

УДК 577.13:577.152.166:581.19:631.8:633.39:633.11

## ВЛИЯНИЕ ОЧИЩЕННОЙ СУММЫ ТРИТЕРПЕНОВЫХ ГЛИКОЗИДОВ И ОБОГАЩЕННОГО ИМИ ЭКСТРАКТА ИЗ ЛИСТЬЕВ *SILPHIUM PERFOLIATUM* L. НА РОСТ И АКТИВНОСТЬ НИТРАТРЕДУКТАЗЫ РАСТЕНИЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ\*

© Э.С. Давидянц

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр,  
ул. Никонова, 49, Михайловск, 356241 (Россия), e-mail: ei\_davidyants@mail.ru

Изучено влияние обработки семян растворами очищенной суммы тритерпеновых гликозидов (ОСТГ), содержащей в качестве основных компонентов гликозиды олеаноловой кислоты – сильфиозиды В, С, Е, G и экстракта (Э), обогащенного сильфиозидами, из листьев *Silphium perfoliatum* L. (*Asteraceae*) на параметры роста и активность нитратредуктазы (НР, КФ 1.6.6.1) 7-суточных растений озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Показано, что обработка семян растворами ОСТГ в концентрациях 0.0005 и 0.001% и Э в концентрациях 0.2 и 0.4% вызывала увеличение длины корней, побегов, сырой и сухой массы проростков по сравнению с контролем. Установлено стимулирующее действие этих концентраций ОСТГ и Э на суммарную нитратредуктазную активность корней и листьев проростков, при этом наблюдалось возрастание стимулирующего эффекта препаратов на активность НР на фоне субстратной активации фермента нитратом калия (KNO<sub>3</sub>). Наибольшее повышение суммарной активности НР корней и листьев растений озимой пшеницы отмечено при действии ОСТГ в концентрации 0.001% и Э – в концентрации 0.4%, что составило соответственно 122 и 116%, при внесении 1 мл 50 мМ раствора KNO<sub>3</sub> в среду выращивания растений – 141 и 137% по отношению к контролю. Стимулирующее действие экзогенных тритерпеновых гликозидов на активность НР установлено впервые. Полученные данные позволяют теоретически обосновать возможность практического использования тритерпеновых гликозидов и препаратов на их основе для регуляции роста и азотного метаболизма растений.

*Ключевые слова:* *Silphium perfoliatum* L., *Triticum aestivum* L., тритерпеновые гликозиды, нитратредуктаза, сильфиозиды.

### Введение

Тритерпеновые гликозиды (ТГ), составляющие большую часть растительных сапонинов, широко распространены во многих семействах высших растений, преимущественно в двудольных [1], а также встречаются в некоторых родах грибов [2], бактериях [3], морских водорослях, организмах фитопланктона, некоторых морских беспозвоночных типов иглокожих (голотурии), губок и моллюсков [4].

Молекулы ТГ состоят из 30-углеродного тритерпенового агликона и из присоединенных к нему одного и более моносахаридных остатков, включая гексозы, пентозы и метилпентозы [5, 6]. Сочетание гидрофобного агликонового скелета и гидрофильной углеводной части обуславливает амфипатическую природу этих соединений и придает специфические пенообразующие и эмульгирующие свойства. Благодаря разнообразной биологической активности, медико-биологическим и физико-химическим свойствам ТГ нашли применение в медицине и различных отраслях промышленности [7]. ТГ рассматриваются также как целевые соединения для разработки природных пестицидов [8].

Биологические функции ТГ недостаточно выяснены. Считается, что эти вторичные метаболиты играют важную экологическую роль, защищая растения от фитопатогенов, насекомых-вредителей и травоядных животных благодаря наличию антифунгальных, антимикробных, антигельминтных, моллюскоцидных, инсектицидных свойств [1, 3, 6],

Давидянц Элеонора Сергеевна – доктор биологических наук, кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник, e-mail: ei\_davidyants@mail.ru

ных животных благодаря наличию антифунгальных, антимикробных, антигельминтных, моллюскоцидных, инсектицидных свойств [1, 3, 6],

\*Данная статья имеет электронный дополнительный материал (приложение), который доступен читателям на сайте журнала. DOI: 10.14258/jcprm.2019045482s

а также служат аллелопатическими агентами в конкурентных взаимоотношениях между растениями [9]. За последние годы увеличилось число работ, свидетельствующих о возможной роли свободных тритерпенов и ТГ в процессах роста и развития растений [9, 10].

Способность экзогенных ТГ вызвать изменения в росте растений, продемонстрирована во многих исследованиях [11–18]. Но почти нет сведений о влиянии ТГ на метаболизм растений. Для понимания механизма росторегулирующего действия экзогенных ТГ немаловажное значение имеет выяснение их влияния на активность ферментов как важных факторов метаболизма, определяющих скорость протекания биохимических реакций.

Первым и ключевым ферментом азотного метаболизма в процессе восстановления нитрата до нитрита является нитратредуктаза (НР, КФ 1.6.6.1-3). Каталитическая активность фермента определяет скорость ассимиляции нитратного азота и оказывает влияние на весь азотный обмен, важнейшими первичными продуктами которого являются аминокислоты – исходный материал для биосинтеза белка и всех азотистых веществ растительного организма [19]. НР – индуцибельный фермент, подверженный субстратной и гормональной регуляции нитратом и цитокининами. Экспрессия генов НР и ее активность на транскрипционном уровне контролируется многими экзогенными и эндогенными факторами такими как, свет, продукты ассимиляции азота ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4^+$ , аминокислоты) и углерода (сахара), уровень  $\text{Ca}^{2+}$  и др. Посттрансляционная модификация фермента осуществляется за счет фосфорилирования и молибденового кофактора [20, 21]. Фитогормоны цитокинины увеличивают содержание мРНК НР, содержание белка и его активность. Применение экзогенных цитокининов и других росторегулирующих веществ – ауксинов, салициловой кислоты [20] эпибрасинолида, янтарной кислоты [22], аминокислот [23] модулирует активность НР и увеличивает эффективность утилизации растениями нитратного азота.

Ранее было показано, что ТГ, выделенные из *S. perfoliatum*, в ряде биологических тестов проявили физиологическую активность, характерную для фитогормонов ауксинов, гиббереллинов и цитокининов [14]. Обработка семян пшеницы растворами сильфиозидов повышала в проростках содержание суммарного белка и вызвала изменение активности ферментов, таких как  $\alpha$ -амилаза, пероксидаза, ИУК-оксидаза, полифенолоксидаза [24–26].

Цель настоящего исследования – изучить влияние обработки семян растворами очищенной суммы тритерпеновых гликозидов (ОСТГ) и экстракта (Э) из листьев *Silphium perfoliatum* L. (сильфия пронзеннолистная), обогащенного ТГ, на ростовые параметры и активность НР растений озимой пшеницы.

### **Экспериментальная часть**

Э, обогащенный ТГ, получали путем экстракции измельченных воздушно-сухих листьев растений *S. perfoliatum*, интродуцированных в Ставропольском крае (рис. электронного приложения). Растения собирали фазу цветения в августе 2017 г. В качестве экстрагента использовали метанол, при этом растительное сырье предварительно многократно обрабатывалось ацетоном для удаления липофильных и фенольных соединений. ОСТГ получали из части полученного метанольного Э по методике, описанной ранее [27]. Полученные суммарные препараты сильфиозидов анализировали методом тонкослойной хроматографии. ТСХ проводили на пластинках Silufol UV-254 (Чехия), использовали систему растворителей этилацетат–этанол–вода 10 : 2 : 3. Вещества на хроматограммах проявляли 25%-ным раствором фосфорно-вольфрамовой кислоты.

Для выявления эффективных ростостимулирующих концентраций суммарных препаратов ТГ изучили их влияние на рост растений пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Семена озимой пшеницы сортов Авеста и Ермак обрабатывали растворами ОСТГ в концентрациях 0.0001, 0.0005, 0.001% и Э в концентрациях 0.1; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8%. Обработку семян проводили «полусухим» способом – 1 мл раствора наносили на 100 г семян и тщательно встряхивали. В контроле семена обрабатывали аналогичным способом дистиллированной водой. Обработанные зерновки подсушивали при комнатной температуре, затем проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге, смоченной 6 мл дистиллированной воды в термостате при температуре 25 °С в течение 7 суток. Измеряли длину корней и побегов, определяли сырую и сухую массу растений. Действие исследуемых препаратов на рост оценивали по изменению длины корней побегов, сырой и сухой массы контрольных и опытных растений.

В опытах по изучению влияния суммарных препаратов сильфиозидов на рост и активность НР растений озимой пшеницы семена сорта Виктория 11 обрабатывали растворами ОСТГ в концентрациях 0.0005

и 0.001% и Э – в концентрациях 0.2 и 0.4% как описано выше. Обработанные семена проращивали при естественном освещении при температуре 22–25 °С на влажной фильтровальной бумаге, смоченной 6 мл дистиллированной воды в течение 7 суток. Интенсивность роста опытных проростков оценивали по изменению длины их корней и побегов по отношению к контрольным.

Активность НР в 7-суточных растениях определяли *in vivo* в свежем растительном сырье по Мульдеру [28] в модификации Б.И. Токарева [29]. Навески (0.2 г) измельченных корней и листьев проростков помещали в 5 мл фосфатного буфера (РН 7.4), содержащего 1 мМ тритона X-100 (октоксинола) и 0.1 М  $KNO_3$ . Проводили вакуум-инфильтрацию реакционной смеси в вакуум-шкафу SPT-200 (Польша). Затем смесь инкубировали на водяной бане в темноте при температуре 30 °С в течение 2 ч. Реакцию останавливали добавлением 2 мл 20%-й уксусной кислоты. Отбирали аликвоту (2 мл), к которой приливали 3 мл дистиллированной воды, после чего последовательно приливали по 0.4 мл растворов сульфаниловой кислоты и  $\alpha$ -нафтиламина. Оптическую плотность образовавшегося окрашенного комплекса измеряли при 550 нм на спектрофотометре «Spekol» («Karl Zeiss», Германия).

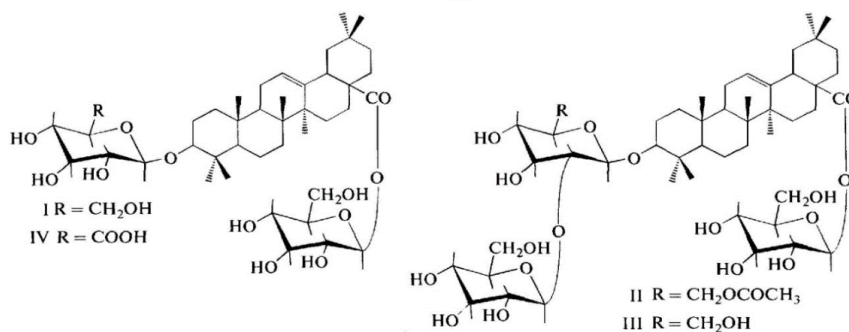
Количество нитрита рассчитывали с помощью калибровочной кривой. Общую активность НР выражали в мкМ  $NO_2^-/г$  ч. Активность НР в корнях и листьях растений определяли без внесения и при внесении на 6-е сут в среду выращивания растений 1 мл 50 мМ раствора  $KNO_3$ .

В таблицах представлены средние арифметические значения опытов, состоящих из 4 биологических и 3 аналитических повторностей, и их стандартные ошибки. Достоверность различий между вариантами оценивали с помощью t-критерия Стьюдента при доверительной вероятности 0.95.

### Обсуждение результатов

Доминирующими компонентами ОСТГ и Э по данным ТСХ являются сальфиозиды В (I), С (II), Е (III), и G (IV), структура которых была установлена ранее (рис.) [30–33]. Рассматриваемые соединения содержат в качестве агликона олеаноловую кислоту и являются бисдесмозидами. Качественный набор сахаров в гликозидах представлен D-глюкозой и D-глюкуроновой кислотой. При изучении влияния ОСТГ на рост 7-суточных растений пшеницы установлено изменение их ростовых параметров при применении всех исследованных концентраций ОСТГ (табл. 1).

Ростостимулирующий эффект отмечен при действии концентраций ОСТГ 0.0005 и 0.001%, при этом выделялась наиболее эффективная концентрация 0.0005%, стимулирующая увеличение линейных размеров и биомассы проростков обоих сортов пшеницы. Обработка семян повышенными концентрациями СТГ (0.01 и 0.1%) привела к уменьшению длины сырой и сухой массы растений по сравнению с контролем. Существенное ингибирующее действие на рост растений оказала концентрация ОСТГ 0,1%. Полученные данные отвечают представлениям о том, что ТГ в зависимости от концентраций способны как стимулировать, так и ингибировать ростовые процессы [11, 12, 17, 18]. Наибольшая стимулирующая активность метанольного Э на рост растений проявилась при концентрациях 0.2 и 0.4% (табл. 2). С учетом выявленного диапазона эффективных ростостимулирующих концентраций ОСТГ и Э была проведена оценка их действия на активность НР в растениях пшеницы.



Химическая структура основных тритерпеновых гликозидов *Silphium perfoliatum* L.: I – сальфиозид В; II – сальфиозид С; III – сальфиозид Е; IV – сальфиозид G

Таблица 1. Влияние очищенной суммы тритерпеновых гликозидов (ОСТГ) из листьев *S. perfoliatum* L. на морфометрические параметры 7-суточных растений озимой пшеницы

Концентрация ОСТГ, %	Длина, см		Сырая масса растения, мг	Сухая масса растения, мг
	корня	побега		
<i>сорт Авеста</i>				
0 (контроль)	12.5±0.2	7.8±0.1	109.4±1.8	12.4±0.1
0.0001	12.5±0.3	8.0±0.2	115.8±2.0	12.8±0.2
0.0005	13.1*±0.1	8.3*±0.2	122.6*±2.7	13.8±0.1
0.001	12.8±0.2	8.0±0.1	119.8*±3.0	13.4*±0.1
0.01	12.2±0.1	7.6±0.1	108.1±1.6	12.1±0.2
0.1	11.9*±0.2	7.3*±0.2	104.6*±1.3	11.7*±0.1
<i>сорт Ермак</i>				
0 (контроль)	12.7±0.1	7.7±0.2	116.3±2.1	13.1±0.1
0.0001	12.7±0.2	7.7±0.4	119.4±3.0	13.5±0.2
0.0005	13.4*±0.2	8.1±0.2	128.8*±2.5	14.4*±0.1
0.001	12.4±0.2	8.2*±0.1	120.0±2.4	13.5±0.2
0.01	12.1±0.3	7.8±0.3	114.6±3.2	12.9±0.2
0.1	11.8*±0.2	7.7±0.2	110.5*±1.7	12.5*±0.2

Примечание. \*Статистически значимые различия между контрольными и опытными вариантами ( $p \leq 0.05$ ).

Таблица 2. Влияние метанольного экстракта (Э), обогащенного ТГ, из листьев *S. perfoliatum* L. на морфометрические параметры 7-суточных растений озимой пшеницы сорта Авеста

Концентрация экстракта, %	Длина, см		Сырая масса растения, мг	Сухая масса растения, мг
	корня	побега		
0 (контроль)	12.5±0.3	7.5±0.2	100.4±4.6	11.4±0.3
0.1	12.6±0.5	8.0±0.2	115.0*±1.8	12.0±0.2
0.2	12.8±0.2	8.2*±0.1	116.7±3.0	12.6*±0.2
0.4	12.6±0.2	8.4*±0.2	117.6*±3.3	12.7*±0.3
0.6	12.3±0.2	7.6±0.3	98.5±4.0	11.2±0.3
0.8	12.2±0.1	7.5±0.2	97.2±3.5	11.1±0.2
1.0	12.1±0.3	7.8±0.2	97.0±4.8	11.1±0.1
1.2	11.9±0.2	7.7±0.3	96.1±3.7	10.9±0.2

Примечание. \*Статистически значимые различия между контрольными и опытными вариантами ( $p \leq 0.05$ ).

Пшеница, как и большинство растений, способна усваивать нитраты как в надземной части, так и в корнях. По данным А.А. Пешковой [34], основную функцию в превращении нитратов у растений яровой и озимой пшеницы выполняет надземная часть. Доля корней в этом процессе зависит от возраста растений, и на ранних этапах развития в корнях восстанавливается больше нитратов, чем на поздних. Другие авторы отмечали более интенсивный процесс восстановления нитратов у проростков яровой пшеницы в корневой системе и более высокую активность в ней НР по сравнению с надземной частью [22].

В наших опытах растения озимой пшеницы, не получавшие азотное питание, характеризовались невысоким уровнем нитратредуктазной активности, при этом в корнях активность фермента была несколько выше, чем в листьях. Под влиянием исследуемых препаратов ТГ при всех их концентрациях в листьях растений наблюдалось достоверное увеличение общей активности НР по сравнению с контролем (табл. 3). В корнях уровень активности фермента относительно контроля повысился при использовании ОСТГ в концентрациях 0.001% и Э в концентрации 0.2%. При добавлении нитрата калия ( $KNO_3$ ) в среду выращивания растений через 1 сутки в корнях наблюдалось достоверное увеличение активности НР по сравнению с контролем на всех опытных вариантах, а в листьях – на вариантах с применением ОСТГ в концентрации 0.001% и Э в концентрации 0.4 % (табл. 3).

Эти концентрации препаратов ТГ оказали наибольшее стимулирующее действие на нитратредуктазную активность проростков в целом. Суммарная активность НР корней и листьев растений под влиянием ОСТГ в концентрации 0.001% и Э в концентрации 0.4% составила соответственно 122 и 116%, на фоне внесения  $KNO_3$  – 141 и 137% от контроля.

Эти данные свидетельствуют о повышении эффективности действия препаратов ТГ на активность НР и, следовательно, скорость усвоения нитратного азота растениями пшеницы при улучшении их азотного питания.

Таблица 3. Влияние очищенной суммы тритерпеновых гликозидов (ОСТГ) и экстракта (Э), обогащенного ТГ, из листьев *S. perfoliatum* L. на активность нитратредуктазы (НР)

Препарат, концентрация, %	Активность НР, мкМ NO <sub>2</sub> /г ч			Активность НР, мкМ NO <sub>2</sub> /г ч при внесении в среду выращивания 1 мл 50 мМ раствора KNO <sub>3</sub>		
	корни	Листья	корни + листья	корни	листья	корни + листья
Контроль	0.88±0.04	0.69±0.02	1.57±0.06	0.58±0.01	1.04±0.02	1.62±0.03
ОСТГ 0.0005	0.88±0.09	0.78*±0.04	1.66±0.13	0.74*±0.06	1.06±0.02	1.80*±0.08
ОСТГ 0.001	1.09*±0.04	0.82*±0.04	1.92*±0.08	0.98*±0.04	1.30*±0.03	2.28*±0.07
Э 0.2	1.00*±0.03	0.74*±0.01	1.74*±0.04	1.05*±0.09	1.01±0.04	2.06*±0.13
Э 0.4	0.95±0.03	0.87*±0.03	1.82*±0.06	0.86*±0.10	1.36*±0.09	2.22*±0.19

Примечание. \*Статистически значимые различия между контрольными и опытными вариантами ( $p \leq 0.05$ ).

Рост растений положительно коррелировал с активностью НР. Если в контроле длина корней и побегов проростков, выращенных при естественном освещении, составила соответственно 12.5±0.4 и 9.2±0.2 см, то при действии ОСТГ в концентрациях 0.0005 и 0.001% – 13.6±0.3; 9.9±0.2 и 14.0±0.4; 9.9±0.2 см. Э в концентрации 0.2 и 0.4% – 14.0±0.4; 9.8±0.4 и 13.9±0.4; 10.0±0.1 см. Длина корней растений на опытных вариантах составила 109–112%, побегов – 107–109% по отношению к контролю. Тесная положительная зависимость между активностью НР, ростом, накоплением белка и устойчивостью растений к различным стрессорам окружающей среды отмечается многими авторами [22, 23, 34]. Можно полагать, что установленное в предыдущих исследованиях [24, 25] усиление роста и увеличение общего содержания белка в растениях пшеницы под влиянием экзогенных сальфицидов В, С, Е, G, продуктов их гидролиза и ОСТГ происходит за счет стимуляции азотного метаболизма уже на стадии восстановления нитрата через воздействие на активность НР.

Одной из физиологических функций НР в растениях является ее участие в образовании монооксида азота (NO), сигнальной молекулы, играющей важную роль в регуляции многих физиологических и биохимических процессах, таких как регуляция клеточного цикла, модификация белков, участвующих в метаболизме фитогормонов и трансдукции гормональных сигналов, взаимодействие с фитопатогенами, адаптация растений к действию стрессоров различной природы [35].

Индукцируемое экзогенным нитратом повышение активности НР приводит к усилению образования NO в листьях [21] и корнях пшеницы [36]. В связи с этим логично предположить, что повышение активности НР в корнях и листьях растений пшеницы, вызванное действием экзогенных ТГ, может также сопровождаться увеличением продукции NO и его вовлечением в регуляцию ростовых процессов.

### Выводы

1. Установлено стимулирующее действие обработки семян растворами очищенной суммы тритерпеновых гликозидов (ОСТГ) в концентрациях 0.0005 и 0.001%, экстракта (Э), обогащенного ТГ, в концентрациях 0.2 и 0.4% из листьев *S. perfoliatum* L. на рост корней, побегов, сырой и сухой массы 7-суточных растений озимой пшеницы.

2. Показано, что ОСТГ в концентрациях 0.0005 и 0.001% и Э, обогащенный ТГ, в концентрациях 0.2 и 0.4%, введенные в семена путем их обработки, вызывали повышение суммарной нитратредуктазной активности корней и листьев проростков озимой пшеницы. Установлено увеличение стимулирующего эффекта суммарных препаратов ТГ на активность НР на фоне субстратной активации фермента нитратом калия (KNO<sub>3</sub>), что свидетельствует о возрастании потенциальной способности растений к активному усвоению азота. Отмечена положительная зависимость между активностью нитратредуктазы и ростом растений.

3. Полученные данные позволяют теоретически обосновать возможность практического использования тритерпеновых гликозидов и препаратов на их основе для регуляции роста и азотного метаболизма растений.

### Список литературы

1. Sparg S.G., Ling M.E., Staden J. Biological activities and distribution of plant saponins // J. Ethnopharmacol. 2004. Vol. 94. Pp. 219–243.
2. Chen Y.C., Chiu M.H., Nie R.L., Cordell G.A., Qiu S.X. Cucurbitacins and cucurbitane glycosides: structures and biological activities // Nat. Prod. Rep. 2005. Vol. 22. N3. Pp. 386–399.

3. Francis G., Kerem Z., Makkar H., Becker K. The biological action of saponins in animal systems: a review // *British J. Nutrition*. 2002. Vol. 88. Pp. 587–605.
4. Garai S. Advances in triterpenoid saponins research 2007-2012 // *Herb. Med.* 2016. Vol. 2. N3. Article 14. DOI: 10.21767/2472-0151.100020.
5. Vincken Y.P., Heng Z., De Groot A., Gruppen H. Saponins classification and occurrence in the plant kingdom // *Phytochemistry*. 2007. Vol. 68. Pp. 275–297.
6. Augustin M., Kuzina V., Andersen S.B., Bak S. Molekular activities, biosynthesis and evaluation of triterpenoid saponins // *Phytochemistry*. 2011. Vol. 72. Pp. 435–457.
7. Guclu-Ustündag O., Mazza G. Saponins: properties, applications and processing // *Crit. Rev. Food Sci. Natur.* 2007. N3. Pp. 231–258.
8. Chaib I. Novel advances and perspectives to the use of plant saponins as pesticides // *Acta Horticult.* 2013. Vol. 997. Pp. 177–184.
9. Moses T., Papadopoulou K.K., Osbourn A. Metabolic and functional diversity of saponins, biosynthetic intermediates and semi-synthetic derivates // *Crit. Rev. Biochem. Molec. Biol.* 2014. Vol. 49. N6. Pp. 439–462.
10. Faizal A., Geelen D. Saponins and their role in biological processes in plants // *Phytochem. Rev.* 2013. Vol. 12. Pp. 877–893.
11. Стехова С.И., Анисимов М.М., Атопкина Л.Н., Уварова Н.И. Структурно-функциональные свойства панаксозидов *Panax ginseng* С.А. Мей. и их аналогов. Влияние 20(3)-протопанаксадиола и его гликозидов на рост корня проростков *Cucumis sativus* L. // *Раст. ресурсы*. 2001. Т. 37, вып. 1. С. 82–87.
12. Стехова С.И., Самошина Н.Ф., Денисенко М.В., Денисенко В.А., Логачев В.В., Анисимов М.М., Уварова Н.И. Структурно-функциональные свойства тритерпеноидов ряда лупана I. Влияние бетулиновой и дигидробетулиновой кислот на рост корня проростков *Cucumis sativus* L. // *Раст. ресурсы*. 2002. Т. 38, вып. 2. С. 92–98.
13. Давидянц Э.С., Нешина Л.П., Нешин И.В. Влияние тритерпеновых гликозидов *Silphium perfoliatum* L. на рост проростков гороха и пшеницы // *Раст. ресурсы*. 2001. Т. 37, вып. 3. С. 93–96.
14. Давидянц Э.С. Рострегулирующая активность тритерпеновых гликозидов *Silphium perfoliatum* (*Asteraceae*) // *Раст. ресурсы*. 2006. Т. 42, вып. 1. С. 127–136.
15. Rahman A., Tsurumi S. The unique auxin influx modulator chromosaponin I: a physiological overview // *Plant Tissue Cult.* 2002. Vol. 12. Pp. 181–194.
16. Ohara S., Ohira T. Plant growth regulation effects of triterpenoid saponins // *J. Wood Sci.* 2003. Vol. 49. Pp. 56–64.
17. Saha S., Walia S., Kumar J., Parmar B.S. Triterpene saponins as regulator of plant growth // *J. Appl. Bot. Food Quality*. 2010. Vol. 83. Pp. 189–195.
18. Анисимов М.М., Чайкина Е.Л. Влияние гликозидов хедерагенина из *Caulophyllum robustum* Max. на рост корней огурца посевного // *Химия растительного сырья*. 2014. №4. С. 183–188.
19. Bowsheer C., Steep M., Tobin A. *Plant Biochemistry*. N.Y.: Garland Science. Taylor and Francis Group, LLC, 2008. 446 p.
20. Garg S.K. Role and hormonal regulation of nitrate reductase activity in higher plants: a review // *Plant Sci. Feed.* 2013. Vol. 3. Pp. 13–20.
21. Галеева Е.И., Трифонова Т.В., Пономарева А.А., Викторова Л.В., Минибаева Ф.В. Нитратредуктаза листьев *Triticum aestivum*: регуляция активности и возможная роль в образовании оксида азота // *Биохимия*. 2012. Т. 77, вып. 4. С. 512–520.
22. Сафронова Н.М., Бабенко О.Н. Влияние водного стресса и регуляторов роста на активность нитратредуктазы проростков мягкой пшеницы // *Вест. Евразийского нац. ун-та им. Л.Н. Гумилева*. 2008. №6(67). С. 83–90.
23. Кириллова Л.Л., Назарова Г.Н., Иванова Е.П. *n*-Аминобензойная кислота стимулирует всхожесть семян, рост растений, фотосинтез и ассимиляцию азота у амаранта (*Amaranthus* L.) // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51. №5. С. 688–695.
24. Давидянц Э.С. Влияние тритерпеновых гликозидов на активность  $\alpha$ - и  $\beta$ -амилаз и содержание суммарного белка в проростках пшеницы // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2011. Т. 47. №5. С. 530–536.
25. Давидянц Э.С. Влияние суммы тритерпеновых гликозидов из *Silphium perfoliatum* на некоторые показатели метаболизма проростков пшеницы // *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: материалы IX Международного симпозиума*. Пушино, 2011. Т. 2. С. 58–62.
26. Давидянц Э.С. Влияние обработки семян тритерпеновыми гликозидами на активность пероксидазы, ИУК-оксидазы и полифенолоксидазы в проростках пшеницы // *Химия растительного сырья*. 2013. №4. С. 225–231.
27. Давидянц Э.С. Химическое строение тритерпеновых гликозидов *Silphium perfoliatum*: дисс. ... канд. хим. наук. Ташкент, 1986. 127 с.
28. Mulder E.G., Vaxma R., Van Veen W.L. Nitrate reduction in plant tissues // *Plant and soil*. 1959. Vol. 10. N4. Pp. 335–355.
29. Токарев Б.И., Шумный В.К. Сортовая специфичность нитратредуктазной активности у ячменя // *Изв. Сиб. отд. АН СССР. Серия биологических наук*. 1976. Вып. 1–5. С. 91–95.
30. Давидянц Э.С. Путиева Ж.М., Бандюкова В.А., Абубакиров Н.К. Тритерпеновые гликозиды *Silphium perfoliatum* // *Химия природ. соедин.* 1984. №1. С. 120–121.
31. Давидянц Э.С. Путиева Ж.М., Бандюкова В.А., Абубакиров Н.К. Тритерпеновые гликозиды *Silphium perfoliatum* II // *Химия природ. соедин.* 1984. №5. С. 666–667.
32. Давидянц Э.С., Путиева Ж.М., Бандюкова В.А., Абубакиров Н.К. Тритерпеновые гликозиды *Silphium perfoliatum*. III. Строение сильфиозида E // *Химия природ. соедин.* 1984. №6. С. 750–753.

33. Давидянц Э.С., Путиева Ж.М., Шашков А.С., Бандюкова В.А., Абубакиров Н.К. Тритерпеновые гликозиды *Silphium perfoliatum*. IV. Строение сильфиозида С // Химия природ. соедин. 1985. №4. С. 519–522.
34. Пешкова А.А. Особенности усвоения нитратов проростками озимой и яровой пшеницы // Физиология и биохимия культурных растений. 1990. Т. 22. №2. С. 142–147.
35. Мамаева А.С., Фоменков А.А., Носов А.В., Мошков И.Е., Мур Л.А. Дж., Холл М.А., Новикова Г.В. Регуляторная роль оксида азота у растений // Физиология растений. 2015. Т. 62. №4. С. 459.
36. Карпец Ю.В., Колупаев Ю.Е., Луговая А.А., Шведенко Н.В., Ястреб Т.О. Влияние нитрата и L-аргинина на содержание оксида азота, активность антиоксидантных ферментов в корнях проростков пшеницы и их теплоустойчивость // Физиология растений. 2018. Т. 65. №6. С. 472–480.

Поступила в редакцию 19 апреля 2019 г.

Принята к публикации 21 августа 2019 г.

**Для цитирования:** Давидянц Э.С. Влияние очищенной суммы тритерпеновых гликозидов и обогащенного ими экстракта из листьев *Silphium perfoliatum* L. на рост и активность нитратредуктазы растений озимой пшеницы // Химия растительного сырья. 2019. №4. С. 441–448. DOI: 10.14258/jcrpm.2019045482.

*Davidyants E.S. THE EFFECT OF PURIFIED AMOUNT OF TRITERPENE GLYCOSIDES AND THEIR ENRICHED EXTRACT FROM LEAVES OF SILPHIUM PERFOLIATUM L. ON THE GROWTH AND ACTIVITY OF NITRATE REDUCTASE OF WINTER WHEAT PLANTS*

*North Caucasus Federal Agricultural Research Center, ul. Nikonova, 49, Mikhailovsk, 356241 (Russia),  
e-mail: ei\_davidyants@mail.ru*

The effect of seed treatment with solutions of a purified amount of triterpene glycosides (PATG) containing, as major components, oleanolic acid glycosides – sylphiosides B, C, E, G, and extract (E) enriched with sylphiosides, from *Silphium perfoliatum* L. (*Asteraceae*) leaves on growth parameters and nitrate reductase activity (NR, EC 1.6.6.1) of 7-day winter wheat plants (*Triticum aestivum* L.) was studied. It was shown that, seed treatment with PATG solutions in concentrations of 0.0005 and 0.001% and E in concentrations of 0.2 and 0.4% caused an increase in the length of roots, shoots, wet and dry weight of seedlings compared to the control. The stimulating effect of these concentrations of PATG and E on the total nitrate reductase activity of the roots and leaves of seedlings has been established, and an increase in the stimulating effect of preparations on the activity NR of against the background of substrate activation of the enzyme potassium nitrate (KNO<sub>3</sub>) was observed. The greatest increase in the total NR activity of roots and leaves of winter wheat plants was observed when PATG acted at a concentration of 0.001% and E – at a concentration of 0.4%, which amounted respectively 122 and 116%, when adding 1 ml of 50 mM KNO<sub>3</sub> solution into the growing medium of plants – 141 and 137% relative to the control. The stimulating effect of exogenous triterpene glycosides on NR activity has been established for the first time. The obtained data allow to theoretically substantiate the possibility of practical use of triterpene glycosides and preparations based on them for the regulation of growth and nitrogen metabolism of plants.

*Keywords:* *Silphium perfoliatum* L., *Triticum aestivum* L., triterpene glycosides, nitrate reductase, sylphiosides.

## References

1. Sparg S.G., Ling M.E., Staden J. *J. Ethnopharmacol.*, 2004, vol. 94, pp. 219–243.
2. Chen Y.C., Chiu M.H., Nie R.L., Cordell G.A., Qiu S.X. *Nat. Prod. Rep.*, 2005, vol. 22, no. 3, pp. 386–399.
3. Francis G., Kerem Z., Makkar H., Becker K. *British J. Nutrition*, 2002, vol. 88, pp. 587–605.
4. Garai S. *Herb. Med.*, 2016, vol. 2, no. 3, article 14, DOI: 10.21767/2472-0151.100020.
5. Vincken Y.P., Heng Z., De Groot A., Gruppen H. *Phytochemistry*, 2007, vol. 68, pp. 275–297.
6. Augustin M., Kuzina V., Andersen S.B., Bak S. *Phytochemistry*, 2011, vol. 72, pp. 435–457.
7. Guclu-Ustündag O., Mazza G. *Crit. Rev. Food Sci. Natur.*, 2007, no. 3, pp. 231–258.
8. Chaib I. *Acta Horticult.*, 2013, vol. 997, pp. 177–184.
9. Moses T., Papadopoulou K.K., Osbourn A. *Crit. Rev. Biochem. Molec. Biol.*, 2014, vol. 49, no. 6, pp. 439–462.
10. Faizal A., Geelen D. *Phytochem. Rev.*, 2013, vol. 12, pp. 877–893.
11. Stekhova S.I., Anisimov M.M., Atopkina L.N., Uvarova N.I. *Rastitel'nyye resursy*, 2001, vol. 37, no. 1, pp. 82–87. (in Russ.).
12. Stekhova S.I., Samoshina N.F., Denisenko M.V., Denisenko V.A., Logachev V.V., Anisimov M.M., Uvarova N.I. *Rastitel'nyye resursy*, 2002, vol. 38, no. 2, pp. 92–98. (in Russ.).
13. Davidyants E.S., Neshina L.P., Neshin I.V. *Rastitel'nyye resursy*, 2001, vol. 37, no. 3, pp. 93–96. (in Russ.).
14. Davidyants E.S. *Rastitel'nyye resursy*, 2006, vol. 42, no. 1, pp. 127–136. (in Russ.).
15. Rahman A., Tsurumi S. *Plant Tissue Cult.*, 2002, vol. 12, pp. 181–194.
16. Ohara S., Ohira T. *J. Wood Sci.*, 2003, vol. 49, pp. 56–64.
17. Saha S., Walia S., Kumar J., Parmar B.S. *J. Appl. Bot. Food Quality*, 2010, vol. 83, pp. 189–195.
18. Anisimov M.M., Chaykina Ye.L. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2014, no. 4, pp. 183–188. (in Russ.).
19. Bowsher C., Steep M., Tobin A. *Plant Biochemistry*. N.Y.: Garland Science. Taylor and Francis Group, LLC, 2008, 446 p.
20. Garg S.K. *Plant Sci. Feed.*, 2013, vol. 3, pp. 13–20.
21. Galeeva E.I., Trifonova T.V., Ponomareva A.A., Viktorova L.V., Minibaeva F.V. *Biokhimiya*, 2012, vol. 77, no. 4, pp. 512–520. (in Russ.).
22. Safronova N.M., Babenko O.N. *Vestnik Yevraziyskogo natsional'nogo universiteta im. L.N. Gumileva*, 2008, no. 6(67), pp. 83–90. (in Russ.).
23. Kirillova L.L., Nazarova G.N., Ivanova Ye.P. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2016, vol. 51, no. 5, pp. 688–695. (in Russ.).
24. Davidyants E.S. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2011, vol. 47, no. 5, pp. 530–536. (in Russ.).
25. Davidyants E.S. *Novyye i netraditsionnyye rasteniya i perspektivy ikh ispol'zovaniya: materialy IX Mezhdunarodnyy simpozium*. [New and unconventional plants and prospects for their use: proceedings of the IX International Symposium]. Pushchino, 2011, vol. 2, pp. 58–62. (in Russ.).
26. Davidyants E.S. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2013, no. 4, pp. 225–231. (in Russ.).
27. Davidyants E.S. *Khimicheskoye stroeniye triterpenovykh glikozidov Silphium perfoliatum: diss. ... kand. khim. nauk*. [The chemical structure of triterpene glycosides *Silphium perfoliatum*: Diss. ... cand. chem. sciences]. Tashkent, 1986. 127 c. (in Russ.).
28. Mulder E.G., Baxma R., Van Veen W.L. *Plant and soil*, 1959, vol. 10, no. 4, pp. 335–355.
29. Tokarev B.I., Shumnyy V.K. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya AN SSSR. Seriya biologicheskikh nauk*, 1976, no. 1–5, pp. 91–95. (in Russ.).
30. Davidyants E.S. Putiyeva Zh.M., Bandyukova V.A., Abubakirov N.K. *Khimiya prirodnykh soyedineniy*, 1984, no. 1, pp. 120–121. (in Russ.).
31. Davidyants E.S. Putiyeva Zh.M., Bandyukova V.A., Abubakirov N.K. *Khimiya prirodnykh soyedineniy*, 1984, no. 5, pp. 666–667. (in Russ.).
32. Davidyants E.S. Putiyeva Zh.M., Bandyukova V.A., Abubakirov N.K. *Khimiya prirodnykh soyedineniy*, 1984, no. 6, pp. 750–753. (in Russ.).
33. Davidyants E.S. Putiyeva Zh.M., Shashkov A.S., Bandyukova V.A., Abubakirov N.K. *Khimiya prirodnykh soyedineniy*, 1985, no. 4, pp. 519–522. (in Russ.).
34. Peshkova A.A. *Fiziologiya i biokhimiya kul'turnykh rasteniy*, 1990, vol. 22, no. 2, pp. 142–147. (in Russ.).
35. Mamayeva A.S., Fomenkov A.A., Nosov A.V., Moshkov I.Ye., Mur L.A. Dzh., Khol M.A., Novikova G.V. *Fiziologiya rasteniy*, 2015, vol. 62, no. 4, pp. 459. (in Russ.).
36. Karpets Yu.V., Kolupayev Yu.Ye., Lugovaya A.A., Shvedenko N.V., Yastreb T.O. *Fiziologiya rasteniy*, 2018, vol. 65, no. 6, pp. 472–480. (in Russ.).

Received April 19, 2019

Accepted August 21, 2019

**For citing:** Davidyants E.S. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 4, pp. 441–448. (in Russ.).  
DOI: 10.14258/jcpm.2019045482.