

**РОСТ, РАЗВИТИЕ, МОРФОЛОГИЯ И БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАСТЕНИЙ
ЗОЛОТАРНИКА КАНАДСКОГО (*SOLIDAGO CANADENSIS* L.) ПРИ ИНТРОДУКЦИИ
В СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ**

© 2021

Портнягина Н.В., Пунегов В.В., Эчишвили Э.Э., Фомина М.Г., Чуча К.В., Груздев И.В., Вебер Н.Э.*Институт биологии Коми научного центра УрО РАН (г. Сыктывкар, Российская Федерация)*

Аннотация. В статье представлены результаты многолетнего изучения четырех образцов золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) разного географического происхождения в условиях интродукции средне-таежной подзоны Республики Коми. В условиях культуры вид отличается высокой устойчивостью и долголетием (до 18 лет). Установлено, что при интродукции на Севере размножение золотарника канадского возможно вегетативным путем, а также из семян инорайонного происхождения. Массовый переход растений в генеративный период, выращенных рассадным способом, происходит на третий год жизни. По ритму цветения (31 июля – 25 сентября) вид отнесен к среднелетне-среднеосенним растениям. Плодоношение растений прерывается заморозками, полноценные семена не формируются. Изучены морфологические признаки генеративного побега. Высота растений в культуре достигает 143–155 см. Число листьев на стебле – 63–101. Флоральная часть побега (соцветие) 30–39 см длиной формируется с пазухи 41–49 листа и состоит из 21–41 паракладиев 8–13 см длиной. Число корзинок на одном побеге у разных образцов золотарника канадского варьирует от 2700 до 4200. Впервые исследовано содержание массовой доли азота (1,8–3,0%) в надземной сырьевой фитомассе золотарника канадского и определен количественный и качественный состав аминокислот в белках растений. Суммарное содержание аминокислот в растительном сырье золотарника канадского варьировало по годам от 7,9 до 15,1%. В надземной фитомассе растений обнаружено и определено 17 аминокислот, в том числе 7 незаменимых. Доля незаменимых аминокислот составляла в среднем 37% от общего количества. Наибольшие показатели долевого участия отмечены для следующих аминокислот: пролина, глутаминовой, аспарагиновой, лизина, лейцина, валина, аланина, аргинина и глицина – 13,2; 11,0; 10,8; 8,4; 8,0; 5,9; 5,8; 5,7 и 5,2% соответственно. В условиях Севера впервые проведены биохимические исследования данного вида. Содержание флавонолов в надземной сырьевой фитомассе золотарника канадского составляло 4,5–5,7% и соответствовало требованиям, предъявляемым к лекарственному сырью (более 3%). Определен выход эфирного масла и его компонентный состав. Содержание ЭМ в надземной фитомассе растений варьировало от 0,85 до 1,7% в пересчете на абсолютно-сухое сырье. В составе ЭМ достоверно идентифицировано 39 компонентов, девять из которых отнесены к основным. Доминирующими соединениями являлись: α-пинен (до 43,9%), мирцен (до 18,2%), лимонен (до 13,2%), Δ-3-карен (до 12,0%); из сесквитерпеноидов: гермакрин D (до 54,3%), борнилацетат (до 5,8%), геранилацетат (до 2,4%), кадинадиен (до 2,0%), сескви-фелландрен (до 1,4%).

Ключевые слова: *Solidago canadensis*; лекарственное растение; интродукция; рост; развитие; морфология побега; надземная фитомасса; общий азот; аминокислотный состав; незаменимые аминокислоты; флавонолы; эфирное масло; компонентный состав; газо-жидкостная хроматография; хромато-масс спектрометрический анализ.

**GROWTH, DEVELOPMENT, MORPHOLOGY AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS
OF *SOLIDAGO CANADENSIS* L. PLANTS WHEN INTRODUCED
IN THE MIDDLE TAIGA SUBZONE OF THE KOMI REPUBLIC**

© 2021

Portnyagina N.V., Punegov V.V., Echishvili E.E., Fomina M.G., Chucha K.V., Gruzdev I.V., Weber N.E.*Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
(Syktывkar, Russian Federation)*

Abstract. The paper presents the results of a long-term study of four samples of Canadian goldenrod (*Solidago canadensis* L.) of different geographic origin introduced in the middle taiga subzone of the Komi Republic. Under cultural conditions, the species is highly resistant and longevity (up to 18 years). It has been established that with the introduction in the North, reproduction of the Canadian goldenrod is possible by vegetative means, as well as from seeds of foreign origin. The mass transition of plants grown by seedlings to the generative period occurs in the third year of life. According to the flowering rhythm (July 31 – September 25), the species is classified as a mid-summer-mid-autumn plant. Fruiting of plants is interrupted by frost, full-fledged seeds are not formed. The morphological features of the generative shoot have been studied. The plant height in culture reaches 143–155 cm. The number of leaves on the stem is 63–101. The floral part of the shoot (inflorescence) 30–39 cm long is formed from the axils of 41–49 leaves and consists of 21–41 paracladia 8–13 cm long. The number of baskets on one shoot in different specimens of Canadian goldenrod varies from 2700 to 4200. The content of nitrogen mass fraction (1,8–3,0%) in the aboveground raw phytomass of Canadian goldenrod has been studied for the first time and the quantitative and qualitative composition of amino acids in plant proteins has been determined. The total content of amino acids in the plant raw material of Canadian goldenrod has varied from 7,9 to 15,1% over the years. In the aboveground phytomass of plants, 17 amino acids have been found and determined, including 7 irreplaceable ones. The share of essential amino acids has averaged 37% of the total. The highest rates of equity participation have been noted for the following amino ac-

ids: proline, glutamic, aspartic, lysine, leucine, valine, alanine, arginine and glycine – 13,2; 11,0; 10,8; 8,4; 8,0; 5,9; 5,8; 5,7 and 5,2%, respectively. In the conditions of the North, biochemical studies of this species have been carried out for the first time. The content of flavonols in the aboveground raw phytomass of Canadian goldenrod have been 4,5–5,7% and met the requirements for medicinal raw materials (more than 3%). The yield of essential oil and its component composition have been determined. The EO content in the aboveground phytomass of plants has varied from 0,85 to 1,7% in terms of absolutely dry raw material. In the composition of EM, 39 components have been reliably identified, nine of which have been attributed to the main ones. The dominant compounds are: α -pinene (up to 43,9%), myrcene (up to 18,2%), limonene (up to 13,2%), Δ -3-carene (up to 12,0%); from sesquiterpenoids: germacrene D (up to 54,3%), bornyl acetate (up to 5,8%), geranyl acetate (up to 2,4%), cadinadiene (up to 2,0%), sesqui-fellandrene (up to 1,4%).

Keywords: *Solidago canadensis*; medicinal plant; introduction; growth; development; shoot morphology; above-ground phytomass; total nitrogen; amino acid composition; essential amino acids; flavonols; essential oil; component composition; gas-liquid chromatography; gas chromatography-mass spectrometric analysis.

Введение

Для медицины наибольший интерес представляют растения, содержащие ценные биологически активные вещества и являющиеся перспективными источниками их получения. В этом плане актуально изучение одного из представителей семейства Asteraceae – золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) [1, с. 193], в надземной части растений которого преобладают соединения фенольной и терпеновой природы. Препараты, созданные на основе растительного сырья из золотарника канадского – «Марелин» (Украина), Фитолизин (Польша), «Простанорм» (Россия), «Фитодолор» (Германия) и др. оказывают положительное влияние на мочевыделительную систему человека и обладают комплексным противовоспалительным, диуретическим, антибактериальным, нефролитическим, гипотензивным и спазмолитическим действием. Контроль качества сырья золотарника канадского регламентируется официальными европейскими документами: Европейской фармакопеей 2008 г. и Британской фармакопеей 2013 г. [2, с. 136; 3, с. 68]. В России качество сырья данного вида с 1991 г. регламентируется отечественной фармакопейной статьей ФС 42-2777-91 «Трава золотарника канадского» [4, с. 126].

Золотарник канадский (*Solidago canadensis* L.) – многолетнее травянистое растение из семейства астровых (Asteraceae) высотой 1,5–1,7 м. Стебли прямостоячие, цилиндрические, до соцветия простые, зеленые, иногда с антоциановой окраской, коротко и мягко опушенные, у основания – деревянистые. Корневая система состоит из горизонтальных бледно-желтых корневищ (длиной до 20 см и диаметром до 1,0 см) с большим числом придаточных корней [5, с. 82]. Листья очередные, многочисленные, ланцетные или линейно-ланцетные, к обоим концам суженные, на верхушке длинно-заостренные. Цветки мелкие, желтые, срединные – трубчатые, обоюполые, краевые – язычковые, образуют корзинки диаметром 4–6 мм. Многочисленные корзинки собраны в однобокие дугобразно изогнутые кисти, которые в свою очередь образуют соцветие – широкую метелку пирамидальной формы длиной до 35 см. Плод – узкоцилиндрическая, ребристая, редковолосистая, светлокоричневая семянка длиной 1,2–1,6 мм, шириной 0,3–0,4 мм с хохолком. Растения зацветают в конце июля – августе, семена созревают в сентябре [6, с. 119; 4, с. 126]. Родина золотарника канадского – Северная Америка. Широко культивируется в Европе в основном как декоративное растение и часто дичает [7, с. 103; 8, р. 215]. В России это заносное растение часто встречается в западных, центральных и южных районах европейской части страны [6,

с. 119]. В европейских странах, в том числе в России, *S. canadensis* наряду с *S. gigantea* внесен в перечень инвазивных видов, что обусловлено интенсивной натурализацией растения [9, р. 185; 10, с. 5]. Следует отметить, что биологические и биохимические особенности растений золотарника канадского в условиях культуры изучены недостаточно. Сведения по интродукции и химическому составу изучаемого вида в разных регионах России носят фрагментарный характер [11, с. 25; 12, с. 1; 5, с. 82; 13, с. 1]. Опыт первичной интродукции данного вида в коллекции лекарственных растений отдела Ботанический сад Института биологии Коми НЦ УрО РАН показал, что золотарник канадский является перспективным лекарственным растением для выращивания в Республике Коми [14, с. 23].

Цель работы – изучить рост, развитие, морфологию золотарника канадского в условиях культуры на Севере, определить содержание общего азота и аминокислотный состав растений, а также исследовать содержание флавонолов, эфирного масла и его компонентного состава в надземной сырьевой фитомассе.

Методы и объекты исследований

Многолетние исследования проведены в 2003–2020 гг. на территории Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар, подзона средней тайги). Географические координаты района исследований: 61°40' с.ш. и 50°49' в.д. Почва опытного участка – дерново-подзолистая глееватая, среднеоккультуренная, суглинистая. Объектами исследований служили растения четырех образцов золотарника канадского разного географического происхождения: Новосибирск (семена получены по делектусу из Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, ЦСБС); Екатеринбург (посадочный материал многолетних растений, полученных делением корневищ, был привезен из экспедиции в 2003 г. из Ботанического сада УрО РАН); Румыния (семена получены в 2018 г. по делектусу из Ботанического сада университета г. Яссы); Москва (семена получены в 2018 г. по делектусу из Всероссийского института лекарственных и ароматических растений, ВИЛАР).

При проведении исследований мы придерживались методики, рекомендованной Всероссийским институтом лекарственных и ароматических растений, и основных положений программы исследований по интродукции лекарственных растений [15, с. 1–33; 16, с. 587]. Динамика роста растений в высоту определялась по фазам развития на 20 побегах каждого образца. Морфологические признаки генеративного побега изучали в фазу цветения. Сырьевую фитомассу определяли в фазу цветения, срезая по 20 побегов каждого образца и отщипывая для анализа флоральную часть побега (далее – соцветие). Каждое соцветие

тие взвешивали и измеряли его длину. Экспериментальные данные статистически обработаны [17]. В период с 2005 по 2009 гг. определяли содержание азота и аминокислотный состав надземной фитомассы многолетних растений золотарника канадского из Новосибирска и Екатеринбурга. Исследования выполнены методом жидкостной хроматографии на автоматическом аминокислотном анализаторе ААА-339М в Центре коллективного пользования (ЦКП) «Хроматография», созданного на базе Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Массовая доля азота в воздушно-сухой надземной фитомассе растений определялась методом газовой хроматографии на элементном анализаторе EA1110 (CHNS-O). Определение флавонолов в листьях и соцветиях проводили методом экстракции и дифференциальной спектрофотометрии по методике В.В. Беликова [18, с. 541]. Для определения содержания эфирного масла (ЭМ) и его компонентного состава пробы растительного сырья, состоящие из соцветий, отбирали в период бутонизации – начала цветения растений. Сразу после отбора свежесобранное сырье привозили в лабораторию и методом гидродистилляции по методике II ГФ России (с применением насадки Клевенжера) получали раствор эфирного масла в пентане. Продолжительность процесса извлечения ЭМ из 70–120 г свежесобранного сырья составляла 5 часов. Полученный образец ЭМ в пентане переносили в герметично закрываемые виалы и выдерживали в течение ночи в морозильной камере для обезвоживания. Из обезвоженного раствора ЭМ отбирали в две виалы аликвоты в объеме 1,0 см³, одну из которых термостатировали при 60°C до полного удаления пентана (3–5 мин.) и гравиметрически определяли выход ЭМ. Во вторую виалу вносили микрошприцем МШ-1 один мкл тридекана в качестве внутреннего стандарта для ГЖХ анализа состава ЭМ. Анализ компонентного состава ЭМ выполняли с применением хроматографической системы «Кристалл 2000 М», оснащенной капиллярной аналитической колонкой «Thermo-5MS». Идентификацию химической структуры компонентов ЭМ выполняли на основании данных ГЖХ-МС анализа раствора ЭМ в пентане на спектрометре «TRACE DSQ» корпорации «Thermo Electron», оснащенной также аналитической колонкой «Thermo-5MS». Интерпретацию масс-спектров соединений выполняли с использованием программного обеспечения Xcalibur Data System (version 1.4 SR1) и библиотеки масс-спектров NIST 05. Индексы хроматографического удерживания компонентов (RI) вычисляли на основании данных ГЖХ анализа смеси нормальных углеводородов, выполненного в аналогичных условиях.

Обсуждение результатов

Золотарник канадский в условиях культуры можно размножить как семенами инорайонного происхождения, так и вегетативным путем. Образец из Новосибирска был высеян семенами в открытый грунт 11 июля 2006 г. В 2012 г. многолетние растения куртинами были пересажены на постоянное место. Многолетние растения из Екатеринбурга, высаженные в 2003 г. в коллекцию лекарственных растений, были размножены делением корневищ на части и также перенесены на постоянное место. Оба образца многолетних растений из Новосибирска и Екатеринбурга произрастают в коллекции и в настоящее время. Образцы семян, полученные по делектусам из

Румынии и Москвы, были высеяны в посевные ящики в условиях теплицы 28 февраля 2018 г. Единичные проростки появились через две недели, массовые – на 26-е сутки после посева семян. Морфологическая характеристика растений первого года жизни приведена в табл. 1. Семядоли у большинства растений в возрасте 54–61 суток еще сохранялись. В фазе 2–4 настоящих листьев растения имели длину побега 2,3–4 см и стержневого корня 3–4,4 см с зачатками корней второго и третьего порядков. Первый лист овальный, цельнокрайний с черешком длиной 1,2–1,5 см. Второй, третий, четвертый лист (с черешком) очередной, зубчатый, на верхушке длиннозаостренный длиной 2,1–3,1 см и шириной 0,8–0,9 см (табл. 1). В открытый грунт растения из Румынии и Москвы (по 25 шт.) были высажены 4 июня в возрасте 92–96 суток. Под зиму растения ушли в виргинильном онтогенетическом состоянии: высота растений варьировала от 27 до 43 см, а число листьев в розетке достигало 7–16 шт. Зимостойкость растений первого года жизни составила 100%.

Таблица 1 – Морфологические особенности растений *Solidago canadensis* первого года жизни

Признак	Румыния*	Москва**
Высота побега, см	4,0 ± 0,5	2,3 ± 0,6
Длина семядоли, см	0,44 ± 0,01	0,6 ± 0,01
Ширина семядоли, см	0,15 ± 0,01	0,35 ± 0,01
Длина гипокотыля, см	0,4 ± 0,06	0,2 ± 0,01
Число настоящих листьев, шт./побег	2,4 ± 0,4	4,5 ± 0,5
Длина первого листа, см	1,5 ± 0,04	1,2 ± 0,06
Ширина первого листа, см	0,5 ± 0,05	0,5 ± 0,08
Длина второго–четвертого листа, см	3,1 ± 0,1	2,1 ± 0,1
Ширина второго–четвертого листа, см	0,9 ± 0,05	0,8 ± 0,09
Длина стержневого корня, см	4,4 ± 0,9	3,0 ± 1,1

Примечание. * – растения из Румынии в возрасте 54 суток, ** – растения из Москвы в возрасте 61 суток.

При изучении ритма сезонного развития трехлетних растений золотарника канадского в 2020 г. были установлены сроки наступления его основных фенологических фаз и высота растений (табл. 2). Начало отрастания растений после перезимовки отмечалось во второй декаде мая. В фазу бутонизации растения вступали в конце июня при высоте побегов 102–113 см. Начало цветения золотарника отмечалось в конце июля – начале августа, массовое – в середине августа, конец цветения – в конце сентября. Период цветения составлял более 50 дней. Максимальных значений (143–155 см) высота растений достигала в фазу массового цветения. Наибольший среднесуточный прирост растений в высоту (до 2,1–2,3 см) отмечен в июне, до вступления растений в фазу бутонизации. По ритму цветения, согласно классификации В.Н. Голубева (1965) [19, с. 286], золотарник канадский может быть отнесен к растениям среднелетне-среднеосеннего цикла цветения (31 июля – 25 сентября). Период вегетации растений золотарника канадского (142–148 дней), находящихся в фазе плодоношения, заканчивался с наступлением устойчивых отрицательных температур в конце сентября – начале октября. Поэтому семенное возобновление золотарника

канадского в условиях среднетаежной подзоны Республики Коми невозможно. При выборочном сборе семян в конце сентября всхожесть семян в лабораторных условиях была очень низкой (2–6%). Аналогичные результаты получены при выращивании золотарника канадского в качестве лекарственного растения в условиях Ленинградской области [20, с. 48].

Таблица 2 – Фенология и высота растений *S. canadensis* третьего года жизни, 2020 г.

Фаза развития	Румыния	Москва
Начало отрастания	12.05	12.05
Массовое отрастание	<u>25.05*</u> 31 ± 2**	<u>25.05</u> 31 ± 1
Начало бутонизации	<u>30.06</u> 102 ± 1	<u>30.06</u> 113 ± 1
Массовая бутонизация	<u>13.07</u> 131 ± 2	<u>13.07</u> 147 ± 1
Начало цветения	<u>03.08</u> 142 ± 1	<u>29.07</u> 153 ± 1
Массовое цветение	<u>12.08</u> 143 ± 1	<u>09.08</u> 155 ± 1
Начало плодоношения	30.08	24.08
Массовое плодоношение	23.09	20.09

Примечание. * – дата наступления фенофазы; ** – высота растений, см.

Сравнительное изучение морфобиологических особенностей генеративного побега золотарника канадского разного географического происхождения в 2020 г. проведено как на растениях третьего года жизни, так и на многолетних растениях (табл. 3). В условиях культуры золотарник канадский формировал многочисленные прямостоячие, в верхней части ветвящиеся побеги диаметром 0,5–0,6 см. Листья очередные, многочисленные. Нижние – остро пильчато-зубчатые, короткочерешковые, средние и верхние – цельно-крайние, сидячие, со средней длиной 10–12 см и шириной 1,3–3,1 см. Число листьев у разных образцов варьировало от 63 до 101 шт. на побег. Соцветие (флоральная часть побега) начинало формироваться с пазухи 49–59 стеблевого листа и состояло из 21–41 паракладиев (боковых осей) 9–13 см длиной. Длина соцветия варьировала от 30 до 39 см. Растения из Москвы и Новосибирска (независимо от возраста) формировали более густые соцветия с большим числом паракладиев, 41 и 37 шт. соответственно и с большим числом корзинок (свыше 4 тыс. шт.) по

сравнению с двумя другими образцами (табл. 3). Фитомасса побега характеризовалась достаточно стабильными показателями: сырая масса составляла 35,4–39,2 г, воздушно-сухая масса 12,4–13,6 г. Долевое участие соцветий и листьев в структуре побега варьировало от 42 до 49% (табл. 3).

Биохимические исследования золотарника канадского в условиях культуры среднетаежной подзоны Республики Коми проводили в разные годы. В период с 2005 по 2009 гг. в надземной сырьевой фитомассе растений определен аминокислотный состав белков, в 2015, 2016 и 2020 гг. – содержание флавонолов, а в 2017, 2018 и 2020 гг. изучен выход эфирного масла и его компонентный состав. Анализ растительного сырья на содержание общего азота (1,8–3,0%) и пересчет его на сырой белок (Nx6,25) показал, что многолетние растения золотарника канадского способны накапливать в разные по метеоусловиям годы достаточное количество азотистых веществ (табл. 4). Суммарное содержание аминокислот в надземной сырьевой фитомассе растений варьировало от 7,9 до 15,1%. При благоприятных метеоусловиях вегетационного сезона (2005 г.) растения достаточно рано вступали в фазу массового цветения и накапливали максимальное количество аминокислот (до 15,1%). Высокие показатели суммы аминокислот (до 14,6%) в 2008 г. отмечены и у более молодых растений (второй год жизни), хотя год отличался от других сезонов более низкими температурами воздуха и большим количеством осадков (133% к норме). На суммарное содержание аминокислот оказывали влияние и даты сбора растительного сырья на анализ. В 2006 г. сырье, собранное в фазу массовой бутонизации (3 августа), содержало 14,5% аминокислот, в фазу массового цветения (10 сентября) – на 2,3% ниже. Наименьшие показатели суммы аминокислот отмечены в 2007 г. при позднем сборе растительного сырья на анализ (4 октября) независимо от метеоусловий сезона. В белках из надземной сырьевой фитомассы золотарника канадского выявлены и количественно определены 17 аминокислот, в том числе 7 незаменимых (треонин, валин, метионин, изолейцин, лейцин, фенилаланин и лизин). Доля незаменимых аминокислот составляла в среднем 37% от общего количества. Наибольшее содержание в сырьевой фитомассе отмечалось для аминокислот: пролина (13,2%), глутаминовой (11%), аспарагиновой (10,8%), лизина (8,4%), лейцина (8,0%), валина (5,9%), аланина (5,8%), аргинина (5,7%) и глицина (5,2%).

Таблица 3 – Морфологическая характеристика растений *S. canadensis*

Признак	Румыния	Москва	Новосибирск	Екатеринбург
	растения третьего года жизни	многолетние растения	многолетние растения	многолетние растения
Длина побега, см	142 ± 1	153 ± 1	153 ± 2	140 ± 4
Диаметр побега, см	0,6 ± 0,03	0,5 ± 0	0,6 ± 0,05	0,5 ± 0,01
Число стеблевых листьев, шт./побег	63 ± 2	75 ± 7	82 ± 8	101 ± 5
Длина стеблевого листа, см	12 ± 0,2	10 ± 0,2	11 ± 0,1	12 ± 0,2
Ширина стеблевого листа, см	3,1 ± 0,1	1,3 ± 0,1	1,8 ± 0,03	2,4 ± 0,8
Длина соцветия, см	30 ± 1	34 ± 2	39 ± 3	38 ± 3
Число паракладиев, шт./побег	21 ± 2	41 ± 2	37 ± 2	32 ± 3
Длина паракладиев, см	13 ± 1	11 ± 0,4	12 ± 0,5	9 ± 0,4
Число корзинок, шт./побег	2669 ± 580	4218 ± 308	4106 ± 488	2643 ± 325
Сырая масса побега, г	36,8 ± 0,6	39,2 ± 0,6	37,9 ± 0,6	35,4 ± 0,5
Воздушно-сухая масса побега, г	13,0 ± 0,3	13,6 ± 0,4	13 ± 0,3	12,4 ± 0,6
в том числе соцветий и листьев, г	6,2 ± 0,2	6,1 ± 0,3	6,1 ± 0,2	6,1 ± 0,3
Структура побега – соцветие: лист: стебель	20 : 22 : 58	28 : 17 : 55	27 : 19 : 54	21 : 28 : 51

Таблица 4 – Аминокислотный состав белков многолетних растений *S. canadensis* разного географического происхождения, %

Аминокислоты	Екатеринбург				Новосибирск		Доля АК от общего содержания, %
	2005 (20.08)**	2006 (03.08) (а)	2006 (10.09) (б)	2007 (04.10)	2008 (12.08)	2009 (13.08)	
Аспарагиновая	1,61	1,63	1,30	0,85	1,48	1,21	10,8 ± 0,2 / 10,1–11,4
Треонин*	0,68	0,72	0,62	0,40	0,74	0,55	5,0 ± 0,8 / 4,5–5,2
Серин	0,67	0,64	0,59	0,40	0,65	0,54	4,7 ± 0,1 / 4,4–5,1
Глутаминовая	1,60	1,57	1,33	0,93	1,64	1,20	11 ± 0,2 / 10,6–11,7
Пролин	2,21	2,06	1,34	1,24	2,14	0,97	13,2 ± 1,1 / 9,1–15,7
Глицин	0,79	0,77	0,63	0,39	0,77	0,56	5,2 ± 0,04 / 5,0–5,3
Аланин	0,82	0,83	0,71	0,43	0,84	0,70	5,8 ± 0,2 / 5,4–6,6
Цистин	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,1 ± 0,03 / 0,0–0,2
Валин*	0,88	0,87	0,70	0,44	0,88	0,66	5,9 ± 0,1 / 5,6–6,2
Метионин*	0,2	0,05	0,01	0,02	0,06	0,03	0,2 ± 0,05 / 0,1–0,4
Изолейцин*	1,07	0,61	0,57	0,35	0,67	0,51	4,9 ± 0,4 / 4,2–7,1
Лейцин*	0,84	1,27	1,02	0,59	1,29	0,95	8,0 ± 0,5 / 5,6–8,9
Тирозин	0,57	0,65	0,55	0,32	0,60	0,46	4,2 ± 0,1 / 3,8–4,5
Фенилаланин*	0,69	0,66	0,63	0,36	0,74	0,54	4,8 ± 0,1 / 4,6–5,2
Гистидин	0,34	0,34	0,25	0,17	0,28	0,19	2,1 ± 0,1 / 1,8–2,3
Лизин*	1,38	1,00	1,06	0,65	1,10	1,03	8,4 ± 0,4 / 6,9–9,7
Аргинин	0,91	0,83	0,91	0,36	0,77	0,55	5,7 ± 0,4 / 4,6–7,4
Сумма, %	15,1	14,5	12,2	7,9	14,6	10,6	12,5 ± 1,2 / 7,9–15,1
Доля незаменимых АК, %	37	36	38	36	37	40	37 ± 0,6
Массовая доля азота, %	3,0	3,0	2,5	1,8	2,7	2,2	2,5 ± 0,2

Примечание. * – незаменимые аминокислоты; ** – в скобках указана дата сбора сырья; а – фаза бутонизации, б – в фазе цветения.

Нами исследовано содержание флавонолов в надземной фитомассе золотарника канадского из Новосибирска на протяжении трех лет. Массовая доля в растениях в фазу цветения, определенная спектрофотометрическим методом, составляла в 2015 г. – 4,5 ± 0,2%, в 2016 г. – 5,7 ± 0,1%, в 2020 г. – 4,7 ± 0,3% и не имела достоверно значимых различий по годам.

В научных публикациях имеется большой объем информации о составе эфирного масла (ЭМ), выделенного из растений рода *Solidago* [21, р. 891; 22, р. 40; 23, р. 63; 24, с. 22]. В основном они посвящены изучению экстрактивных веществ растений, произрастающих в регионах южнее 60° с.ш. Отмечается, что в составе эфирного масла растений золотарника канадского, как правило, основными компонентами являются пинены, лимонен, мирцен, борнилацетат, кубены, кариофиллены, кадинены и гермакрены [25, р. 20]. В данной работе приведены результаты исследования четырех образцов золотарника канадского разного географического происхождения, выращиваемых на экспериментальных делянках Ботанического сада Института биологии: Новосибирск (№ 138), Екатеринбург (№ 139), Румыния (№ 39) и Москва (№ 14). Количественное содержание ЭМ в надземной фитомассе золотарника канадского варьировало от 0,85 до 1,7%. При исследовании компонентного состава ЭМ у разных образцов идентифицировано 39 соединений. Согласно данных аналитических исследований, приведенных на рис. 1, в составе ЭМ золотарника канадского доминировали из монотерпеноидов: α-пинен (до 43,9%), мирцен (до 18,2%), лимонен (до 13,2%), Δ-3-карен (до 12,0%); из сесквитерпеноидов: гермакрен D (до 54,3%), борнилацетат (до 5,8%), геранилацетат (до 2,4%), кадинадиен (до 2,0%), сесквифелландрен (до 1,4%). Массовая доля остальных 30 идентифицированных компонентов в составе ЭМ, как правило, не превышала 0,5%.

Эфирное масло, полученное из растительного сырья золотарника канадского из Румынии, значительно отличалось по компонентному составу от остальных трех образцов. Выход ЭМ из растений данного образца (№ 39) оказался наименьшим в ряду исследуемых образцов и составлял 0,85% в пересчете на абсолютно сухое сырье (рис. 1, табл. 5). Массовая доля сесквитерпеноидов в данном образце составляла 67,6%, в том числе гермакрена D – 54,3%. Кроме того, в растениях из Румынии массовая доля α-пинена среди монотерпеноидов ЭМ была в 2,5–3 раза ниже, чем у остальных образцов, и составляла 11,9%.

Полученные аналитические данные позволяют утверждать, что растения трех изученных образцов золотарника канадского из Екатеринбурга, Новосибирска и Москвы относятся к гермакрен-D-α-пиненовому хемотипу. Четвертый образец растений из Румынии, судя по составу эфирного масла, может быть отнесен к гермакрен-D-Δ-3-кареновому хемотипу.

В образце ЭМ растений из Новосибирска (№ 138) (табл. 5) доминировали α-пинен (36–44%), β-мирцен (14,4–18,2%), а доля гермакрена D была в интервале 23,4–30,6% и в зависимости от года вегетации менялась незначительно. В образце ЭМ растений из Екатеринбурга (№ 139) также основными компонентами являлись α-пинен (28,5–31,0%) и гермакрен D (36,1–41,4%), но вместо β-мирцена интенсивно накапливался лимонен (12,5–13,2%). Образец ЭМ растений из Москвы (№ 14) по компонентному составу являлся промежуточным между образцами ЭМ из Новосибирска (№ 138) и Екатеринбурга (№ 139). В составе ЭМ указанного образца доминировали гермакрен D (36,1%), α-пинен (18,7%), β-мирцен (18,6%) и лимонен (13%). Таким образом, при сборе растительного сырья в период бутонизации – начала цветения золотарник канадский может служить перспективным сырьевым ресурсом для получения эфирного масла.

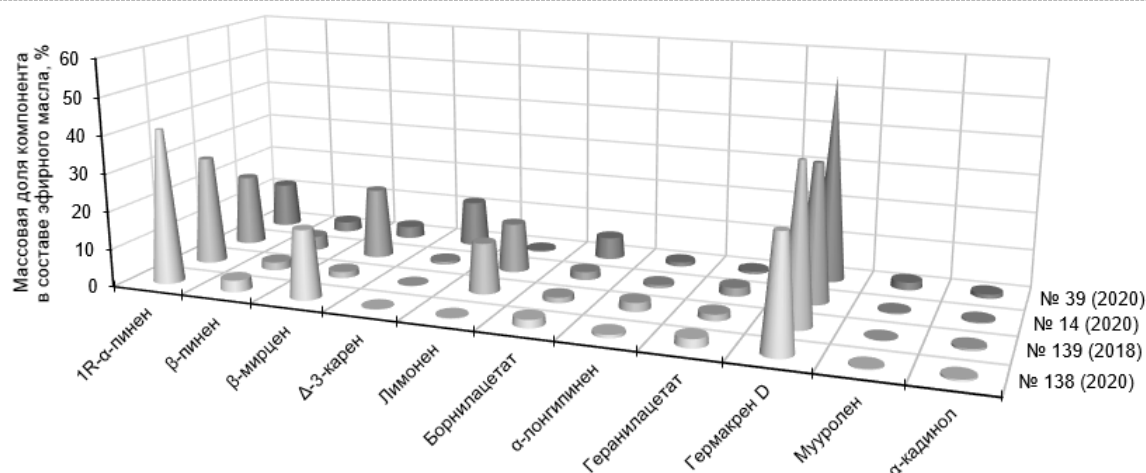


Рисунок 1 – Изменчивость содержания основных компонентов эфирного масла ($C \geq 0,5\%$) в образцах растений *S. canadensis* разного географического происхождения. Наименование компонентов приведено в соответствии с данными, отраженными в библиотеке масс-спектров NIST 5

Таблица 5 – Изменчивость компонентного состава и выхода эфирного масла из соцветий *S. canadensis* разного географического происхождения в разные годы

Образец		№ 138	№ 138	№ 138	№ 139	№ 139	№ 14	№ 39
Год сбора		2017	2018	2020	2017	2018	2020	2020
Название компонента	Rt	массовая доля компонента в составе эфирного масла, %						
Трициклен	0:10:44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0002	0,00	1,93
1R-α-пинен	0:12:19	43,92	35,85	40,70	31,04	28,53	18,72	11,86
Кампфен	0:12:48	0,47	0,52	0,05	0,61	0,60	0,03	0,07
β-пинен	0:13:59	2,80	2,36	3,08	2,18	2,09	3,65	2,67
β-мирцен	0:14:34	15,97	14,37	18,22	1,65	1,60	18,61	3,17
Δ-3-карен	0:15:10	0,10	0,09	0,14	0,07	0,07	0,79	11,97
Лимонен	0:16:05	1,56	1,09	0,21	12,53	13,23	12,97	0,39
Борнилацетат	0:25:42	1,38	1,85	2,13	1,33	1,41	2,12	5,80
α-лонгипинен	0:27:35	0,01	0,91	0,83	2,36	2,33	0,81	1,09
Геранилацетат	0:29:05	2,45	2,84	2,27	1,45	1,68	2,25	0,69
D-лонгифолен	0:29:45	0,00	0,85	0,24	0,00	0,59	0,41	0,47
B-кариофиллен	0:30:05	0,66	0,28	0,51	0,22	0,19	0,70	0,82
α-кариофиллен	0:31:15	0,22	0,11	0,23	0,28	0,13	0,63	0,32
Гермакрен D	0:32:18	23,44	30,57	29,69	37,60	41,35	36,11	54,27
Каниадиен	0:32:55	0,18	1,39	0,12	0,44	0,34	0,12	0,35
Мууролон	0:33:06	0,24	1,38	0,28	0,68	0,00	0,35	2,01
Сескви-фелландрен	0:33:16	0,93	1,38	0,24	0,18	0,21	0,36	0,66
Мууролол	0:33:37	0,01	0,05	0,37	0,07	0,07	0,70	0,04
α-кадинол	0:37:20	0,33	0,58	0,47	0,68	0,55	0,39	1,09
Сумма компонентов, %		94,68	96,47	99,79	93,37	94,97	99,72	99,65
Выход эфирного масла, %		1,08	0,98	1,70	1,43	1,32	1,100	0,85

в пересчете на абсолютно сухое сырье

Примечание. Rt – время хроматографического удерживания компонента в аналитической колонке.

Выводы

Установлено, что золотарник канадский (*Solidago canadensis* L.) хорошо растет и развивается в условиях культуры среднетаежной подзоны Республики Коми и перспективен для возделывания в данном почвенно-климатическом районе.

Размножение данного вида при интродукции на Севере возможно семенами инорайонного происхождения и вегетативным способом – делением корневищ многолетних растений на части. Со второго года жизни при рассадном способе выращивания до 20% растений золотарника канадского вступали в генеративный период.

Выявлено, что на сроки наступления и продолжительность основных фенологических фаз золотарника канадского оказывали влияние метеорологические условия вегетационного сезона и происхождение образца. Выявлен длительный период цветения растений, который составлял 51–56 дней. К фазе массового цветения растения золотарника канадского достигали максимального развития. В условиях культуры золотарник канадский с третьего года жизни способен формировать многочисленные (18–20 шт. на особь), прямостоячие, облиственные побеги 143–153 см высотой и до 0,6 см в диаметре. Число листьев на стебле варьировало от 63 до 101 шт. Закладка флораль-

ной части побега (соцветия) отмечено с пазух 41–49 стеблевого листа. Длина соцветий составляла 30–39 см и состояла из 21–41 боковых осей (паракладиев). Плодоношение растений начиналось в конце августа – середине сентября и прерывалось заморозками.

Определено содержание общего азота (1,8–3,0%) и суммы аминокислот белков в сырьевой фитомассе золотарника канадского. Суммарное содержание аминокислот в надземной фитомассе золотарника канадского варьировало по годам исследований от 7,9 до 15,2%. Количественно определены 17 аминокислот, из которых семь являются незаменимыми. Наибольшее содержание выявлено для аминокислот: пролин (13,2%), глутаминовой (11%), аспарагиновой (10,8%), лизин (8,4%), лейцин (8,0%), валин (5,9%), аланин (5,8%), аргинин (5,7%) и глицин (5,2%).

Содержание флавонолов в надземной сырьевой фитомассе золотарника канадского при выращивании на Севере составляло 4,5–5,7% и соответствовало требованиям, предъявляемым к лекарственному сырью (не менее 3%).

Содержание эфирного масла в надземной фитомассе растений варьировало от 0,85 до 1,7% в пересчете на абсолютно-сухое сырье. В составе ЭМ достоверно идентифицировано 39 компонентов, девять из которых являлись основными. Доминирующими соединениями являлись α -пинен (до 43,9%), мирцен (до 18,2%), лимонен (до 13,2%), Δ -3-карен (до 12,0%); из сесквитерпеноидов: гермакрен D (до 54,3%), борнилацетат (до 5,8%), геранилацетат (до 2,4%), кадинаден (до 2,0%), сескви-фелландрен (до 1,4%).

На основании данных ГЖХ-МС анализа эфирного масла установлено, что три изученных образца растений золотарника канадского из Екатеринбурга, Новосибирска и Москвы могут быть отнесены к гермакрен-D- α -пиненовому хемотипу. Четвертый образец растений из Румынии отнесен к гермакрен-D- Δ -3-кареновому хемотипу.

Золотарник канадский является перспективным растением в условиях культуры среднетаежной подзоны Республики Коми для дальнейшего фитохимического изучения с целью создания лекарственных средств противовоспалительного, антипролиферативного, гастропротекторного, антиоксидантного действия.

Список литературы:

1. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья, 1995. 990 с.
2. Федотова В.В., Челомбитко В.А. Виды рода золотарник (*Solidago*): значение для медицинской практики, перспективы изучения // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. 2012. № 16 (135). С. 136–145.
3. Сулоев И.С., Дудецкая Н.А., Теслов Л.С., Лужанин В.Г., Яковлев Г.П. О некоторых видах рода золотарник (обзор) // Журнал научных статей «Здоровье и образование в XXI веке». 2019. Т. 21, № 6. С. 68–76. DOI: 10.26787/nydha-2226-7425-2019-21-6-68-76.
4. Атлас лекарственных растений России / под общ. ред. В.А. Быкова. М.: ВИЛАР, 2006. 352 с.
5. Цицилин А.Н., Пешанская Е.В. Онтогенез *Solidago canadensis* L. при интродукции в условиях Ставропольской возвышенности // Бюллетень ботанического сада Саратовского государственного университета. 2010. № 9. С. 65–71.

6. Дикорастущие лекарственные растения России: сбор, сушка, подготовка сырья (сборник инструкций). М.: ФГБНУ ВИЛАР, 2015. С. 119–121.

7. Интродукция лекарственных, ароматических и технических растений (Итоги работ интродукционного питомника БИН АН СССР за 250 лет). М.; Л.: Наука, 1965. 426 с.

8. Tutin T.G., Heywood V.H., Burges N.A., Moore D.M., Valentine D.H., Walters S.M., Webb D.A. Flora Europaea // Cambridge University Press. 1976. Vol. 4. P. 215–220.

9. Botta-Dukat Z., Dancza I. Effect of weather conditions on the growth of *Solidago gigantea* // Plant Invasions: Species Ecology and Ecosystem Management. 2001. P. 185–197.

10. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М.: Издательство Геос, 2010. 512 с.

11. Шуклин Ю.И. Рост и развитие золотарника канадского при возделывании в нечерноземной зоне России // Достижения науки и агротехники. 2008. № 3. С. 25–27.

12. Семенихин В.И. Введение в культуру золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) и лопуха большого (*Arctium lappa* L.) и разработка технологий их возделывания: автореф. дис. ... канд. с/х. наук: 06.01.13. М., 2009. 20 с.

13. Пешанская Е.В. Биологические особенности золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) при интродукции в условиях Ставропольской возвышенности: автореф. дис. ... канд. с/х. наук: 06.01.13. М., 2009. 22 с.

14. Портнягина Н.В., Пунегов В.В., Эчишвили Э.Э., Фомина М.Г. Итоги интродукции: лекарственные растения // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 6 (164). С. 23–36.

15. Майсурадзе Н.И., Киселев В.П., Черкасов О.А., Нухимовский Е.Л., Тихонова В.Л., Макарова Н.В., Угнивенко В.В. Методика исследований при интродукции лекарственных растений // Лекарственное растениеводство. Вып. 3. М., 1984. С. 1–33.

16. Сацыперова И.Ф., Рабинович А.М. Проект общесоюзной программы исследований по интродукции лекарственных растений // Растительные ресурсы. 1990. Т. 26, вып. 4. С. 587–597.

17. Зайцев Г.Н. Методика биометрических расчетов. М.: Наука, 1973. 256 с.

18. Беликов В.В., Точкова Т.В., Шатунова Л.В. Количественное определение основных действующих веществ у видов *Hypericum* L. // Растительные ресурсы. 1990. Т. 26, вып. 4. С. 541–578.

19. Голубев В.Н. Эколого-биологические особенности травянистых растений и растительных сообществ лесостепи. М.: Наука, 1965. 286 с.

20. Найда Н.М., Поленникова К.Ю. Изучение золотарника канадского в Ленинградской области // Вестник студенческого научного общества. 2017. № 8, вып. 1. С. 48–49.

21. El-Sherei M., Khaleel A., Motaal A.A., Abd-Elbaki P. Effect of seasonal variation on the composition of the essential oil of *Solidago canadensis* cultivated in Egypt // Journal of Essential Oil Bearing Plants. 2014. Vol. 17, № 5. P. 891–898. DOI: 10.1080/0972060X.2014.901612.

22. Kalembe D., Thiem B. Constituents of the essential oils of four micropropagated *Solidago* species // Flavour and Fragrance Journal. 2004. Vol. 19, № 1. P. 40–43. DOI: 10.1002/ffj.1271.

23. Mishra D., Joshi S., Sah S.P., Bisht G. Chemical composition, analgesic and antimicrobial activity of *Solidago*

canadensis essential oil from India // Journal of Pharmacy Research. 2011. Vol. 4, № 1. P. 63–66.

24. Багателья С.А., Маркосян Е.Ю., Пилиа П.Д., Марколия А.А. Хромато-масс спектрометрическое исследование компонентного состава эфирного масла золотарника канадского (*Solidago canadensis*) из цветков, листьев и корней растения, полученного методом СВЧ экстракции // Перспективы внедрения инновационных технологий в медицине и фармации: сб. мат-лов всерос. науч. конф. Орехово-Зуево: Государственный гуманитарно-технологический университет, 2017. С. 22–28.

25. Shelepova O., Vinogradova Yu., Zaitchik B., Ruzhitsky A., Grygorieva O., Brindza J. Constituents of the essen-

tial oil in *Solidago canadensis* L. from Eurasia // Potravnarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2018. Vol. 12, № 1. P. 20–25. DOI: 10.5219/847.

Исследования выполнены на базе УНУ «Научная коллекция живых растений Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН», регистрационный номер 507428 (г. Сыктывкар, подзона средней тайги) и в рамках государственного задания по теме «Закономерности процессов репродукции ресурсных растений в культуре на европейском Северо-Востоке» № 0414–2018–0006 (PK: AAAA-A17–117122090004–9).

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
<p>Портнягина Надежда Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник отдела Ботанический сад; Институт биологии Коми научного центра УрО РАН (г. Сыктывкар, Российская Федерация). E-mail: portniagina@ib.komisc.ru.</p> <p>Пунегов Василий Витальевич, кандидат химических наук, старший научный сотрудник отдела Ботанический сад; Институт биологии Коми научного центра УрО РАН (г. Сыктывкар, Российская Федерация). E-mail: punegov@ib.komisc.ru.</p> <p>Эчишвили Эльмира Элизбаровна, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела Ботанический сад; Институт биологии Коми научного центра УрО РАН (г. Сыктывкар, Российская Федерация). E-mail: elmira@ib.komisc.ru.</p> <p>Фомина Марина Геннадьевна, старший лаборант-исследователь отдела Ботанический сад; Институт биологии Коми научного центра УрО РАН (г. Сыктывкар, Российская Федерация). E-mail: fomina@ib.komisc.ru.</p> <p>Чуча Константин Витальевич, инженер отдела Ботанический сад; Институт биологии Коми научного центра УрО РАН (г. Сыктывкар, Российская Федерация). E-mail: chucha@ib.komisc.ru.</p> <p>Груздев Иван Владимирович, доктор химических наук, доцент, старший научный сотрудник экоаналитической лаборатории; Институт биологии Коми научного центра УрО РАН (г. Сыктывкар, Российская Федерация). E-mail: gruzdev@ib.komisc.ru.</p> <p>Вебер Никита Эдуардович, инженер отдела Ботанический сад; Институт биологии Коми научного центра УрО РАН (г. Сыктывкар, Российская Федерация). E-mail: weber@ib.komisc.ru.</p>	<p>Portnyagina Nadezhda Vasilyevna, candidate of agricultural sciences, associate professor, senior researcher of Botanical Garden; Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Syktyvkar, Russian Federation). E-mail: portniagina@ib.komisc.ru.</p> <p>Punegov Vasily Vitalyevich, candidate of chemical sciences, senior researcher of Botanical Garden; Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Syktyvkar, Russian Federation). E-mail: punegov@ib.komisc.ru.</p> <p>Echishvili Elmira Elizbarovna, candidate of biological sciences, researcher of Botanical Garden; Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Syktyvkar, Russian Federation). E-mail: elmira@ib.komisc.ru.</p> <p>Fomina Marina Gennadyevna, senior laboratory assistant-researcher of Botanical Garden; Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Syktyvkar, Russian Federation). E-mail: fomina@ib.komisc.ru.</p> <p>Chucha Konstantin Vitalievich, engineer of Botanical Garden; Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Syktyvkar, Russian Federation). E-mail: chucha@ib.komisc.ru.</p> <p>Gruzdev Ivan Vladimirovich, doctor of chemical sciences, associate professor, senior researcher of Ecoanalytic Laboratory; Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Syktyvkar, Russian Federation). E-mail: gruzdev@ib.komisc.ru.</p> <p>Weber Nikita Eduardovich, engineer of Botanical Garden; Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Syktyvkar, Russian Federation). E-mail: weber@ib.komisc.ru.</p>

Для цитирования:

Портнягина Н.В., Пунегов В.В., Эчишвили Э.Э., Фомина М.Г., Чуча К.В., Груздев И.В., Вебер Н.Э. Рост, развитие, морфология и биохимическая характеристика растений золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) при интродукции в среднетаежной подзоне Республики Коми // Самарский научный вестник. 2021. Т. 10, № 3. С. 87–94. DOI: 10.17816/snv2021103112.