Оригинальная статья / Original article
УДК 582.736:581.22+581.9
DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-36-44

Динамика накопления аскорбиновой кислоты в надземной фитомассе *Galega orientalis* Lam.

Инеcса В. Кравченко¹, Екатерина А. Моисеева¹, Марина В. Устинова¹,
Людмила Ф. Шепелева²

¹Сургутский государственный университет, Сургут, Россия

²Томский государственный университет, Томск, Россия

Контактное лицо

Инеcса В. Кравченко, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Сургутский государственный университет; 628400 Россия, г. Сургут, пр. Ленина, 1.

Тел. +79527067657

Email kravinessa@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5050-6622>

Формат цитирования

Кравченко И.В., Моисеева Е.А., Устинова М.В., Шепелева Л.Ф. Динамика накопления аскорбиновой кислоты в надземной фитомассе *Galega orientalis* Lam. // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, N 1. С. 36-44. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-36-44

Получена 6 марта 2020 г.

Прошла рецензирование 5 августа 2020 г.

Принята 21 сентября 2020 г.

Резюме

Цель. Провести анализ закономерностей содержания аскорбиновой кислоты в зелёной массе галеги восточной (*Galega orientalis* Lam.), сорт Гале, возделываемого в условиях интродукции с целью разработки эффективного метода увеличения кормовой продукции.

Материал и методы. Рассматривалось влияние следующих факторов на накопление аскорбиновой кислоты в растениях: предпосевная подготовка семян, наличие покровной культуры (гороха), условия возделывания, метеорологические факторы и биологический возраст травостоя за трёхлетний период.

Результаты. Установлено, что растительная масса *Galega orientalis* Lam. является источником аскорбиновой кислоты после вступления растений в генеративную фазу развития с преимущественной локализацией витамина в листьях (96%). Выявлены закономерности накопления аскорбиновой кислоты в зелёной фитомассе *Galega orientalis* Lam. в зависимости от среднесуточной температуры вегетационного периода ($r = -0,69$) и удельной листовой поверхности ($r = -0,83-0,88$).

Заключение. Полученные данные также свидетельствуют о статистически значимом положительном влиянии микробиологического удобрения Байкал-ЭМ1, используемого для инокуляции семян в период подготовки к посеву, и отрицательном воздействии покровной культуры на накопление аскорбиновой кислоты в растительной массе *Galega orientalis* Lam. в его виргинильный и генеративный периоды развития.

Ключевые слова

Galega orientalis Lam., сорт Гале, галега восточная, аскорбиновая кислота, Байкал-ЭМ1, кормовые растения, интродукция.

Dynamics of ascorbic acid accumulation in the aboveground phytomass of *Galega orientalis* Lam.

Inessa V. Kravchenko¹, Ekaterina A. Moiseeva¹, Marina V. Ustinova¹ and Lyudmila F. Shepeleva²

¹Surgut State University, Surgut, Russia

²Tomsk State University, Tomsk, Russia

Principal contact

Inessa V. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Surgut State University; 1 Lenin Ave., Surgut, Russia 628400. Тел. +79527067657

Email kravinessa@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5050-6622>

How to cite this article

Kravchenko I.V., Moiseeva E.A., Ustinova M.V., Shepeleva L.F. Dynamics of ascorbic acid accumulation in the aboveground phytomass of *Galega orientalis* Lam. *South of Russia: ecology, development*. 2021, vol. 16, no. 1, pp. 36-44. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2021-1-36-44

Received 6 March 2020

Revised 5 August 2020

Accepted 21 September 2020

Abstract

Aim. To analyse the patterns of ascorbic acid content in the green mass of *Galega orientalis* (*Galega orientalis* Lam.), Gale variety, cultivated under introductory conditions to develop an effective method for increasing feed production.

Material and Methods. The influence of the following factors on the accumulation of ascorbic acid in plants was considered: pre-sowing seed preparation, the presence of a cover crop (pea), cultivation conditions, meteorological factors and the biological age of the grass stand over a three-year period.

Results. It was established that the plant mass of *Galega orientalis* is a source of ascorbic acid after plants enter the generative phase of development with predominant localization of vitamins in the leaves (96%). Patterns were revealed of ascorbic acid accumulation in the green phytomass of *Galega orientalis* depending on average daily temperature during the vegetation period ($r = -0.69$) and specific leaf surface ($r = -0.83-0.88$).

Conclusion. The data obtained also indicate a statistically significant positive effect of using Baikal-EM1 microbiological fertilizer for seed inoculation during preparation for sowing, and a negative effect of the cover crop on the accumulation of ascorbic acid in the plant mass of *Galega orientalis* in its virginal and generative periods of development.

Key Words

Galega orientalis Lam., Gale variety, eastern Galega, ascorbic acid, Baikal-EM1, forage plants, introduction.

ВВЕДЕНИЕ

Галега восточная (*Galega orientalis* Lam.) является довольно перспективным объектом современных исследований и характеризуется высокой продуктивностью [1], лёгкостью получения семян, хорошими медоносными и отличными кормовыми качествами [2]. Кроме того, в литературе отмечены фиторемедиационные свойства *Galega orientalis* по отношению к нефтяным поллютантам, что связано со способностью к азотфиксации и особой микрофлорой ризосферы этого вида растений [3]. Как показали предыдущие исследования, *Galega orientalis* имеет большой потенциал и высокие адаптивные возможности для выращивания в условиях Ханты-Мансийского автономного округа – Югры [3] и Заполярья [4].

Одним из показателей успешности интродукции растений в северных условиях может служить показатель содержания аскорбиновой кислоты (АК), являющейся неферментативным антиоксидантом, способствующим удалению активных форм кислорода и формированию стрессоустойчивости растений [5]. Имеются данные о влиянии АК на повышение выживаемости молодых растений и диазотрофной эффективности азотфиксирующих растений в условиях стресса [6]. В современных генетических исследованиях показано положительное влияние АК и ферментов системы АК на холодоустойчивость [7] и морозостойкость растений [8]. Аскорбиновая кислота, благодаря её способности обратимо окисляться и восстанавливаться, входит в антиоксидантную систему защиты растений. Показано, что введение экзогенной АК в опыте с токсическим действием тяжёлых металлов (Pb), уменьшало окислительное повреждение за счет усиления активности антиоксидантных ферментов, подавляло действие малонового диальдегида и перекиси, способствовало улучшению ростовых характеристик и замедляло деградацию хлорофилла [9]. Однако, некоторые исследователи указывают на возможное ингибирующее действие высоких концентраций экзогенной АК [10].

На динамику образования витамина С в растениях большое влияние оказывает рост и развитие самого растения. В целом можно сказать, что ход накопления витамина С в растениях определяется многими одновременно идущими процессами.

Как известно, полноценность корма для животных характеризуется наличием не только белков, жиров и углеводов, но и содержанием в нем витаминов. Растения рода *Galega* характеризуются полноценными кормовыми качествами, и содержит в своём составе значительные количества белков, флавоноидов, витаминов, фенольных соединений, микроэлементов (Mn, Cu, Se) [11; 12].

Аскорбиновая кислота, благодаря ее способности обратимо окисляться и восстанавливаться, входит в антиоксидантную систему защиты растений, предохраняя клетки от активных форм кислорода, образующихся в результате окислительного стресса [13]. Поэтому, особый интерес при исследовании степени адаптации *Galega orientalis* при введении его в культуру вызывает изучение его системы аскорбиновой кислоты как антистрессового фактора растения.

Цель: провести анализ закономерностей содержания аскорбиновой кислоты в зелёной массе *Galega orientalis*, возделываемого в условиях интродукции с целью разработки эффективного метода увеличения кормовой продукции.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования послужила галега восточная (*Galega orientalis*) сорта Гале. Этот сорт выведен во Всесоюзном НИИ кормов им. В.Р. Вильямса и Эстонском НИИ земледелия и мелиорации массовым отбором из естественной флоры и интродукцией диких популяций. В «Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию» включен в 1998 по всем регионам Российской Федерации. Семена приобретены в ООО АФ «Семена Приобья» в Новосибирской области, г. Новосибирск, категории РС1 (1 репродукция) в 2013 году.

Изучали динамику накопления АК в её листьях и стеблях в зависимости от предпосевной подготовки семян и покровной культуры, условий возделывания, метеорологических факторов, возраста травостоя.

Влияние указанных факторов на накопление АК у растений *Galega orientalis* изучались на территории опытной площадки Сургутского района, Ханты-Мансийского автономного округа-Югры (п. Барсово) в течение трех лет (2013-2015 гг.) Территория опытной площадки характеризуется прохладным климатом со значительным увлажнением и песчаной подзолистой окультуренной почвой.

Опыт был заложен по методике Б.А. Доспехова [14], площадь учетной делянки составляла 0,25 м², со случайным размещением вариантов.

Схема опыта:

1. Посев неинокулированных семян (Контроль);
2. Посев инокулированных Байкалом-ЭМ1 семян;
3. Посев неинокулированных семян галеги под покров гороха.

Мелко деляночный полевой опыт закладывался в 4-х кратной повторности методом рендомизированных организованных повторений в два яруса. Площадь учетной делянки 1,5 м², Площадь одного варианта 6 м². Общая учетная площадь 18 м². Исследования проводились в течение 3-х лет (2013-2015 гг.), в 3-х последовательных по времени закладках в 2013, 2014 и 2015 гг.

Скарифицировали и высевали семена вручную. Норма высева 2,8 млн всхожих семян/га. Предпосевную инокуляцию семян микробиологическим удобрением Байкал-ЭМ1 проводили согласно рекомендации по применению препарата. Производитель Байкал-ЭМ1 – республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ООО НПО ЭМ-Центр.

Анализ аскорбиновой кислоты проводили по методу E.J. Hewitt and G.J. Dickes [15] в модификации Г.Н. Чупахиной [16].

Работа выполнена на кафедре биологии и биотехнологии института Естественных и технических наук и в Научно-образовательном центре Сургутского государственного университета.

Исследования проведены при финансовой поддержке Департамента образования и молодежной политики Ханты-Мансийского автономного округа –

Югры в рамках проекта «Технология выращивания и извлечения биологически активных соединений северных ягодных культур и лекарственных трав (ЮграБиоФарм)».

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью пакета программ «Microsoft Office Excel 2016» и пакета программ «STATISTICA 6.0». При статистическом анализе вычисляли среднее арифметическое анализируемых параметров и стандартную ошибку ($\bar{X} \pm S_x$) [14]. Для определения уровня изменчивости признаков вычисляли коэффициент вариации ($V, \%$). Достоверность различий определяли по критерию существенности различий (t – критерию Стьюдента) при числе степеней свободы $n' = (n_1 + n_2) - 2 = 4$ и уровне значимости $p = 0,05$.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате наших исследований установлено, что в надземной части (листья и стебли) *Galega orientalis* содержится витамин С и динамика его накопления зависит от возраста травостоя, варианта опыта и метеорологических условий года возделывания.

Так, в среднем за три года исследований, концентрация аскорбиновой кислоты в растительной массе *Galega orientalis* варьировала от 26,2 до 62,45 мг%.

При сравнении показателя содержания витамина С в растительной массе по годам вегетации

Galega orientalis выяснили, что характер изменения в накоплении аскорбиновой кислоты в значительной степени определялся возрастом травостоя. Так, к третьему году жизни интродукта среднее содержание АК возросло в 1,6 раз (59,7 мг%) по сравнению с теми же показателями 1 и 2-го годов *Galega orientalis* (36,8 и 39,2 мг% соответственно). Подобная закономерность отмечается также К.Е. Овчаровым [17] в своих работах. Он установил, что содержание витамина С в растениях увеличивается по мере их роста и развития. Как выяснилось, в условиях интродукции только на третий год своего развития *Galega orientalis* вступил в фазу цветения. Известно, что для формирования соцветий необходимо образование питательных веществ и витаминов. В результате ускоренных биосинтетических процессов, происходящих в листьях, АК накапливается более быстрыми темпами. Данный факт объясняет увеличение концентрации АК в растительной массе *Galega orientalis* 3-го года жизни практически в два раза по сравнению с показателями за 1 и 2-й годы вегетации интродукта.

Также нами было отмечено, что изучаемые приемы возделывания *Galega orientalis* оказали существенное влияние на увеличение концентрации витамина С в растительной массе интродукта (табл. 1).

Таблица 1. Содержание аскорбиновой кислоты в растительной массе *Galega orientalis*, сорт Гале, в условиях интродукции (2013-2015 гг.), мг%

Table 1. The content of ascorbic acid in the plant mass of *Galega orientalis*, Gale variety, in conditions of introduction (2013-2015), mg%

(2013-2015), mg%															
Вариант опыта Experimental variant	Посев неинкулированных семян (Контроль) Sowing uninoculated seeds (control)					Посев инокулированных Байкалом-ЭМ1 семян Sowing seeds inoculated with Baikal-EM1					Посев неинкулированных семян под покров гороха Sowing uninoculated seeds under pea cover				
	Листья, Leaves		Стебли, Stems		Всего / Total	Листья, Leaves		Стебли, Stems		Всего / Total	Листья, Leaves		Стебли, Stems		Всего / Total
Орган Organ	$\bar{X} \pm S_x$	V, %	$\bar{X} \pm S_x$	V, %		$\bar{X} \pm S_x$	V, %	$\bar{X} \pm S_x$	V, %		$\bar{X} \pm S_x$	V, %	$\bar{X} \pm S_x$	V, %	
1 год жизни / 1st year of life															
Посев 2013 Seed 2013	24,1±0,62	7,3	2,1±0,08	11	26,2	25,2±0,46	5,2	1,7±0,04	6,4	26,9	27,04±0,38	4,0	1,7±0,06	10,2	28,74
Посев 2014 Seed 2014	36,4±0,3	2,6	4,6±0,08	5,1	41	43,02±0,5*	2,3	6,9±0,08*	3,5	49,9	42±0,4*	2,8	6±0,11*	5,6	48

2 год жизни / 2nd year of life											
Посев 2015 Seed 2015	29±0,5	4,7	1,5±0,15	27,4	30,5	42,2±0,6*	4,1	5,1±0,09*	5,4	47,3	31,1±0,5*
Посев 2013 Seed 2013	40,1±0,05	3,9	3±0,2	19,9	43,1	32,2±0,54*	4,7	2,03±0,37*	24,9	34,23	43,7±0,3*
Посев 2014 Seed 2014	38±0,46	3,4	1,8±0,08	13,3	39,8	29,5±0,62*	5,9	1,5±0,07*	13,4	31	39,7±0,64
3 год жизни / 3d year of life											
Посев 2013 Seed 2013	61,3±0,37	1,7	1,15±1,12	28,7	62,45	59,3±0,57*	2,7	1,57±0,04*	8,8	60,87	54±1,5*
											1,75±0,05*
											8,9
											55,75

Примечание: * – достоверность различий показателя содержания аскорбиновой кислоты в опытных и контрольном вариантах ($p \leq 0,05$)

Note: * – the reliability of the differences in ascorbic acid content in the experimental and control options ($p \leq 0,05$)

Полученные нами данные свидетельствуют о статистически значимом влиянии Байкала-ЭМ1, используемого для инокуляции семян, на накопление витамина С в зелёной массе *Galega orientalis* в его виргинальный период развития. Так, в первый год своего развития концентрация АК в растениях, выращенных из инокулированных семян, увеличилась на 21% ($26,9\text{--}47,1 \pm 3,7$ мг%, $V = 27,0\%$) по сравнению с контролем ($26,2\text{--}43,7 \pm 2,4$ мг%, $V = 22,1\%$). На второй год своего развития в растениях, выращенных из инокулированных семян, напротив, наблюдалось снижение изучаемого показателя на 21% ($30,5\text{--}35,8 \pm 0,79$ мг%, $V = 5,9\%$) по сравнению с контрольными данными ($26,2\text{--}43,7 \pm 2,4$ мг%, $V = 22,1\%$). В варианте опыта с бинарным посевом *Galega orientalis* с горохом за два года исследований существенных различий в показателях содержания витамина С в растительной массе по сравнению с результатами контрольных образцов растений, не наблюдалось ($26,4\text{--}51,4 \pm 3,07$ мг%, $V = 25,34\%$ – первый год, $40,2\text{--}48,4 \pm 0,97$ мг%, $V = 6,64\%$ – второй год развития). На третий год вегетации *Galega orientalis* концентрация витамина С в растительной массе растений с контрольного варианта опыта и с варианта с применением микробиологического удобрения была идентична и составила $57,4\text{--}62,4 \pm 0,62$ мг%, $V = 3,1\%$. Однако, у растений с третьего варианта опыта, отмечено достоверное снижение содержания аскорбиновой кислоты в растительной массе на 10,7 мг% ($55,0\text{--}58,4 \pm 0,5$ мг%, $V = 2,8\%$) по сравнению с контрольными данными ($60,4\text{--}65,3 \pm 0,5$ мг%, $V = 2,5\%$).

Нами был проведен корреляционный анализ показателей количественного содержания витамина С с удельной листовой поверхностью (УЛПР) *Galega*

orientalis. Выявлено наличие высокой отрицательной корреляционной зависимости между АК и УЛПР как в первый год исследования ($r = -0,83$, $r^2 = 0,65$, $y = 49,77 - 2,46 \cdot x$), так и на второй год жизни культуры ($r = -0,88$, $r^2 = 0,77$, $y = 77,93 - 6,99 \cdot x$). По-видимому, увеличение освещенности в посевах интродуктора повлекло за собой стрессовое состояние для растений и включение механизмов их защиты, что, в свою очередь, привело к снижению УЛПР и повышению концентрации витамина С в растительной массе *Galega orientalis*. Однако, необходимо отметить, что на третий год вегетации *Galega orientalis* обнаружена очень высокая положительная корреляционная связь между изучаемыми параметрами ($r = 0,99$, $r^2 = 0,98$, $y = 42,25 + 3,05 \cdot x$). Как отмечалось нами ранее, снижение УЛПР связано с изреживанием посевов *Galega orientalis*, но за счет роста сорной растительности наблюдалось снижение освещенности культуры и, как следствие этого, снижение содержания витамина С.

Для более полного анализа накопления витамина С в растениях *Galega orientalis* мы изучили содержание АК в надземных органах интродуктора. В ходе исследований нами выявлено, что основным местом локализации витамина являются листья (табл. 1, рис. 1).

Как известно, биосинтез витамина С связан с фотосинтетической деятельностью растения. Исходя из этого, содержание АК различно в разных частях одного и того же растения. Максимальное накопление витамина С приходится на наиболее активные части растений – на листовую пластинку и завязь [18]. Данная закономерность нашла отражение в наших исследованиях.

Рисунок 1. Среднее содержание витамина С в надземных органах *Galega orientalis*, сорт Гале, в зависимости от года жизни интродукта (2013-2015 гг.) мг%:

А – в стеблях, Б – в листовой пластинке

Figure 1. The average content of vitamin C in the aerial organs of *Galega orientalis*, Gale variety, depending on the year of life of the introduced species (2013-2015), (mg %):

А – in the stalk, Б – in the leaf blade

В среднем, за годы исследований в листьях *Galega orientalis* локализуется до 96% витамина С от общего содержания в растительной массе. На долю стеблей приходится всего 4%. При этом, с увеличением возраста травостоя, наблюдается снижение концентрации АК в стебле и отток ее в листья (рис. 1). Концентрация витамина С в листовой пластинке растений 1-го года жизни варьировала в пределах $33,3 \pm 2,02$ мг% ($V=10,5\%$) и достоверно возрастала ($p \leq 0,05$) со второго года вегетации с $37,2 \pm 3,3$ мг% ($V=15,1\%$) до $58,2 \pm 2,1$

мг% ($V=6,5\%$) у растений 3-го года. В динамике накопления аскорбиновой кислоты в стеблях соответственно отмечена обратная тенденция. Содержание АК в зависимости от возраста интродукта достоверно ($p \leq 0,05$) снижалось с $3,4 \pm 0,6$ мг% ($V=28,9\%$) до $1,9 \pm 0,2$ мг% ($V=19,3\%$) и $1,5 \pm 0,2$ мг% ($V=20,7\%$) (1, 2-й и 3-й года жизни, соответственно).

Исследования многих авторов доказывают, что на содержание витамина С большое влияние оказывают условия произрастания растения. В

частности, установлено, что растения, произрастающие в южных и долинных районах, накапливают аскорбиновой кислоты меньше чем растения, произрастающие в северных и горных районах. Данную закономерность связывают с благоприятным действием низких температур на усиление биосинтеза витамина С и, как следствие этого, повышение устойчивости

растений к воздействию пониженных температур. Подобная закономерность нашла отражение и в нашей работе. С понижением среднесуточной температуры воздуха за вегетационный период на 1,1°C в 2014 году по сравнению с данными за 2013 и 2015 гг., отмечено увеличение содержания витамина С в растительной массе *Galega orientalis* (рис. 2).

Рисунок 2. Содержание витамина С в растительном сырье *Galega orientalis*, сорт Гале, 1-го года вегетации в зависимости от среднесуточной температуры воздуха за вегетационный период
Figure 2. Vitamin C content in plant raw materials of *Galega orientalis*, Gale variety, in the 1st year of vegetation, depending on average daily air temperature during the vegetation season

В результате исследований нами установлена высокая обратная корреляционная связь между содержанием витамина С в растительной массе *Galega orientalis* и среднесуточной температурой воздуха за вегетационный период ($r = -0,69$). Уравнение регрессии имеет следующий вид: $Y = 13,92 - 0,06 \cdot x$, где Y – концентрация витамина С (в диапазоне 26,2 – 48,7 мг%); x – среднесуточная температура воздуха (в интервале 11–12,5°C). Коэффициент корреляции составил -0,69, коэффициент детерминации = 0,47, уравнение парной линейной регрессии: $y = 13,92 - 0,06 \cdot x$. Наши выводы также подтверждаются работами А.Д. Егорова [18] и Г.В. Читановой [19], которые установили, что накопление витамина С интенсивнее происходит при пониженных температурах, а увеличение содержания АК в растениях является приспособительной реакцией.

ВЫВОДЫ

В результате наших исследований установлено, что основная локализация концентрации АК приходится на листовую пластинку растений и зависит от возраста возделывания козлятника восточного и среднесуточной температуры воздуха за вегетационный период. Содержание витамина С в растении можно рассматривать как неспецифическую реакцию в механизме защиты растений на этапе адаптации в

новых условиях. В связи с этим необходимы дальнейшие исследования по динамике накопления АК в онтогенезе интродукта. Проведённые исследования расширяют представления об адаптационных возможностях козлятника восточного при интродукции в северных условиях произрастания, выявлении оптимальных условий выращивания этого вида растений. Полученные данные могут быть использованы для оценки успешности интродукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вагунин Д.А., Капсамун А.Д., Иванова Н.Н. Агрофитоценозы козлятника восточного сенокосного использования на основе новых перспективных сортов // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. Ч. 5. N 6 (48). С. 165-167. DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.091
2. Шайкова Т.В., Баева В.С. Технологические особенности возделывания перспективных сортообразцов козлятника восточного селекции Псковского НИИСХ // АгроЭкоИнженерия. 2017. Вып. 93. С. 89-94.
3. Моисеева Е.А., Бордей Р.Х. Эколого-биологическая оценка козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) как перспективной культуры для интродукции в

условиях г. Сургута // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017. N 10. С. 140-147.

4. Михайлова И.В., Ахтулова Е.М. Перспективы возделывания козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) в условиях Кольского полуострова // Агрохимия. 2013. N 7. С. 49-55.

5. Wang J., Huang R. Modulation of ethylene and ascorbic acid on reactive oxygen species scavenging in plant salt response // *Frontiers in plant science*. 2019. V. 10. N 319. DOI: 10.3389/fpls.2019.00319

6. Kumar U., Kaviraj M., Panneerselvam P., Priya H., Chakraborty K., Swain P., Chatterjee S.N., Sharma S.G., Nayak P.K., Nayak A.K. Ascorbic acid formulation for survivability and diazotrophic efficacy of azotobacter chroococcum Avi2 (MCC 3432) under hydrogen peroxide stress and its role in plant-growth promotion in rice (*Oryza sativa* L.) // *Plant physiology and biochemistry*. 2019. V. 139. P. 419-427. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.04.003

7. Xing C.H., Liu Y., Zhao L.Y., Zhang S.L., Huang X.S. A novel MYB transcription factor regulates ascorbic acid synthesis and affects cold tolerance // *Plant, cell and environment*. 2019. V. 42. Iss. 3. P. 832-845. DOI: 10.1111/pce.13387

8. Janmohammadi M., Sabaghnia N., Mahfoozi S. Frost tolerance and metabolite changes of rye (*Secale cereale*) during the cold hardening and overwintering // *Acta physiologiae plantarum*. 2018. V. 40. Iss. 3. Article number 42. DOI: 10.1007/s11738-018-2620-0

9. Alamri S.A., Siddiqui M.H., Al-Khaishany M.Y., Khan M.N., Ali H.M., Alaraidh I.A., Alsahli A.A., Al-Rabiah H., Mateen M. Ascorbic acid improves the tolerance of wheat plants to lead toxicity // *Journal of plant interactions*. 2018. V. 13. Iss. 1. P. 409-419. DOI: 10.1080/17429145.2018.1491067

10. Heidari-Zefreh A.A., Shariatpanahi M.E., Mousavi A., Kalatejari S. Enhancement of microspore embryogenesis induction and plantlet regeneration of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) using putrescine and ascorbic acid // *Protoplasma*. 2019. V. 256. Iss. 1. P. 13-24. DOI: 10.1007/s00709-018-1268-3

11. Barchuk O.Z., Lysiuk R.M., Denys A.I., Zaliska O.M., Smalyuk O.G., Nester M.I. Experimental study of goat's rue (*Galega officinalis* L.) herb and its liquid extracts // *The Pharma Innovation Journal*. 2017. V. 6. Iss. 11. P. 393-397. URL: https://www.researchgate.net/publication/321168035_Experimental_study_of_goat's_rue_Galega_officinalis_L_herb_and_its_liquid_extracts. (дата обращения: 16.12.2019)

12. Darmohray L.M., Sedilo G.M., Gutty B.V. Conceptual framework for the assessment of the nutritional and biological value of the plant *Galega orientalis* (LAM) // *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*. 2017. V. 19. N 79. P. 9-12. DOI: 10.15421/nlvvet7902

13. Akram N.A., Shafiq F., Ashraf M. Ascorbic acid-A potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance // *Frontiers in plant science*. 2017. V. 8. N 613. DOI: 10.3389/fpls.2017.00613

14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Книга по Требованию, 2012. 352 с.

15. Hewitt E.J., Dicks G.J. Spectrophotometric measurements on ascorbic acid and their use for the estimation of ascorbic acid and dehydroascorbic acid in plant tissues // *Biochemical Journal*. 1961. V. 78. N 2. P. 384-391. DOI: 10.1042/bj0780384

16. Чупахина Г.Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений: Практикум. Калининград, 2000. 59 с.

17. Овчаров К.Е. Витамины растений. Москва: Колос, 1969. 328 с.

18. Егоров А.Д. Витамин "С" и каротин в растительности Якутии. Москва: Академии наук СССР, 1954. 248 с.

19. Читанова Г.В. Динамика содержания аскорбиновой кислоты в листьях эвкалипта // *Тр. Сухум. Ботан. Сада*. 1982. N 27. С. 49-56.

REFERENCES

1. Vagunin D.A., Kapsamun A.D., Ivanova N.N. Agrophytocenosis *Galega orientalis* Hay use based on new promising varieties. *International Scientific Journal*, 2016, part 5, no. 6 (48), pp. 165-167. (In Russian) DOI: 10.18454 / IRJ.2016.48.091

2. Shaikova T.V., Baeva V.S. Technological features of the cultivation of *Galega orientalis* perspective species selection of the Pskov Research Institute of Agriculture. *AgroEkoInzheneriya [AgroEcoEngineering]*. 2017, iss. 93, pp. 89-94. (In Russian)

3. Moiseeva E.A., Bordey R.Kh. Ecological and biological assessment of eastern galega (*Galega Orientalis* Lam.) as a prospective crop for introduction under the conditions of the city of Surgut. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University]*. 2017, no. 10, pp. 140-147. (In Russian)

4. Mikhailova I.V., Akhtulova E.M. Prospects for cultivating eastern galega (*Galega Orientalis* Lam.) in the Kola peninsula. *Agrokhimiya [Agrochemistry]*. 2013, no. 7, pp. 49-55. (In Russian)

5. Wang J., Huang R. Modulation of ethylene and ascorbic acid on reactive oxygen species scavenging in plant salt response. *Frontiers in plant science*, 2019, vol. 10, no. 319. DOI: 10.3389/fpls.2019.00319

6. Kumar U., Kaviraj M., Panneerselvam P., Priya H., Chakraborty K., Swain P., Chatterjee S.N., Sharma S.G., Nayak P.K., Nayak A.K. Ascorbic acid formulation for survivability and diazotrophic efficacy of azotobacter chroococcum Avi2 (MCC 3432) under hydrogen peroxide stress and its role in plant-growth promotion in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant physiology and biochemistry*, 2019, vol. 139, pp. 419-427. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.04.003

7. Xing C.H., Liu Y., Zhao L.Y., Zhang S.L., Huang X.S. A novel MYB transcription factor regulates ascorbic acid synthesis and affects cold tolerance. *Plant, cell and environment*, 2019, vol. 42, iss. 3, pp. 832-845. DOI: 10.1111/pce.13387

8. Janmohammadi M., Sabaghnia N., Mahfoozi S. Frost tolerance and metabolite changes of rye (*Secale cereale*) during the cold hardening and overwintering. *Acta physiologiae plantarum*, 2018, vol. 40, iss. 3, article number 42. DOI: 10.1007/s11738-018-2620-0

9. Alamri S.A., Siddiqui M.H., Al-Khaishany M.Y., Khan M.N., Ali H.M., Alaraidh I.A., Alsahli A.A., Al-Rabiah H., Mateen M. Ascorbic acid improves the tolerance of wheat plants to lead toxicity. *Journal of plant interactions*, 2018,

vol. 13, iss. 1, pp. 409-419. DOI:

10.1080/17429145.2018.1491067

10. Heidari-Zefreh A.A., Shariatpanahi M.E., Mousavi A., Kalatejari S. Enhancement of microspore embryogenesis induction and plantlet regeneration of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) using putrescine and ascorbic acid. *Protoplasma*, 2019, vol. 256, iss. 1, pp. 13-24. DOI: 10.1007/s00709-018-1268-3

11. Barchuk O.Z., Lysiuk R.M., Denys A.I., Zaliska O.M., Smalyukh O.G., Nester M.I. Experimental study of goat's rue (*Galega Officinalis* L.) herb and its liquid extracts. *The Pharma Innovation Journal*, 2017, vol. 6, iss. 11, pp. 393-397. Available at:

https://www.researchgate.net/publication/321168035_Experimental_study_of_goat's_rue_Galega_Officinalis_L_herb_and_its_liquid_extract (accessed 16.12.2019)

12. Darmohray L.M., Sedilo G.M., Gutj B.V. Conceptual framework for the assessment of the nutritional and biological value of the plant *Galega orientalis* (LAM). *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 2017, vol. 19, no. 79, pp. 9-12. DOI: 10.15421/nlvvet7902

13. Akram N.A., Shafiq F., Ashraf M. Ascorbic acid-A potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. *Frontiers in plant*

science, 2017, vol. 8, no. 613. DOI:

10.3389/fpls.2017.00613

14. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Book on Demand Publ., 2012, 352 p. (In Russian)

15. Hewitt E.J., Dickes G.J. Spectrophotometric measurements on ascorbic acid and their use for the estimation of ascorbic acid and dehydroascorbic acid in plant tissues. *Biochemical Journal*, 1961, vol. 78, no. 2, pp. 384-391. DOI: 10.1042/bj0780384

16. Chupakhina G.N. *Fiziologicheskie i biokhimicheskie metody analiza rastenii* [Physiological and biochemical methods of plant analysis]. Kaliningrad, 2000, 59 p. (In Russian)

17. Ovcharov K.E. *Vitaminy rastenii* [Vitamins of plants]. Moscow, Kolos Publ., 1969, 328 p. (In Russian)

18. Egorov A.D. *Vitamin "S" i karotin v rastitel'nosti Yakutii* [Vitamin "C" and carotene in the vegetation of Yakutia]. Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 1954, 248 p. (In Russian)

19. Chitanova G.V. Dynamics of the content of ascorbic acid in eucalyptus leaves. *Trudy Sukhumskogo Botanicheskogo sada* [Works of the Sukhumi Botanical Garden]. 1982, no. 27, p. 49-56. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Инеcса В. Кравченко проводила определение аскорбиновой кислоты в растительном материале, анализировала данные, работала с иностранной литературой. Марина В. Устинова проводила определение аскорбиновой кислоты в растительном материале, анализировала данные, строила рисунки и таблицу, работала с иностранной литературой. Екатерина А. Моисеева заложила опыт, собрала растительный материал, подготовила его к химическому анализу, выполнила статистическую обработку результатов. Людмила Ф. Шепелева проанализировала полученные данные. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность за плагиат, самоплагиат и другие неэтические проблемы.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Inessa V. Kravchenko carried out the determination of ascorbic acid in plant material, analysed the data and worked with foreign literature. Marina V. Ustinova carried out the determination of ascorbic acid in plant material, analysed the data, compiled the drawings and the table and worked with foreign literature. Ekaterina A. Moiseeva conducted the experiment, collected plant material, prepared it for chemical analysis and performed statistical processing of the results. Lyudmila F. Shepeleva analysed the data obtained. All authors participated equally in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Инеcса В. Кравченко / Inessa V. Kravchenko <https://orcid.org/0000-0001-5050-6622>

Екатерина А. Моисеева / Ekaterina A. Moiseeva <https://orcid.org/0000-0002-4892-3600>

Марияна В. Устинова / Marina V. Ustinova <https://orcid.org/0000-0002-2576-2736>

Людмила Ф. Шепелева / Lyudmila F. Shepeleva <https://orcid.org/0000-0002-8805-469X>