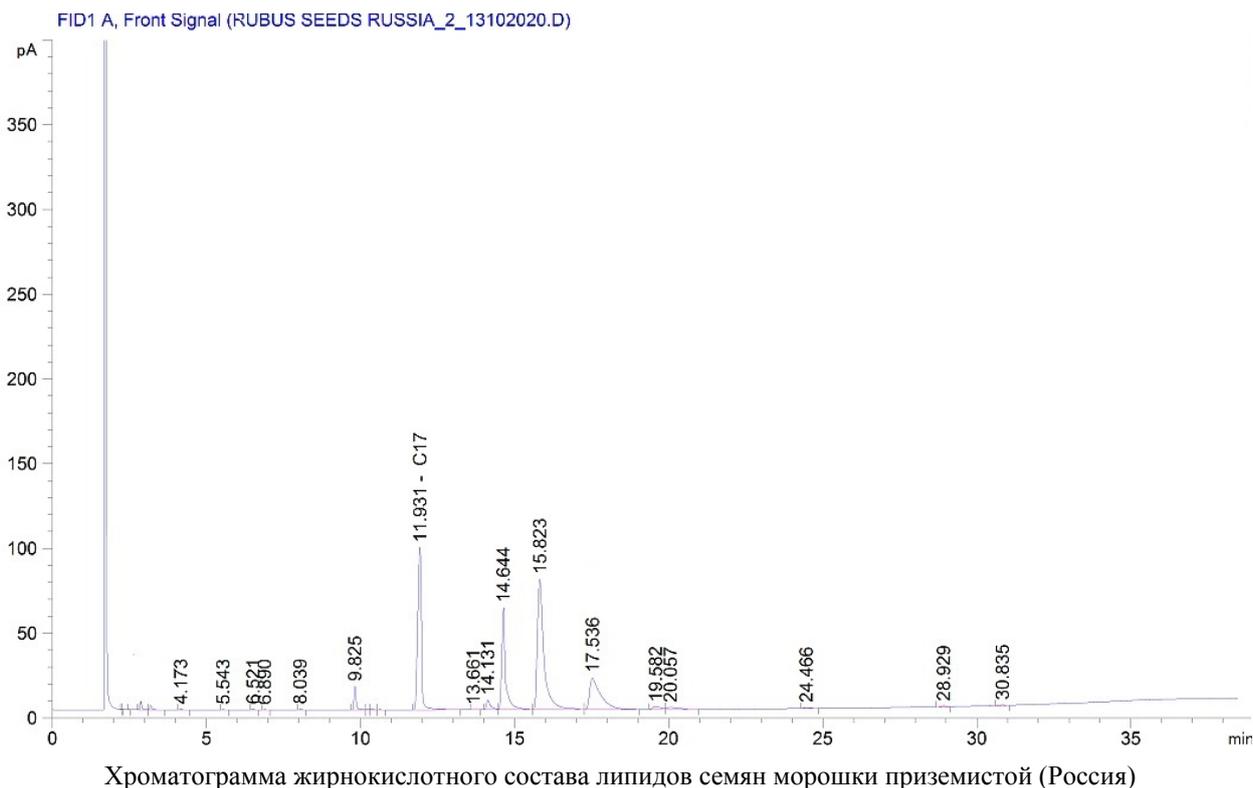
Жирнокислотный состав липидов семян растений, в том числе и морозки приземистой, генетически детерминирован. Однако содержание метаболитов в растениях варьирует и зависит от фенологической фазы, абиотических и антропогенных факторов.

Предполагается, что жирнокислотный состав липидов способствуют адаптации растений к низкотемпературному стрессу [11, 12, 13].

Таблица 3

Жирнокислотный состав липидов семян морозки приземистой

Название	Содержание, %		
	Латвия	РФ, Республика Карелия	Республика Беларусь
Лауриновая кислота C _{12:0}	0,075	0,151	0,128
Миристиновая кислота C _{14:0}	0,091	0,174	0,124
Пальмитиновая кислота C _{16:0}	3,285	3,702	3,485
Пальмитолеиновая кислота C _{16:1}	0,015	0,275	0,257
Стеариновая кислота C _{18:0}	1,760	2,104	2,220
Олеиновая кислота C _{18:1}	18,138	21,263	19,651
Линолевая кислота C _{18:2}	43,614	51,797	37,294
α-Линоленовая кислота C _{α18:3}	27,904	15,195	31,116
Арахидиновая кислота C _{20:0}	1,007	1,046	1,060
Гондоиновая кислота C _{20:1}	0,161	1,108	1,090



Установлено, что со снижением температуры уменьшается текучесть клеточных мембран, что приводит к активации синтеза фермента десатуразы, который участвует в процессе образования полиненасыщенных жирных кислот [14]. Увеличение количества ненасыщенных жирных кислот приводит к восстановлению текучести мембран, тем самым обеспечивая устойчивость растений к низким температурам.

Морозка приземистая является субарктическим видом. Жирнокислотный состав липидов семян *Rubus chamaemorus* L. соответствует уже установленным закономерностям, в них

преобладают линолевая, α -линоленовая и олеиновая кислоты. Содержание преимущественно полиненасыщенных ЖК способствует увеличению их резистентности к низкотемпературному режиму.

Закключение. Результаты исследований показали, что морозка приземистая адаптируется к условиям окружающей среды и по микроэлементному составу растения можно судить о наличии стресса у той или иной популяции. Наиболее оптимальными условиями обитания обладает заказник «Лонно». Популяция является одной из самых перспективных для плодотворения.

Список литературы

1. Барановская Н. В., Черненко Е. В. Особенности накопления химических элементов в чернике обыкновенной (*Vaccinium myrtillus*) на территории Западной Сибири // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2. С. 299–306.
2. Немерешина О. Н., Гусев Н. Ф., Филиппова А. В. Содержание микроэлементов и низкомолекулярных антиоксидантов в чае // *Химия раст. сырья*. 2014. № 2. С. 155–168.
3. Государственная Фармакопея Республики Беларусь II. В 2 т. Т. 2. Контроль качества субстанций для фармацевтического использования и лекарственного растительного сырья / М-во здравоохранения Республики Беларусь, Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении. Минск, 2016. 1367 с.
4. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М.: Гос. изд-во географ. лит-ры, 1961. 496 с.
5. Пристова Т. А., Загирова С. В. Элементный состав растений в предгорных лесах Приполярного Урала Республики Коми // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2018. Т. 20, № 2. С. 142–146.
6. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях / пер. с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.
7. Анспок П. И. Микроудобрения: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Агропромиздат. Ленинград. отд. 1990. 272 с.

8. Ильин В. Б., Сысо А. И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
9. Лебедев С. И. Физиология растений: учебник. М.: Колос, 1982. 463 с.
10. Феськова Е. В., Леонтьев В. Н., Титок В. В. Семена льна масличного сорта Солнечный – источник биологически активных веществ. Труды БГТУ. Сер. IV, Химия, технология орган. в-в и биотехнология. 2009. Вып. XVII. С. 201–203.
11. Новицкая Г. В., Суворова Т. А., Трунова Т. И. Липидный состав листьев в связи с холодостойкостью растений томатов // Физиология растений. 2000. Т. 47, № 80. С. 829–835.
12. Свободные жирные кислоты и адаптация организмов к холодному климату Якутии / В. В. Нохсоров [и др.] // Вестн. Бурят. гос. с.-х. акад. им. В. Р. Филиппова. 2015. Т. 58, № 30. С. 329–356.
13. Особенности жирнокислотного состава некоторых растений Якутии в период формирования криорезистентности / К. А. Петров [и др.] // Вестн. Северо-Вост. фед. ун-та им. М. К. Аммосова. 2011. Т. 8, № 20. С. 26–30.
14. Лось Д. А. Структура, регуляция экспрессии и функционирование десатураз жирных кислот // Успехи биологической химии. 2001. Т. 41. С. 163–198.

References

1. Baranovskaya N. V., Chernenkaya E. V. Features of the accumulation of chemical elements in common bilberry (*Vaccinium myrtillus*) on the territory of Western Siberia. *Fundamental'nyye issledovaniya* [Basic research], 2015, no. 2, pp. 299–306 (In Russian).
2. Nemereshina O. N., Gusev N. F., Filippova A. V. The content of trace elements and low molecular weight antioxidants in tea. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant materials], 2014, no. 2, pp. 155–168 (In Russian).
3. *Gosudarstvennaya Farmakopeya Respubliki Belarus' II. V 2 tomakh. Tom 2. Kontrol kachestva substansiy dlya farmatsevticheskogo ispol'zovaniya i lekarstvennogo rastitel'nogo syr'ya* [The State Pharmacopoeia of the Republic of Belarus II. In 2 vol. Vol. 2. Quality control of substances for pharmaceutical use and medicinal plant materials]. Minsk, 2016. 1367 p.
4. Perelman A. I. *Geokhimiya landshafta* [Landscape geochemistry]. Moscow, Gosudarstvennoye izdatel'stvo geograficheskoy literatury Publ., 1961. 496 p.
5. Pristova T. A., Zagirova S. V. Elemental composition of plants in the foothill forests of the Subpolar Urals of the Komi Republic. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2018, no. 2, vol. 20, pp. 142–146 (In Russian).
6. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace elements in soils and plants*. CRC Press, Inc. Fourth Printing, 1984. 548 p. (Russ. ed.: Kabata-Pendias A., Pendias H. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh*. Moscow, Mir Publ., 1989. 439 p.).
7. Anspok P. I. *Mikroudobreniya: Spravochnik* [Microfertilizers: Handbook]. Leningrad, Agropromizdat Publ., 1990. 272 p.
8. Ilyin V. B., Syso A. I. *Mikroelementy i tyazhelyye metally v pochvakh i rasteniyakh* [Microelements and heavy metals in soils and plants]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2001. 229 p.
9. Lebedev S. I. *Fiziologiya rasteniy: uchebnik* [Plant physiology. Textbook]. Moscow, Kolos Publ., 1982. 463 p.
10. Feskova E. V., Leontiev V. N., Titok V. V. Seeds of oil-bearing flax varieties Solnechny – a source of biologically active substances. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 4, Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology, 2009, no. 17, pp. 201–203 (In Russian).
11. Novitskaya G. V., Suvorova T. A., Trunova T. I. Lipid composition of leaves in connection with cold resistance of tomato plants. *Fiziologiya rasteniy* [Plant Physiology], 2000, vol. 47, no. 80, pp. 829–835 (In Russian).
12. Nokhsorov V. V., Dudareva L. V., Chepalov V. A., Sofronova V. E., Verkhoturov V. V., Perk A. A., Petrov K. A. Free fatty acids and adaptation of organisms to the cold climate of Yakutia. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii imeni V. R. Filippova* [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov], 2015, vol. 58, no. 30, pp. 329–356 (In Russian).
13. Petrov K. A., Perk A. A., Chepalov V. A., Okhlopko Zh. M. Features of the fatty acid composition of some plants in Yakutia during the formation of cryoresistance. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universita imeni M. K. Ammosova* [Bulletin of the North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov], 2011, vol. 8, no. 20, pp. 26–30 (In Russian).
14. Los D. A. Structure, regulation of expression and functioning of fatty acid desaturases. *Uspekhi biologicheskoy khimii* [Advances in biological chemistry], 2001, vol. 41, pp. 163–198 (In Russian).

Информация об авторах

Страх Яна Леонидовна – аспирант кафедры биотехнологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: y.strakh@gmail.com

Феськова Елена Владимировна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры биотехнологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lena.feskova@mail.ru

Игнатовец Ольга Степановна – кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ignatovets@belstu.by

Information about the authors

Strakh Yana Leonidovna – PhD student, the Department of Biotechnology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: y.strakh@gmail.com

Feskova Alena – PhD (Engineering), Senior Researcher, the Department of Biotechnology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lena.feskova@mail.ru

Ignatovets Olga Stepanovna – PhD (Biology), Assistant Professor, the Department of Biotechnology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ignatovets@belstu.by

Поступила 15.10.2020