

## НАКОПЛЕНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ И ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ В ЛИСТЬЯХ ГАЛЕГИ (*Galega orientalis* Lam.) СОРТА ГАЛЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗРАСТА ТРАВСТОЯ И АГРОТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В ЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ\*

Е.А. МОИСЕЕВА<sup>1</sup> <sup>✉</sup>, И.В. КРАВЧЕНКО<sup>1</sup>, Л.Ф. ШЕПЕЛЕВА<sup>2</sup>, Р.Х. БОРДЕЙ<sup>1</sup>

Продуктивность растений и накопление биологически активных веществ определяются комплексом сложных взаимодействий физиолого-биохимических процессов, экологических факторов и применяемых агротехнологий. Возможности широкого использования галеги восточной во многом обусловлены ее исключительной приспособляемостью к различным условиям окружающей среды и большим потенциалом урожайности. Несмотря на достаточно длительную историю интродукции *G. orientalis* как кормовой культуры в разных регионах мира и в России, сведения об аккумуляции в ее зеленой массе фотосинтетических пигментов, витамина С и флавоноидов при адаптации к новым условиям произрастания немногочисленны, а для севера России полностью отсутствуют. Ранее мы впервые описали фенологические, эко-морфологические особенности и оценили фотосинтетический потенциал, продуктивность зеленой массы и семян у галеги восточной при выращивании в зоне Средней тайги Западной Сибири. В настоящей работе систематизированы полученные нами впервые данные о накоплении фотосинтетических пигментов, витамина С и флавоноидов в растениях галеги восточной в пункте интродукции. Цель исследования — охарактеризовать содержание этих соединений при адаптации к новым экологическим условиям при разных агротехнических приемах и в зависимости от возраста травостоя. Интродукционные исследования проводили в 2013-2015 годах на экспериментальном участке в поселке Барсово (Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, Сургутский р-н, 61°15'00" с.ш., 73°25'00" в.д.) на сорте Гале. Растения выращивали с использованием гороха в качестве покровной культуры, в монокультуре с предпосевной обработкой семян микробиологическим препаратом Байкал-ЭМ1 (ООО НПО «ЭМ-Центр», Россия) и в монокультуре без обработки. Эффект сравниваемых агротехнических приемов (монокультура, монокультура с предпосевной обработкой семян микробиопрепаратом Байкал-ЭМ1, смешанный посев с горохом) при сравнении суммарного содержания хлорофиллов (Chl a + Chl b) в листьях проявился со 2-го года жизни растений. При обработке микробиопрепаратом в течение 2-го и 3-го года этот показатель был выше, чем в контроле (по фазам развития на 19-22 % и на 16-18 %), в смешанном посеве — снижался в конце 2-го года, но к концу 3-го года превысил контрольные значения на 33 %. В контроле содержание Chl a в листьях галеги восточной в год посева, на 2-й и 3-й годы жизни в среднем за вегетационный сезон составило 1,23±0,10; 1,29±0,12 и 1,32±0,14 мг/г сухой массы. В среднем за 2-й год при применении удобрения Байкал-ЭМ1 содержание Chl a в листьях возросло на 15 % в сравнении с контролем, при совместном посеве с горохом — оставалось в пределах контрольных значений (1,20±0,23 мг/г) ( $p \leq 0,05$ ). В среднем за 3 года при применении микробиологического препарата значение Chl a/Chl b в листьях достоверно ( $p \leq 0,05$ ) снизилось, что может указывать на повышение адаптивного потенциала растений, в бинарных посевах — осталось в пределах контрольных значений. Доля хлорофиллов (Chl a + Chl b), локализованных в светособирающих комплексах листьев, варьировала от 20 до 90 % от фенологической фазы, возраста травостоя и варианта опыта. В контроле, при инокуляции микробиопрепаратом и в смешанном посеве корреляция между Chl a/Chl b и долей хлорофиллов (Chl a + Chl b), локализованных в ССК, составила соответственно  $r = -0,83$ ;  $r = -0,93$  и  $r = -0,65$ . Сравнимые агротехнические приемы не привели к статистически значимому изменению показателя Chl/Car у интродуктента. Тем не менее при инокуляции препаратом Байкал-ЭМ1 и в смешанном посеве с горохом накопление каротиноидов в листьях галеги восточной превышало таковое в контроле. В среднем за годы исследования по всем вариантам опыта накопление всех пигментов в листьях прямо коррелировало с ГТК. Содержание Chl b и каротиноидов оказалось слабее связано с температурным режимом региона, при этом первый показатель прямо коррелировал с количеством осадков за сезон, а для второго отмечали отрицательную корреляцию. При инокуляции препаратом Байкал-ЭМ1 содержание витамина С в листьях в 1-й и 2-й год жизни растений повышалось относительно контроля, к 3-му году — практически сравнялось с контрольными значениями, в бинарном посеве на 3-й год снижалось относительно контроля. Содержание флавоноидов в листьях при при-

\* Работа проведена при финансовой поддержке Департамента образования и молодежной политики Ханты-Мансийского автономного округа—Югры, в рамках проекта «Технологии выращивания и извлечения биологически активных соединений северных ягодных культур и лекарственных трав (ЮграБиоФарм)» Сургутского государственного университета и в рамках Госзадания № 0721-2020-0019.

менении микробиопрепарата и в контроле на 3-й год (когда растения перешли к генеративному развитию) резко снизилось, тогда как в посеве с покровной культурой, где продолжалась виргинильная стадия — резко возросло (в 1,6 раза по сравнению с предыдущими годами). В целом полученные данные свидетельствуют, что применение микробиологического препарата Байкал-ЭМ1 в большей степени способствовало адаптации растений галеги восточной 2-го и 3-го годов жизни к новым экологическим условиям.

Ключевые слова: пигменты фотосинтеза, витамин С, флавоноиды, *Galega orientalis* Lam., галега восточная, сорт Гале, интродукция, Байкал-ЭМ1.

В странах Европейского Союза, особенно в Центральной и Северной Европе, в течение многих лет отмечается дефицит кормового белка, что в первую очередь связывают с неблагоприятными климатическими условиями, в частности коротким периодом вегетации растений и участвовавшими засухами. Потенциал многолетних зернобобовых культур, значительная часть которых устойчивы к засухе, все еще не реализован, хотя урожайность белка у них часто в 2 раза выше, чем у однолетних культур (1). Этим обусловлено внимание к альтернативным многолетним бобовым культурам, способным обеспечивать более стабильные урожаи зеленой массы с высокой кормовой ценностью.

В таком качестве все активнее используется галега восточная, или козлятник восточный, (*Galega orientalis* Lam.) — многолетнее кормовое бобовое растение (сем. *Fabaceae*), которое обладает комплексом ценных свойств: зимостойкостью, засухоустойчивостью, высокой эффективностью использования весенних запасов влаги; ранним отрастанием весной и быстрым ростом, значительной облиственностью (60–70 %) и стабильностью семеноводства (урожайность семян до 6 ц/га и более); долголетием (10–15 лет и более); высокой продуктивностью (за 2 укоса можно получить зеленой массы до 60–70, сена — 10–15 т/га) и питательной ценностью (в 1 корм. ед. содержится 150–270 г переваримого протеина) (2, 3).

Возможности широкого использования галеги восточной во многом обусловлены ее биологическими особенностями, и в частности большим потенциалом урожайности и исключительной приспособляемостью к различным условиям окружающей среды (4). Естественная территория произрастания галеги восточной — Северный Кавказ и Закавказье (<https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:495682-1>) (5). Евразийский Кавказский регион считается географическим центром происхождения этого вида (6). Однако в настоящее время он существенно расширил ареал, в том числе вследствие интродукции (5, 7). В качестве кормового растения галега восточная культивируется на Украине, в Белоруссии, Эстонии, Китае, в странах Западной Европы — Австрии, Франции, где также отмечается натурализация вида (7), в Австрии, странах Балтии, в Чехословакии, Казахстане (5), Молдове (8), Канаде (здесь продуктивность сравнивали в географических координатах 45–56° с.ш. и от 52–120° з.д.) (9), Японии (10).

В России исследования по интродукции галеги восточной выполнены во многих регионах, в частности в Центрально-Черноземной зоне (11), Поволжье (12, 13), на Среднем Урале (14), в Сибири (15, 16). На основе полученных данных разрабатываются и оптимизируются региональные технологии выращивания галеги восточной с учетом сроков и норм посева семян, эффективности покровных культур, применения микробиологических препаратов, числа укосов, влияния на почву, длительности хозяйственного использования посевов, семенной продуктивности. Авторы этих работ в основном оценивали фотосинтетический потенциал, продуктивность культуры, содержание в зеленой массе сухого вещества, белка, аминокислот в течение сезона вегетации и в зависимости от способа культивирования. Однако в зеленой массе галеги присутствуют и другие компоненты,

характеризующие ее кормовые достоинства и качество, — клетчатка, пектины, хлорофиллы, вторичные метаболиты (витамин С, флавоноиды, каротиноиды), а также антипитательные вещества, например, танины (17-19), ухудшающие переваримость белка и придающие растениям горький вкус, что нежелательно в кормовых культурах. Количество и соотношение таких компонентов тоже может изменяться в онтогенезе растений и под влиянием экологических условий и технологий возделывания.

Физиологическая роль хлорофиллов, каротиноидов, витамина С и флавоноидов многообразна. Это сильные природные антиоксиданты (20-22), защитные свойства которых обусловлены способностью предотвращать или замедлять окислительное повреждение клеток, вызванное физиологическими окислителями, включая активные формы кислорода, азота и свободные радикалы (23). Кроме того, каротиноиды играют важную роль в обмене веществ (витамин А — производное бета-каротина) (24). Наряду с антиоксидантным действием хорошо известна противовоспалительная, гепатопротекторная, антибактериальная, противовирусная и противораковая активность флавоноидов (22). Хлорофиллы и каротиноиды — пигменты, участвующие в процессе фотосинтеза. Они входят в состав основных пигмент-белковых комплексов фотосинтетического аппарата (25). Фотосинтетический аппарат способен к перестройкам, которые в непрерывно меняющихся условиях освещения обеспечивают успешный рост и развитие растений. Ключевые компоненты фотосинтетического аппарата — пигмент-белковые комплексы — характеризуются постоянством состава и структуры, а адаптивные перестройки осуществляются посредством изменения их числа и соотношения в мембранах тилакоидов (25). Аскорбиновая кислота (АК) — низкомолекулярный антиоксидант, наиболее распространенный в растениях, где он вовлечен в разнообразные метаболические процессы, в том числе в реакции, определяющие устойчивость к стрессам и адаптивный ответ на воздействия внешней среды (26). Известна роль аскорбиновой кислоты в поддержании фотосинтеза и защите фотосинтетического аппарата от активных форм кислорода и фотоингибирования (26, 27). Аскорбиновая кислота способна быть донором электронов, обеспечивающим полноценное функционирование фотосинтетической электрон-транспортной цепи (28-30). Флавоноиды — вторичные метаболиты растений, обладающие высокой биологической активностью, в частности они могут прямо или косвенно ослаблять либо предупреждать клеточные повреждения, вызываемые свободными радикалами (22, 31). Флавоноиды выполняют чрезвычайно важную функциональную роль во взаимодействиях растений и окружающей среды. Они участвуют в регуляции транспорта ауксина, создавая его градиенты. Это приводит к формированию фенотипов с различными морфо-анатомическими особенностями, что может иметь огромное значение в индуцированных стрессом морфогенных реакциях растений (22).

Несмотря на достаточно длительную историю интродукции *G. orientalis* как кормовой культуры в разных регионах мира и в России, сведения об аккумуляции фотосинтетических пигментов, витамина С и флавоноидов в растениях галеги при адаптации к новым условиям произрастания немногочисленны (4, 17-19, 32, 33), а для севера России отсутствуют.

Ранее мы впервые описали фенологические, эко-морфологические особенности и оценили фотосинтетический потенциал, продуктивность зеленой массы и семян (34-36) у галеги восточной и перспективы при выращивании в зоне Средней тайги Западной Сибири (37-39). В настоящей работе систематизированы полученные нами впервые данные о накоплении

фотосинтетических пигментов, витамина С и флавоноидов в растениях галеги восточной в пункте интродукции.

Цель исследования — охарактеризовать содержание хлорофиллов, каротиноидов, витамина С и флавоноидов в растениях галеги восточной (*Galega orientalis* Lam.) при адаптации к новым экологическим условиям возделывания при разных агротехнических приемах (предпосевная подготовка семян, использование гороха в качестве покровной культуры) и в зависимости от возраста травостоя.

**Методика.** Интродукционные исследования *G. orientalis* проводили в 2013–2015 годах на экспериментальном участке в поселке Барсово (Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, Сургутский р-н, 61°15'00" с.ш., 73°25'00" в.д.) на сорте Гале (включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, в 1988 году). Семена приобретены в 2013 году в ООО АФ «Семена Приобья» (г. Новосибирск, категория РС1 — первая репродукция).

Почва опытного участка песчаная подзолистая, окультуренная, содержание массовой доли органического вещества 5,63 %,  $pH_{\text{сол.}}$  — 5,21, сумма поглощенных оснований — 4,7 ммоль/100 г почвы, N-NH<sub>4</sub> — 3,85 мг/кг почвы, N-NO<sub>3</sub> — 129 мг/кг почвы, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 396,1 мг/кг почвы, K<sub>2</sub>O — 66,5 мг/кг почвы (36). Вегетационный период 2013 года был засушливым, сумма среднесуточных температур составила 1751 °С, количество осадков — 252,7 мм, ГТК (гидротермический коэффициент) = 1,4 (при среднемноголетнем значении ГТК = 1,7). В теплые периоды 2014 и 2015 годов суммы среднесуточных температур равнялись соответственно 1546 и 1579 °С с избыточным накоплением влаги — соответственно 356 и 458 мм (при норме 1648,6 °С и 287 мм), ГТК = 2,3 в 2014 году, ГТК = 2,9 в 2015 году (36). В течение вегетационных сезонов происходили резкие колебания основных метеорологических показателей, в целом неблагоприятные для роста и развития галеги восточной. Мониторинг погодных условий в пункте интродукции осуществляли на основании данных метеостанции г. Сургута.

Для оценки влияния метеорологических факторов вегетационных периодов были заложены микроделяночные полевые опыты: посев в 2013 году с учетом в 2013–2015 годах (травостой 1–3-го годов жизни); посев в 2014 году с учетом в 2014–2015 годах (травостой 1–2-го годов жизни); посев в 2015 году с учетом в 2015 году (травостой 1-го жизни). Растения выращивали в трех вариантах: в одновидовом посеве без обработки семян (контроль); в одновидовом посеве с предварительной обработкой семян микробиологическим препаратом Байкал-ЭМ1 (ООО НПО «ЭМ-Центр», г. Улан-Удэ, Россия) в соответствии с рекомендациями производителя (разведение 1:1000, замачивание на 30–60 мин; препарат содержит комплекс молочнокислых, фотосинтезирующих, азотофиксирующих бактерий, сахаромицетов); в смешанном посеве с горохом как покровной культурой без предпосевной бактериальной инокуляции семян галеги. Норма высева галеги восточной 2,8 млн семян на 1 га, гороха — 1 млн семян на 1 га. Прополку сорной растительности не проводили. В конце вегетации травостой галеги восточной не скашивали. Биологическая повторность в каждом варианте 4-кратная, размещение участков рандомизированное (40), площадь каждой учетной делянки 1,5 м<sup>2</sup>, общая учетная площадь для каждого года посева 18 м<sup>2</sup>. Проводили фенологические наблюдения (41), регистрировали фазы онтогенеза, учитывали формирование морфологических структур (42–46). В каждую фенофазу развития и по завершении вегетации (41) отбирали для анализа функционально зрелые листья с 20 растений галеги восточной и формировали объединенную пробу (общее число проб — 372). Пробы высушивали до воздушно-сухого

состояния и измельчали.

Для определения количества фотосинтетических пигментов — хлорофиллов а и b (Chl a, Chl b) и каротиноидов (Car) навеску массой 0,05–0,08 г экстрагировали 96 % этиловым спиртом с добавлением CaCO<sub>3</sub> и фильтровали до бесцветного состояния. Оптическую плотность экстракта определяли при  $\lambda = 665$  нм (хлорофилл а),  $\lambda = 649$  нм (хлорофилл b) и  $\lambda = 470$  нм (каротиноиды) (СФ-56, ООО «Люмэкс», Россия) (контроль — 96 % этиловый спирт) (47). Долю хлорофиллов в светособирающих комплексах (ССК) рассчитывали, как  $(\text{Chl b} + 1,2 \text{ Chl b})/(\text{Chl a} + \text{Chl b})$ , принимая, что весь Chl b находится в ССК фотосистемы (ФС) II, а соотношение Chl a/Chl b в этом комплексе равно примерно 1,2 (48, 49). Определяли соотношения Chl a/Chl b и  $(\text{Chl a} + \text{Chl b})/\text{Car}$ .

Количество АК определяли по методике E.J. Hewitt и G.J. Dicks (50) в модификации Г.Н. Чупахиной (51). Навеску растительного сырья (0,3 г) заливали 5 % метафосфорной кислотой, растирали и экстрагировали в течение 10 мин при 4 °С и 20 мин в термостате при 100 °С. Переносили в ледяную баню и через 1 ч фотометрировали при  $\lambda = 520$  нм (СФ-56, ООО «Люмэкс», Россия) (контроль — 5 % метафосфорная кислота).

Содержание флавоноидов определяли в соответствии с рекомендацией (52) в цветной реакции с хлоридом алюминия. Навеску массой 0,25 г экстрагировали 70 % этиловым спиртом в течении 30 мин с нагреванием на водяной бане. Оптическую плотность определяли при  $\lambda = 410$  нм (СФ-56, ООО «Люмэкс», Россия) (в сопоставлении со стандартом — раствором рутина).

Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета программ Microsoft Office Excel 2016 и программы Statistica 6.0 «StatSoft, Inc.», США). Вычисляли средние арифметические значения ( $M$ ) и стандартные ошибки средних ( $\pm \text{SEM}$ ). Достоверность различий оценивали по критерию существенности различий ( $t$ -критерию Стьюдента) при уровне значимости  $p = 0,05$ . Для оценки взаимосвязей изучаемых параметров применяли парный корреляционный анализ Пирсона.

**Результаты.** Продуктивность растений и накопление биологически активных веществ определяются комплексом сложных взаимодействий физиолого-биохимических процессов, экологических факторов и применяемых агротехнологий. Интродукцию растений в северных широтах ограничивают неблагоприятные почвенные и погодные условия. В Средней тайге Западной Сибири это холодный климат, резкие суточные колебания температуры, заморозки, увеличение продолжительности светового дня в первой половине вегетационного периода, короткий вегетационный период, низкое плодородие и высокая кислотность почвы. Ранее мы показали, что галега восточная сорта Гале в условиях Сургутского района Ханты-Мансийского автономного округа ( $61^{\circ}15'00''$  с.ш.,  $73^{\circ}25'00''$  в.д.) формировала продуктивность зеленой массы с 1 га в среднем за 3 года в контроле 243,0 ц, при применении удобрения Байкал-ЭМ1 — 280,0 ц и в смешанном посеве с горохом 66,7 ц (сбор сухого вещества — соответственно 68,8; 76,4 и 19,9 ц/га) (35).

**Фотосинтетические пигменты.** При выращивании галеги восточной статистически значимо ( $p \leq 0,05$ ) эффект сравниваемых приемов в отношении суммы хлорофиллов в листьях по фазам развития растений проявился со 2-го года жизни (табл. 1). Так, при инокуляции микробиологическим препаратом на 2-й и 3-й годы жизни в фазу всходов сумма зеленых пигментов была выше соответственно на 22 и 16 %, в фазу кущения — на 26 и 19 %, ветвления стебля — на 19 и 18 %, чем в контроле. В смешанном

посеве галеги с горохом у растений 2-го и 3-го годов жизни сумма хлорофиллов в листьях статистически значимо ( $p \leq 0,05$ ) увеличивалась в фазу всходов на 19,4 %, в фазу кушения на 24,0 %, в фазу ветвления стебля на 18,7 %, но в конце 2-го года жизни снижалась на 53,0 % по сравнению с контролем. На 3-й год в посеве с покровной культурой в фазы кушения и ветвления стебля суммарное содержание хлорофиллов, наоборот, сначала снижалось (на 46 и 21 %), а в конце сезона вегетации оказалось на 33 % выше, чем в контроле.

**1. Содержание фотосинтетических пигментов (мг/г сухого вещества) в листьях галеги (*Galega orientalis* Lam.) сорта Гале в зависимости от возраста травостоя и агротехнологии при интродукции (п. Барсово, Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, Сургутский р-н)**

ФР	Chl a		Chl b		Chl a + Chl b		Car		Chl a + Chl b + Car	
	M±SEM	Cv, %	M±SEM	Cv, %	M±SEM	Cv, %	M±SEM	Cv, %	M±SEM	Cv, %
1-й год жизни										
<i>Монокультура, неинокулированные семена (контроль)</i>										
<i>Посев 2013 года</i>										
1	1,28±0,02	17,0	0,33±0,04	37,0	1,61±0,05	14,0	1,28±0,12	16,8	2,89±0,02	18,3
2	1,55±0,02	14,3	0,42±0,04	54,0	1,97±0,03	16,2	1,12±0,10	14,5	3,04±0,02	15,0
3	1,76±0,07	15,6	0,54±0,08	24,7	2,30±0,05	15,0	0,92±0,14	18,0	3,22±0,08	17,4
7	0,21±0,05	18,2	0,10±0,06	22,0	0,31±0,09	16,0	0,49±0,09	15,3	0,80±0,05	20,3
<i>Посев 2014 года</i>										
1	1,30±0,03	24,1	0,18±0,12	32,4	1,48±0,04	22,3	1,18±0,10	17,4	2,66±0,09	19,4
2	1,62±0,09	19,0	0,42±0,10	50,1	2,04±0,03	18,7	1,09±0,14	19,2	3,13±0,07	17,0
3	1,88±0,02	17,3	0,46±0,05	48,0	2,34±0,10	15,6	0,83±0,10	16,4	3,17±0,05	15,8
7	0,20±0,03	15,0	0,55±0,07	32,0	0,73±0,07	27,3	0,42±0,09	15,0	1,15±0,06	16,4
<i>Посев 2015 года</i>										
1	1,34±0,05	16,3	1,29±0,05	27,6	2,63±0,06	19,2	1,22±0,08	14,8	3,85±0,07	15,0
2	1,53±0,07	21,0	1,47±0,03	25,3	3,00±0,04	20,0	1,18±0,10	19,2	4,18±0,08	14,8
3	1,75±0,05	12,0	1,57±0,09	52,0	3,32±0,06	24,5	0,85±0,13	19,0	4,17±0,10	22,3
7	0,20±0,08	12,7	0,11±0,07	47,3	0,30±0,07	19,3	0,33±0,09	14,3	0,63±0,09	17,5
<i>Среднее по фенофазе (2013-2015 годы)</i>										
1	1,30±0,02	12,0	0,61±0,35	54,8	1,91±0,36	33,0	1,23±0,03	18,0	3,29±0,29	15,2
2	1,53±0,06	16,0	0,77±0,35	41,0	2,34±0,33	24,6	1,13±0,03	14,0	3,47±0,36	17,8
3	1,80±0,04	14,3	0,86±0,36	39,2	2,65±0,33	21,8	0,87±0,03	15,0	3,52±0,33	16,0
7	0,20±0,03	13,7	0,25±0,15	40,0	0,86±0,15	31,0	0,41±0,05	19,0	0,86±0,15	30,8
<i>Среднее за вегетационный сезон (2013-2015 годы)</i>										
	1,22±0,18	52,5	0,62±0,15	84,0	1,84±0,29	54,0	0,91±0,09	37,0	2,75±0,36	25,3
<i>Монокультура, предпосевная обработка семян микробиологическим препаратом Байкал-ЭМ1</i>										
<i>Посев 2013 года</i>										
1	1,37±0,07	15,4	0,21±0,03	41,3	1,58±0,10	22,1	1,20±0,02	17,3	2,78±0,07	15,3
2	1,42±0,12	14,0	0,38±0,05	52,0	1,80±0,05	15,4	1,13±0,01	11,7	2,93±0,05	17,8
3	1,64±0,09	19,2	0,43±0,05	37,8	2,07±0,09	15,0	1,00±0,03	15,6	3,07±0,09	21,0
7	0,21±0,10	23,0	0,12±0,09	50,3	0,33±0,07	15,8	0,51±0,03	22,0	0,84±0,05	14,0
<i>Посев 2014 года</i>										
1	1,37±0,05	20,2	0,48±0,12	48,6	1,85±0,08	16,7	1,17±0,03	24,2	3,02±0,12	19,1
2	1,72±0,05	17,1	0,51±0,10	47,0	2,23±0,10	21,0	1,08±0,05	19,4	3,31±0,10	18,0
3	2,00±0,03	18,3	0,58±0,08	34,2	2,58±0,13	19,3	0,84±0,04	17,6	3,42±0,09	23,0
7	0,16±0,10	16,0	0,07±0,03	51,0	0,23±0,15	27,4	0,42±0,02	19,0	0,65±0,07	20,0
<i>Посев 2015 года</i>										
1	1,37±0,07	14,3	1,21±0,08	36,8	2,58±0,15	19,5	1,21±0,02	20,0	3,79±0,05	15,7
2	1,42±0,10	24,1	1,34±0,05	45,9	2,76±0,09	18,0	0,97±0,05	18,3	3,73±0,07	14,2
3	1,72±0,12	18,0	1,75±0,05	37,4	3,47±0,06	20,3	0,80±0,09	24,5	4,27±0,21	20,0
7	0,19±0,05	16,0	0,10±0,09	28,4	0,29±0,10	17,8	0,42±0,01	30,0	0,67±0,08	23,7
<i>Среднее по фенофазе (2013-2015 годы)</i>										
1	1,37±0,09	13,2	0,63±0,29	31,0	1,99±0,30	26,1	1,19±0,01	33,0	3,20±0,30	16,5
2	1,50±0,10	12,7	0,74±0,30	25,8	2,26±0,35	24,6	1,06±0,05	24,6	3,32±0,23	12,0
3	1,79±0,11	11,3	0,92±0,42	35,0	2,71±0,41	26,2	0,88±0,06	21,8	3,59±0,36	17,2
7	0,19±0,02	15,0	0,09±0,01	43,0	0,72±0,06	14,5	0,45±0,03	21,0	0,72±0,60	14,5
<i>Среднее за вегетационный сезон (2013-2015 годы)</i>										
	1,22±0,19	54,0	0,60±0,12	31,0	1,84±0,30	57,9	0,89±0,09	33,0	2,71±0,37	27,0
<i>Смешанная культура с горохом</i>										
<i>Посев 2013 года</i>										
1	1,25±0,03	16,2	0,48±0,08	42,4	1,73±0,12	20,0	1,25±0,05	17,8	2,98±0,09	20,0
2	1,70±0,01	15,0	0,57±0,13	38,0	2,27±0,09	19,2	1,17±0,08	14,5	3,44±0,15	31,3
3	1,70±0,05	17,3	0,64±0,19	27,4	1,77±0,08	15,6	0,98±0,08	16,0	2,75±0,10	27,8
7	0,71±0,03	14,5	0,36±0,05	30,0	1,07±0,12	17,3	0,61±0,07	21,8	1,68±0,08	21,0

<i>Посев 2014 года</i>										
1	1,25±0,04	23,0	0,53±0,07	49,0	1,78±0,10	18,0	1,22±0,05	13,0	3,0±0,16	15,3
2	1,53±0,09	20,0	0,18±0,05	41,3	1,71±0,09	21,3	0,93±0,04	15,0	2,64±0,21	18,9
3	1,92±0,12	16,7	0,34±0,07	36,5	2,26±0,19	18,3	0,83±0,09	18,4	3,09±0,09	20,0
7	0,21±0,06	15,0	0,14±,12	31,3	0,35±0,23	20,0	0,36±,03	20,0	0,71±0,10	16,8
<i>Посев 2015 года</i>										
1	1,28±0,14	22,0	1,32±0,06	28,4	2,60±0,07	14,6	1,24±0,13	18,7	3,84±0,07	22,0
2	1,64±0,09	14,8	1,64±0,05	28,0	3,28±0,09	18,0	1,17±0,05	14,8	4,45±0,06	19,3
3	1,83±0,15	18,2	1,98±0,09	37,6	3,81±0,10	17,5	0,97±0,05	15,2	4,78±0,03	24,8
7	0,21±0,08*	19,0	0,14±,10	37,0	0,35±0,16	20,1	0,28±0,09	16,0	0,63±,05	16,0
<i>Среднее по фенотипу (2013-2015 годы)</i>										
1	1,26±0,01	14,0	0,78±0,27	28,4	2,04±0,28	23,9	1,24±0,01	12,0	3,27±0,28	14,9
2	1,62±0,05	15,7	0,80±0,43	42,0	2,42±0,46	32,8	1,09±0,08	13,0	3,51±0,53	25,8
3	1,82±0,06	16,3	0,99±0,50	37,6	2,61±0,61	40,8	0,93±0,05	19,0	3,54±0,63	30,7
7	0,38±0,17	16,0	0,21±0,07	26,0	1,00±0,34	58,1	0,42±0,1	41,0	1,01±0,34	38,0
<i>Среднее за вегетационный сезон (2013-2015 годы)</i>										
	1,27±0,17	46,7	0,69±0,18	39,0	1,92±0,3	54,3	0,92±0,09	37,0	2,83±0,38	46,0
2-й год жизни										
<i>Монокультура, инокулированные семена (контроль)</i>										
<i>Посев 2013 года</i>										
1	1,32±0,06	14,0	0,27±0,04	17,0	1,59±0,16	18,0	1,12±0,18	12,5	2,71±0,05	20,0
2	1,43±0,06	16,3	0,31±0,09	21,0	1,74±0,22	16,3	1,10±0,05	14,8	1,93±0,03	23,7
3	1,57±0,03	15,2	0,35±0,12	14,5	1,92±0,19	14,7	0,83±0,05	25,0	2,75±0,07	28,1
7	0,62±0,08	14,8	0,34±0,09	16,0	0,96±0,07	16,0	0,66±0,09	19,1	1,62±0,07	28,0
<i>Посев 2014 года</i>										
1	1,42±0,04	24,0	0,30±0,07	22,0	1,72±0,07	25,7	0,19±0,07	10,0	1,91±0,05	14,6
2	1,52±0,05	16,3	0,34±0,05	16,3	1,86±0,10	22,1	0,79±0,12	24,6	2,65±0,09	23,0
3	1,74±0,07	14,0	0,34±0,05	20,0	1,92±0,11	20,8	0,68±0,15	27,5	2,60±0,08	18,4
7	0,25±0,01	16,0	0,15±0,08	19,7	0,40±0,08	23,5	0,30±0,10	13,0	0,70±0,05	29,0
<i>Среднее по фенотипу (2014-2015 годы)</i>										
1	1,37±0,04	15,0	0,29±0,02	10,0	2,25±0,19	21,3	0,94±0,27	18,0	2,31±0,40	24,5
2	1,48±0,03	14,0	0,33±0,11	17,0	2,30±0,16	17,2	0,64±0,07	15,0	2,29±0,36	22,0
3	1,64±0,05	16,0	0,36±0,01	15,6	2,69±0,05	14,2	0,75±0,06	16,0	2,68±0,08	13,9
7	0,42±0,11	13,0	0,27±0,05	30,0	1,17±0,21	43,0	0,49±0,07	30,0	1,16±0,46	56,0
<i>Среднее за вегетационный сезон (2014-2015 годы)</i>										
	1,23±0,18	42,0	0,30±0,02	23,0	1,50±0,19	36,2	0,71±0,12	47,0	2,10±0,25	34,0
<i>Монокультура, предпосевная обработка семян микробиологическим препаратом Байкал-ЭМ1</i>										
<i>Посев 2013 года</i>										
1	1,40±0,12	17,3	0,43±0,02	24,0	1,83±0,07	14,0	1,00±0,05	20,0	2,83±0,03	12,3
2	1,63±0,10	19,2	0,47±0,03	22,0	2,10±0,07	16,0	0,87±0,08	17,8	2,97±0,03	17,8
3	1,90±0,10	23,4	0,52±0,05	18,4	2,42±0,09	16,3	0,82±0,13	14,5	3,24±0,09	16,0
7	0,57±0,09	14,5	0,29±0,08	15,3	0,86±0,12	22,0	0,73±0,10	18,0	1,59±0,05	19,0
<i>Посев 2014 года</i>										
1	1,38±0,50	18,0	0,43±0,02	17,0	1,84±0,05	15,4	1,14±0,09	16,4	2,95±0,03	25,4
2	1,85±0,13	12,8	0,48±0,07	21,0	2,33±0,07	14,0	0,97±0,14	22,0	3,30±0,02	15,6
3	2,30±0,08	14,0	0,52±0,05	23,2	2,82±0,05	27,0	0,72±0,10	13,8	3,54±0,07	16,0
7	0,48±0,02	16,3	0,29±0,03	15,7	0,77±0,010	18,4	0,50±0,08	14,0	1,27±0,05	20,0
<i>Среднее по фенотипу (2014-2015 годы)</i>										
1	1,39±0,02	19,0	0,43±0,01	18,3	2,89±0,03*	17,0	1,04±0,05	11,0	2,89±0,06	12,8
2	1,80±0,07*	18,0	0,48±0,01	16,1	3,10±0,08*	16,2	0,92±0,02	14,0	3,14±0,17	17,4
3	2,14±0,12*	12,0	0,53±0,02	17,4	3,12±0,07*	14,9	0,80±0,05	13,0	3,29±0,15	16,2
7	0,53±0,02	18,0	0,29±0,01	20,3	1,42±0,08*	12,6	0,66±0,06	19,0	1,43±0,16	15,8
<i>Среднее за вегетационный сезон (2014-2015 годы)</i>										
	1,44±0,23*	44,3	0,43±0,03	22,0	1,90±0,26	38,9	0,84±0,07	24,0	2,71±0,29	34,0
<i>Смешанная культура с горохом</i>										
<i>Посев 2013 года</i>										
1	1,27±0,05	15,0	0,32±0,10	17,0	1,59±0,05	16,8	1,20±0,12	19,2	2,79±0,02	11,0
2	1,78±0,07	17,0	0,10±0,05	16,2	1,88±0,07	17,2	1,15±0,08	20,0	3,03±0,02	16,0
3	1,53±0,05	14,5	0,08±0,03	15,4	1,61±0,03	21,3	0,81±0,06	27,3	2,42±0,02	13,7
7	0,19±0,03	12,3	0,09±0,03	14,5	0,28±0,03	17,0	0,35±0,04	15,0	0,63±0,05	14,2
<i>Посев 2014 года</i>										
1	1,33±0,04	14,0	0,62±0,08	14,0	1,95±0,03	14,3	0,93±0,05	19,0	2,88±0,08	19,2
2	1,78±0,05	13,5	1,28±0,12	17,3	2,76±0,07	15,0	0,76±0,05	18,2	3,52±0,07	18,0
3	1,53±0,08	15,0	1,35±0,07	15,2	3,08±0,05	19,0	0,52±0,08	16,3	3,60±0,05	20,0
7	0,19±0,12	15,7	0,11±0,05	20,3	0,28±0,04	16,4	0,18±0,06	14,0	0,46±0,03	13,7
<i>Среднее по фенотипу (2014-2015 годы)</i>										
1	1,30±0,03	14,0	0,51±0,07*	19,0	2,79±0,05*	18,2	1,10±0,08	14,0	2,84±0,06	12,4
2	1,78±0,01*	19,0	0,77±0,30*	16,8	3,04±0,12*	15,2	0,96±0,09	20,0	3,28±0,25	10,6
3	1,51±0,01	14,0	0,93±0,29*	15,0	3,31±0,26*	20,8	0,70±0,07	19,0	3,01±0,59	27,7
7	0,19±0,01*	19,0	0,11±0,01*	12,0	0,55±0,05*	19,5	0,28±0,04	26,0	0,55±0,09	22,0
<i>Среднее за вегетационный сезон (2014-2015 годы)</i>										
	1,20±0,23	52,0	0,53±0,18*	44,0	1,70±0,36	60,3	0,74±0,13	50,0	2,41±0,43	50,1

3-й год жизни										
Монокультура, неинокулированные семена (контроль)										
Посев 2013 года										
1	1,40±0,04	18,2	0,40±0,05	17,3	1,78±0,08	15,8	1,40±0,05	17,3	2,93±0,07	25,0
2	1,60±0,05	17,4	0,43±0,08	15,0	1,99±0,12	18,1	0,83±0,08	15,6	2,92±0,04	30,0
3	1,70±0,03	15,3	0,45±0,08	18,0	2,13±0,09	12,9	0,93±0,06	20,0	2,99±0,07	24,8
4	2,50±0,08	12,8	0,32±0,03	22,0	2,82±0,17	12,3	1,35±0,10	14,3	4,17±0,03	29,0
5	1,90±0,05	14,3	0,23±0,09	27,0	2,10±0,10	14,3	0,92±0,12	12,8	3,02±0,05	25,0
6	0,52±0,07	19,0	0,16±0,05	19,8	0,68±0,09	15,4	0,73±0,08	14,0	1,41±0,02	30,4
7	0,50±0,12	19,2	0,27±0,07	23,0	0,73±0,14	18,2	0,63±0,08	16,0	1,36±0,07	27,8
Среднее за вегетационный сезон (2015 год)										
	1,45±0,27	50,0	0,32±0,04	34,0	1,75±0,29	44,6	0,94±0,09	26,0	2,68±0,38	37,0
Монокультура, предпосевная обработка семян микробиологическим препаратом Байкал-ЭМ1										
Посев 2013 года										
1	1,43±0,04	16,0	0,69±0,03	14,5	2,13±0,08*	19,8	1,56±0,07	16,0	3,68±0,07	29,0
2	1,57±0,07	15,4	0,72±0,05	16,1	2,45±0,03*	12,9	1,10±0,05	22,3	3,39±0,09	24,5
3	1,91±0,05	20,0	0,75±0,04	17,0	2,63±0,02*	12,4	1,25±0,09	17,4	3,91±0,05	28,3
4	2,30±0,03	17,2	0,48±0,10	17,3	2,74±0,03*	12,9	1,42±0,07	16,5	4,20±0,06	27,1
5	1,42±0,05*	14,9	0,35±0,04	14,6	1,69±0,10*	18,7	0,83±0,05	14,3	2,60±0,08	30,0
6	0,70±0,02*	16,1	0,27±0,08	18,2	0,92±0,01*	13,0	0,74±0,08	16,0	1,67±0,09	32,1
7	0,60±0,05	17,0	0,55±0,04	18,0	0,74±0,03*	18,4	0,54±0,10	18,2	1,32±0,05	18,6
Среднее за вегетационный сезон (2015 год)										
	1,42±0,23	43,0	0,54±0,07*	35,0	1,90±0,30	41,6	1,06±0,14	35,0	2,97±0,43	38,0
Смешанная культура с горохом										
Посев 2013 года										
1	1,40±0,07	20,0	0,55±0,05	18,0	1,92±0,02	12,8	1,35±0,09	15,7	3,29±0,09	19,0
2	0,80±0,10*	14,7	0,34±0,05	16,1	1,07±0,02*	13,9	0,56±0,05	16,8	1,65±0,10	25,7
3	0,50±0,08*	16,2	0,18±0,08*	15,8	0,63±0,03*	12,9	0,81±0,13	18,0	1,48±0,09	29,0
7	0,42±0,04	16,0	0,35±0,09	16,0	1,05±0,02*	13,5	0,86±0,10	17,2	1,93±0,15	32,4
Среднее за вегетационный сезон (2015 год)										
	0,86±0,19*	45,0	0,36±0,06	43,0	1,20±0,27	44,8	0,89±0,16	37,0	2,09±0,24	39,0
В среднем за годы исследования										
Монокультура, неинокулированные семена (контроль)										
	1,28±0,12	47,9	0,45±0,07	36,5	1,78±0,16	47,2	0,86±0,06	37,0	2,54±0,2	41,2
Монокультура, предпосевная обработка семян микробиологическим препаратом Байкал-ЭМ1										
	1,33±0,12	46,5	0,53±0,07	32,0	1,9±0,29	46,9	0,92±0,06	32,0	2,78±0,2	38,9
Смешанная культура с горохом										
	1,18±0,12	49,0	0,58±0,10	45,0	1,72±0,19	56,6	0,84±0,07	40,0	2,57±0,25	46,6
В среднем за 1-й год жизни										
	1,23±0,10	49,5	0,64±0,09	52,3	1,88±0,18	55,9	0,91±0,05	35,0	2,76±0,21	44,6
В среднем за 2-й год жизни										
	1,29±0,12	45,5	0,42±0,07**	48,0	1,68±0,15	44,7	0,76±0,06	39,0	2,41±0,19	38,9
В среднем за 3-й год жизни										
	1,32±0,14	48,4	0,40±0,04	43,0	1,69±0,17	43,0	0,98±0,07	32,0	2,66±0,19	38,2

Примечание. ФР — фаза развития растений; 1 — всходы (2-й и 3-й годы — отрастание), 2 — кушение, 3 — ветвление стебля, 4 — бутонизация, 5 — цветение, 6 — плодоношение, 7 — окончание вегетации; Chl a, Chl b, Car — хлорофиллы и каротиноиды.

\* Различия с контролем статистически значимы при  $p \leq 0,05$ .

\*\* Различия с показателем в предшествующем году статистически значимы при  $p \leq 0,05$ .

Количественные и качественные изменения пигментного комплекса отражают состояние фотосинтетического аппарата растений и их физиологический статус в целом (53, 54). При количественных изменениях в пигментном аппарате листьев растений (содержание Chl a, Chl b, Chl a + Chl b, соотношение Chl a/Chl b, содержание каротиноидов и соотношение Chl/Car) в ответ на условия внешней среды основным фактором выступает свет, но определенное влияние оказывают и другие условия — температура и влажность (55). При адаптации к новым экологическим условиям количественные изменения могут затрагивать пигментный комплекс (56) и ССК (57). Если собираемый растением световой поток не ограничивает фотосинтез, количество ССК уменьшается, а соотношение Chl a/Chl b увеличивается (57). В высоких широтах в спектре рассеянной радиации возрастает процентное содержание сине-фиолетовых лучей, поглощаемых каротиноидами, и в профиле фотосинтетических пигментов наблюдается увеличение



доли каротиноидов. Это указывает на повышение их защитной роли с продвижением на север (53).

**Содержание Chl a.** В нашем опыте содержание Chl a (см. табл. 1) в листьях галеги восточной в год посева, на 2-й и 3-й годы жизни составило в среднем  $1,23 \pm 0,10$ ;  $1,29 \pm 0,12$  и  $1,32 \pm 0,14$  мг/г сухой массы (контрольные значения). При применении микробиологического удобрения этот показатель на 2-й год жизни достоверно ( $p \leq 0,05$ ) повышался относительно контроля (на 18 % в фазу кушения и на 24 % в фазу ветвления стебля). В бинарном посеве на 2-й год жизни максимальное содержание Chl a отмечали в фазу кушения ( $1,78 \pm 0,01$  мг/г) с достоверным ( $p \leq 0,05$ ) превышением контрольного значения на 17 % и последующим снижением до  $1,51$  мг/г в фазу ветвления стебля и до  $0,19$  мг/г — к концу вегетации. В среднем за 2-й год при применении удобрения Байкал-ЭМ1 содержание Chl a в листьях ( $p \leq 0,05$ ) возросло на 15 % в сравнении с контролем, при совместном посеве с горохом — оставалось в пределах контрольных значений ( $1,20 \pm 0,23$  мг/г).

На 3-й год вегетации отмечали постепенное увеличение содержание Chl a в листьях в первых двух вариантах опыта (контроль и инокуляция), начиная с фазы отрастания до бутонизации (с  $1,40$  до  $2,50$  мг/г сухого вещества). В конце вегетации содержание Chl a снижалось до  $0,50-0,60$  мг/г сухого вещества. При инокуляции содержание Chl a было достоверно ниже, чем в контроле (на 25 %) в период цветения, и выше контрольного (на 26 %) — в фазу плодоношения. В смешанном посеве максимальное содержание Chl a в листьях отмечали в период отрастания и в конце вегетации.

**Соотношение Chl a/Chl b.** Соотношение Chl a/Chl b (табл. 2) в листьях галеги восточной колебалось от  $2,78$  до  $4,41$  в зависимости от возраста растений. Анализируемый показатель на 2-й год жизни достоверно возрастал на 37 % относительно такового у растений 1-го года жизни, по достижении растениями генеративного возраста (на 3-й год жизни) — достоверно снижался до  $3,44$ .

## 2. Соотношение фотосинтетических пигментов и доля хлорофиллов в светособирающих комплексах в листьях галеги (*Galega orientalis* Lam.) сорта Гале в зависимости от возраста травостоя и агротехнологии при интродукции (п. Барсово, Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, Сургутский р-н)

ФР	Chl a/Chl b		(Chl a + Chl b)/Car		Доля Chl a + Chl b в ССК, %	
	<i>M</i> ±SEM	<i>Cv</i> , %	<i>M</i> ±SEM	<i>Cv</i> , %	<i>M</i> ±SEM	<i>Cv</i> , %
1-й год жизни						
<i>Монокультура, неинокулированные семена (контроль)</i>						
<i>Посев 2013 года</i>						
1	$3,88 \pm 0,02$	17,0	$1,28 \pm 0,07$	22,4	$52,0 \pm 4,12$	45,0
2	$3,69 \pm 0,02$	12,8	$1,78 \pm 0,05$	18,3	$57,3 \pm 5,00$	37,4
3	$3,26 \pm 0,05$	19,4	$2,50 \pm 0,05$	18,0	$60,2 \pm 6,18$	40,3
7	$2,10 \pm 0,03$	21,0	$0,63 \pm 0,02$	17,4	$71,7 \pm 3,48$	42,0
<i>Посев 2014 года</i>						
1	$7,22 \pm 0,08$	12,6	$1,25 \pm 0,03$	14,0	$27,8 \pm 6,52$	58,2
2	$3,86 \pm 0,03$	14,0	$1,87 \pm 0,10$	19,0	$60,0 \pm 5,30$	32,4
3	$4,09 \pm 0,03$	13,0	$2,82 \pm 0,04$	18,2	$53,6 \pm 5,00$	29,5
7	$2,00 \pm 0,06$	12,7	$0,71 \pm 0,02$	22,0	$96,4 \pm 7,24$	40,3
<i>Посев 2015 года</i>						
1	$1,04 \pm 0,07$	15,0	$2,16 \pm 0,06$	19,3	$75,3 \pm 6,32$	48,2
2	$1,04 \pm 0,03$	13,4	$2,54 \pm 0,04$	13,4	$60,0 \pm 8,00$	36,0
3	$1,11 \pm 0,04$	19,5	$3,91 \pm 0,07$	12,4	$70,2 \pm 5,41$	34,3
7	$1,82 \pm 0,02$	20,0	$0,94 \pm 0,12$	13,7	$81,3 \pm 3,87$	52,0
<i>Среднее по фенофазе (2013-2015 годы)</i>						
1	$4,05 \pm 1,79$	12,7	$1,56 \pm 0,29$	33,0	$50,2 \pm 6,00$	47,2
2	$2,86 \pm 0,91$	19,0	$2,06 \pm 0,24$	20,0	$60,7 \pm 5,09$	32,4
3	$2,82 \pm 0,89$	19,3	$3,08 \pm 0,43$	24,0	$60,3 \pm 4,70$	36,0
7	$1,97 \pm 0,08$	18,0	$0,76 \pm 0,09$	21,0	$70,2 \pm 7,12$	38,1
<i>Среднее за вегетационный сезон (2013-2015 годы)</i>						
	$2,96 \pm 0,52$	61,0	$1,87 \pm 0,28$	51,0	$74,8 \pm 11,6$	28,7

**Монокультура, предпосевная обработка семян  
микробиологическим препаратом Байкал-ЭМ1**

<i>Посев 2013 года</i>						
1	6,52±0,04	21,0	1,32±0,09	14,0	29,4±7,10	40,0
2	3,74±0,07	11,4	1,59±0,08	19,3	48,3±5,00	48,0
3	3,85±0,08	18,3	2,07±0,06	22,4	50,4±6,41	35,7
7	1,75±0,03	22,0	0,65±0,04	20,0	80,1±7,00	29,3
<i>Посев 2014 года</i>						
1	2,85±0,21	14,7	1,58±0,12	24,1	57,2±6,42	50,0
2	3,37±0,19	21,2	2,06±0,15	20,6	60,0±6,00	34,1
3	3,45±0,24	24,0	3,07±0,22	15,7	62,7±8,34	29,0
7	2,28±0,18	19,3	0,55±0,09	17,0	67,0±5,42	35,7
<i>Посев 2015 года</i>						
1	1,13±0,14	20,5	2,13±0,04	14,3	62,0±6,70	32,4
2	1,06±0,22	15,7	2,84±0,07	12,8	70,0±9,10	35,0
3	0,98±0,15	11,8	4,34±0,09	18,0	69,7±4,35	31,0
7	1,97±0,20	28,0	0,76±0,13	21,4	76,0±7,12	28,7
<i>Среднее по фенотипу (2013-2015 годы)</i>						
1	3,50±1,59	49,0	1,68±0,29	25,0	50,3±5,43	36,4
2	2,72±0,84	53,0	2,16±0,36	29,0	60,8±9,12	30,5
3	2,76±0,89	56,2	3,16±0,66	36,0	60,0±8,00	29,0
7	2,03±0,18	16,7	0,65±0,06	16,0	70,4±5,21	32,7
<i>Среднее за вегетационный сезон (2013-2015 годы)</i>						
	2,76±0,46	57,0	1,91±0,32	58,0	68,4±7,83	24,6
<i>Смешанная культура с горохом</i>						
<i>Посев 2013 года</i>						
1	2,60±0,18	14,3	1,38±0,09	14,1	61,0±8,00	21,5
2	2,98±0,24	18,2	1,94±0,09	10,8	75,4±4,68	29,4
3	1,77±0,21	12,4	1,81±0,05	14,0	80,0±7,39	32,3
7	1,97±0,17	19,0	1,75±0,14	12,3	74,4±8,22	24,5
<i>Посев 2014 года</i>						
1	2,36±0,08	19,4	1,46±0,08	14,5	66,3±6,00	21,3
2	8,50±0,08	15,6	1,84±0,15	16,0	63,0±8,00	27,8
3	5,65±0,12	23,0	2,73±0,18	13,5	55,0±7,84	30,0
7	1,50±0,15	21,0	0,97±0,12	20,0	88,0±9,37	29,5
<i>Посев 2015 года</i>						
1	0,97±0,09	16,4	2,10±0,24	22,1	45,2±5,46	19,7
2	1,00±0,12	17,3	2,80±0,09	18,4	70,4±7,00	32,4
3	0,92±0,12	15,2	3,93±0,02	15,3	73,2±6,21	25,3
7	1,50±0,14	16,3	1,25±0,28	27,0	88,8±4,78	29,2
<i>Среднее по фенотипу (2013-2015 годы)</i>						
1	1,98±0,51	45,2	1,65±0,23	24,0	60,2±3,42	30,0
2	4,16±2,24	52,0	2,19±0,34	21,0	70,6±7,55	24,8
3	2,78±1,46	34,0	2,82±0,61	38,0	70,7±5,00	26,0
7	1,66±0,16	16,4	1,32±0,23*	30,0	80,50±,31	21,3
<i>Среднее за вегетационный сезон (2013-2015 годы)</i>						
	2,64±0,65	48,2	2,00±0,24	41,2	75,30±8,5	28,7
<i>2-й год жизни</i>						
<i>Монокультура, неинкулированные семена (контроль)</i>						
<i>Посев 2013 года</i>						
1	4,8±0,07	18,8	1,42±0,04	21,0	37,1±4,45	32,0
2	4,6±0,06	12,6	1,58±0,04	14,5	39,6±7,00	30,0
3	4,5±0,12	14,0	2,31±0,08	20,0	40,8±5,60	24,8
7	1,8±0,09	12,3	1,45±0,05	15,8	78,2±4,89	26,2
<i>Посев 2014 года</i>						
1	4,7±0,03	12,0	1,05±0,13	17,3	66,4±8,00	27,3
2	4,4±0,05	18,8	2,35±0,09	22,3	75,8±9,17	32,0
3	4,7±0,03	16,7	3,1±0,10	18,3	74,6±5,00	19,8
7	1,7±0,08	19,3	1,33±0,18	15,6	33,2±4,04	25,3
<i>Среднее по фенотипу (2014-2015 годы)</i>						
1	4,73±0,09	13,0	1,29±0,08	13,0	50,1±8,15	27,0
2	4,5±0,1	13,0	1,93±0,22	23,0	50,6±9,03	25,0
3	4,6±0,1	13,0	2,74±0,19	14,0	60,4±7,14	30,0
7	1,75±0,05	14,0	1,4±0,03	14,0	70,5±5,08	28,3
<i>Среднее за вегетационный сезон (2014-2015 годы)</i>						
	3,9±0,47	34,0	1,82±0,07	38,0	56,1±7,3	30,0
<i>Монокультура, предпосевная обработка семян микробиологическим препаратом Байкал-ЭМ1</i>						
<i>Посев 2013 года</i>						
1	3,26±0,09	14,4	1,83±0,07	19,3	52,2±6,31	29,0
2	3,16±0,08	18,0	2,44±0,12	13,7	49,3±8,00	27,6
3	3,65±0,10	22,3	2,95±0,08	22,0	47,4±5,78	28,4
7	1,97±0,12	15,7	1,18±0,15	18,0	74,6±9,10	39,5

<i>Посев 2014 года</i>						
1	3,21±0,07	17,0	1,59±0,07	16,4	52,7±10,2	32,4
2	3,85±0,07	14,6	2,40±0,06	21,0	45,9±7,06	24,3
3	4,42±0,04	18,0	3,92±0,08	14,7	41,4±5,00	28,5
7	1,66±0,03	15,4	1,54±0,04	17,0	83,0±6,33	34,2
<i>Среднее по фенофазе (2014–2015 годы)</i>						
1	3,25±0,03	15,0	1,68±0,08*	19,0	50,0±4,89	24,6
2	3,66±0,19	17,0	2,42±0,02*	16,0	60,5±8,00	28,0
3	4,04±0,38	14,0	3,44±0,29*	17,0	70,6±5,30	38,4
7	1,82±0,16	12,0	1,37±0,12	17,0	80,40±4,01	36,2
<i>Среднее за вегетационный сезон (2014–2015 годы)</i>						
	3,18±0,33	25,0	2,23±0,32	40,0	55,40±5,27	42,0
<i>Смешанная культура с горохом</i>						
<i>Посев 2013 года</i>						
1	3,97±0,08	19,3	1,33±0,12	18,2	44,50±6,00	30,0
2	17,80±0,10	12,4	1,63±0,21	15,7	37,30±7,42	32,7
3	19,13±0,07	18,5	1,99±0,09	18,0	11,80±5,65	30,0
7	2,10±0,05	14,0	0,80±0,25	22,0	71,30±4,85	28,4
<i>Посев 2014 года</i>						
1	2,15±0,08	18,3	2,10±0,30	19,3	70,60±9,36	25,6
2	1,16±0,09	20,0	3,63±0,15	14,8	56,20±8,00	32,4
3	1,28±0,08	22,0	5,92±0,24	41,0	96,10±7,15	30,1
7	1,55±0,05	30,4	1,56±0,17	21,0	89,00±5,10	36,3
<i>Среднее по фенофазе (2014–2015 годы)</i>						
1	3,05±0,48	32,0	1,74±0,19*	24,0	40,70±8,04	28,7
2	9,48±0,60	28,7	2,59±0,56*	37,0	50,20±11,02	38,0
3	10,21±0,54*	25,6	3,65±1,03*	40,0	40,40±7,30	29,0
7	1,83±0,28	22,0	1,18±0,24*	66,0	60,30±5,80	35,4
<i>Среднее за вегетационный сезон (2014–2015 годы)</i>						
	6,14±2,71*	45,0	2,73±0,58*	22,7	61,88±12,70	27,4
<i>3-й год жизни</i>						
<i>Монокультура, инокулированные семена (контроль)</i>						
<i>Посев 2013 года</i>						
1	3,50±0,03	17,4	1,59±0,04	22,0	50,20±8,34	35,1
2	3,72±0,05	17,4	2,18±0,09	19,3	50,40±6,00	28,4
3	3,78±0,03	21,0	2,50±0,03	19,8	50,30±4,78	26,3
4	7,82±0,18	15,2	2,09±0,04	18,3	30,40±9,01	38,4
5	8,26±0,09	14,5	2,32±0,04	14,0	20,40±5,06	40,2
6	2,60±0,12	18,0	0,98±0,05	15,6	50,00±7,12	21,8
7	2,50±0,09	13,3	1,11±0,04	18,4	60,20±5,00	33,5
<i>Среднее за вегетационный сезон (2015 год)</i>						
	4,60±0,91	52,0	1,83±0,23	19,0	44,30±5,28	22,0
<i>Монокультура, предпосевная обработка семян микробиологическим препаратом Байкал-ЭМ1</i>						
<i>Посев 2013 года</i>						
1	2,07±0,06*	15,0	1,36±0,09	23,2	70,04±8,36	27,8
2	2,18±0,07*	25,0	2,08±0,09	25,0	70,12±7,01	40,3
3	2,55±0,12*	22,3	2,30±0,05	22,1	60,1±9,12	30,3
4	4,79±0,05*	16,8	1,96±0,03	19,0	40,4±8,00	40,2
5	4,06±0,05*	15,7	2,13±0,04	19,0	40,0±6,32	39,0
6	2,59±0,08*	18,0	1,31±0,07*	19,2	60,0±5,00	35,4
7	1,50±0,13*	12,3	1,85±0,05*	13,4	90,3±7,31	28,6
<i>Среднее за вегетационный сезон (2015 год)</i>						
	2,82±0,44*	42,0	1,82±0,13	19,0	61,40±4,78	30,1
<i>Смешанная культура с горохом</i>						
<i>Посев 2013 года</i>						
1	2,55±0,09*	20,0	1,44±0,13	23,0	60,4±5,10	32,5
2	2,35±0,07	23,0	2,04±0,07	18,7	60,2±6,23	40,0
3	2,78±0,09*	18,1	0,84±0,08*	23,4	70,0±4,57	42,5
7	2,40±0,10*	21,0	1,19±0,05	25,0	80,3±6,00	30,7
<i>Среднее за вегетационный сезон (2015 год)</i>						
	2,52±0,09*	38,0	1,34±0,26*	37,0	67,5±4,79	26,7
<i>В среднем за годы исследования</i>						
<i>Монокультура, инокулированные семена (контроль)</i>						
	3,65±0,37	53,2	1,85±0,16	37,0	61,3±6,13	38,4
<i>Монокультура, предпосевная обработка семян микробиологическим препаратом Байкал-ЭМ1</i>						
	2,90±0,25*	44,0	1,99±0,17	45,0	62,7±4,20	40,0
<i>Смешанная культура с горохом</i>						
	3,79±0,98*	47,0	2,02±0,23	56,0	69,50±6,00	29,8
<i>В среднем за 1-й год жизни</i>						
	2,78±0,31	66,0	1,93±0,15	49,0	73,00±5,30	37,5
<i>В среднем за 2-й год жизни</i>						
	4,41±0,92**	58,0	2,14±0,23	53,0	57,8±5,00**	49,2

	В среднем за 3-й год жизни					
	3,44±0,44**	54,0	1,73±0,12*	29,0	56,1±4,05	41,3

Примечание. ФР — фаза развития растений, ССК — светособирающий комплекс; 1 — всходы (2-й и 3-й годы — отрастание), 2 — кущение, 3 — ветвление стебля, 4 — бутонизация, 5 — цветение, 6 — плодоношение, 7 — окончание вегетации; Chl a, Chl b, Car — хлорофиллы и каротиноиды.  
 \* Различия с контролем статистически значимы при  $p \leq 0,05$ .  
 \*\* Различия с показателем в предшествующем году статистически значимы при  $p \leq 0,05$ .

При совместном посеве галеги с горохом на 2-й и 3-й годы жизни отмечали статистически значимые различия по величине Chl a/Chl b в листьях по фазам развития растений (см. табл. 2). На 2-й год значение Chl a/Chl b достоверно снижалось на 36 % в фазу отрастания и возрастало в 2 раза в фазу кущения и ветвления стебля относительно контроля (соответственно  $4,73 \pm 0,09$ ;  $4,50 \pm 0,10$ ;  $4,60 \pm 0,10$ ). На 3-й год жизни отмечали статистически значимое уменьшение анализируемого показателя на 27 % в фазу отрастания, на 37 % — в фазу кущения и на 26 % в фазу ветвления стебля (показатели в контроле —  $3,50 \pm 0,07$ ;  $3,72 \pm 0,09$  и  $3,78 \pm 0,08$ ). При предпосевной инокуляции семян препаратом Байкал-ЭМ1 соотношение Chl a/Chl b статистически значимо изменялось только на 3-й год жизни (по всем фазам развития в среднем были ниже на 33-51 % по сравнению с контрольным вариантом).

В среднем за 3 года исследований в смешанных посевах показатель Chl a/Chl b остался в пределах контрольных значений и составил  $3,79 \pm 0,98$ , при применении микробиологического препарата — достоверно снизился на 21 % (до  $2,90 \pm 0,25$ ; в контроле Chl a/Chl b =  $3,65 \pm 0,37$ ). Снижение величины Chl a/Chl b может свидетельствовать о повышении адаптивного потенциала растений в условиях стресса и быть показателем их устойчивости (57-59).

Сообщалось, что у растений природной флоры таежной зоны европейского северо-востока России на долю антенных (светособирающих) хлорофиллов приходится 55-65 % фонда зеленых пигментов (53). В нашем опыте доля хлорофиллов, локализованных в ССК листьев (см. табл. 2), варьировала от 20 до 90 % в зависимости от фенологической фазы растений, возраста травостоя и технологического приема (контроль, инокуляция, смешанный посев). Между величиной Chl a/Chl b и долей хлорофиллов (Chl a + Chl b), локализованных в ССК, проявилась сильная отрицательная корреляция: в целом по опыту чем ниже был показатель Chl a/Chl b ( $x$ ), тем выше доля хлорофиллов ССК ( $r = -0,83$ ;  $R^2 = 0,666$ ,  $y = -7,698x + 84,994$ ). Корреляционная зависимость в контроле ( $r = -0,80$ ;  $R^2 = 0,694$ ,  $y = -6,2859x + 79,81$ ) была ниже, чем при применении микробиологического препарата Байкал-ЭМ1 ( $r = -0,93$ ;  $R^2 = 0,856$ ,  $y = -12,971x + 98,602$ ), но выше, чем в бинарных посевах ( $r = -0,65$ ;  $R^2 = 0,429$ ,  $y = -2,3476x + 76,206$ ). На то же указывали корреляционные зависимости между накоплением в листьях суммы зеленых пигментов и содержанием Chl b. Коэффициенты корреляции между величиной (Chl a + Chl b) и содержанием Chl b по вариантам опыта (контроль, предпосевная обработка микробиологическим препаратом, бинарный посев) составили  $r = 0,57$ ;  $r = 0,55$  и  $r = 0,89$  ( $p \leq 0,05$  для всех  $r$ ).

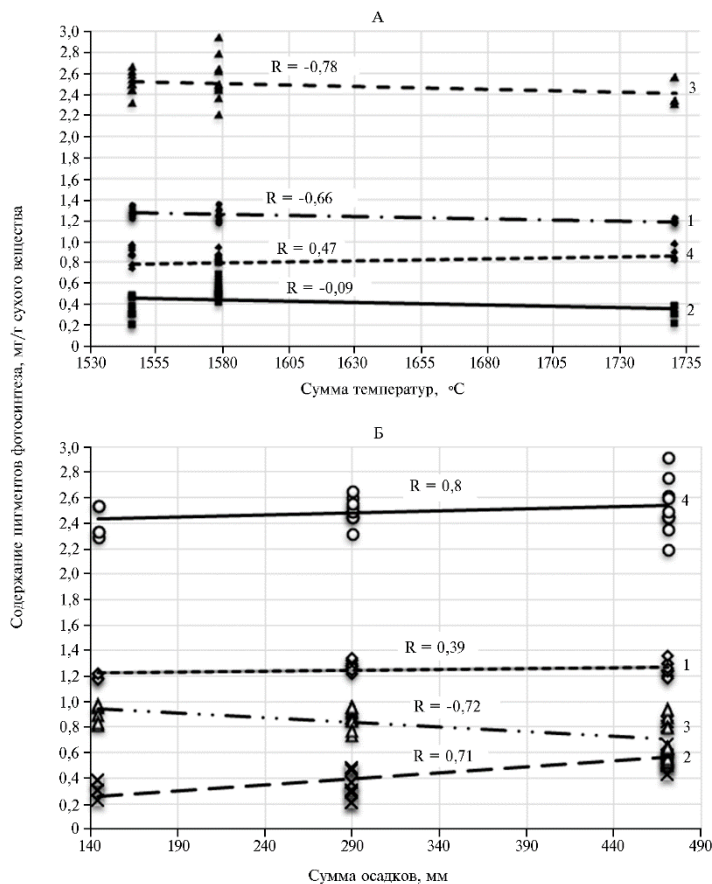
*Содержание каротиноидов.* Достаточно высокое накопление каротиноидов в листьях галеги восточной в нашем опыте (см. табл. 1) вполне ожидаемо. Как известно, в высоких широтах в спектре рассеянной радиации увеличивается процентное содержание сине-фиолетовых лучей, поглощаемых каротиноидами. Каротиноиды могут дополнительно осуществлять светособирающую функцию в период белых ночей (53). Благодаря каротиноидам растения могут использовать энергию света в синей области спектра

(54). Кроме того, они защищают хлорофилл и другие компоненты фотосистем от светового перевозбуждения (54). Отмеченное в наших опытах накопление каротиноидов мы рассматриваем как адаптивную реакцию фотосинтетического аппарата к условиям высоких географических широт (60, 61).

В среднем в опыте показатель Chl/Car в год посева составил  $1,93 \pm 0,16$ , на 2-й год повысился до  $2,44 \pm 0,36$ , но статистически значимо возрос (на 19 %) только на 3-й год жизни растений (см. табл. 2). Значения Chl/Car в пределах 2,0-3,9 соответствуют высокому содержанию каротиноидов относительно зеленых пигментов (53). Сообщалось, что у растений Приполярного Урала, среди которых высока доля арктических и арктоальпийских видов, величина Chl/Car равнялась 3 (53), что указывает на повышение роли каротиноидов с продвижением на север.

Во все годы наблюдений в контроле, при инокуляции и в смешанном посеве соотношение Chl/Car снижалось до минимальных значений в осенний период (0,76-1,85) в сравнении с весенне-летний периодом (2,30-3,65), когда происходит интенсивный линейный рост (см. табл. 2).

Сравниваемые нами агротехнические приемы не привели к статистически значимому изменению соотношения Chl/Car у интродукента. Тем не менее при инокуляции препаратом Байкал-ЭМ1 и выращивании совместно с горохом накопление каротиноидов в листьях галеги восточной мы отмечаем превышение этого показателя относительно контроля (см. табл. 2).



**Рис. 1.** Накопление фотосинтетических пигментов в листьях галеги восточной (*Galega orientalis* Lam.) сорта Гале в зависимости от суммы активных температур  $\geq 10$  °C (А) и суммы осадков (Б): 1 — Chl a, 2 — Chl b, 3 — Car, 4 — сумма пигментов (Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, Сургутский р-н,  $61^{\circ}15'00''$  с.ш.,  $73^{\circ}25'00''$  в.д., 2013-2015 годы).

В целом в нашем опыте отмечалось широкое варьирование соотношения Chl/Car, что, по нашему мнению, может быть использовано при селекции культуры по признакам продуктивности и адаптированности к условиям Средней тайги Западной Сибири.

*Гидротермические условия и содержание пигментов.* В среднем за годы исследования по всем вариантам опыта накопление пигментов в листьях галеги восточной прямо коррелировало с ГТК ( $x$ ) ( $r = 0,90$ ;  $R^2 = 0,839$ ,  $y = 0,804x + 0,5586$ ). При этом содержание пигментов снижалось с ростом суммы активных температур за вегетационный период (рис. 1). Содержание Chl а в листьях галеги восточной находилось в обратной зависимости от среднесуточной температуры воздуха. Содержание Chl b и каротиноидов оказалось в меньшей степени связано с температурным режимом региона (см. рис. 1).

Галега восточная, как и все бобовые культуры, требовательна к количеству влаги, с чем согласуется высокая корреляционная связь между содержанием всех фотосинтетических пигментов в листьях растений и количеством выпавших за вегетационный сезон осадков ( $r = 0,80$ ;  $p \leq 0,05$ ) (см. рис. 1). Содержание Chl b прямо коррелировало с количеством выпавших осадков за вегетационный сезон ( $r = 0,71$ ), тогда как для каротиноидов отмечали обратную зависимость ( $r = -0,72$ ) ( $p \leq 0,05$  для всех  $r$ ).

Содержание витамина С. Хотя большинство млекопитающих способны синтезировать аскорбиновую кислоту, ее количества может быть недостаточно для полноценного роста и обеспечения высокой продуктивности животных либо при стрессах, в связи с чем для обогащения кормов используются добавки, содержащие АК (62-65). По имеющимся сообщениям, в кормовой массе галеги восточной содержится от 136,2 до 522,1 мг АК на 100 г сухого вещества, в начале сезона вегетации этот показатель может составлять 800-900 мг% (66). Ранее мы показали, что растительная масса *Galega orientalis* Lam. является источником аскорбиновой кислоты после вступления растений в генеративную фазу развития с преимущественной (96 %) локализацией витамина в листьях (67), что ожидаемо с учетом роли аскорбиновой кислоты в фотосинтезе (27). В нашем опыте концентрация АК в среднем за период наблюдений возрастала от 37 мг% у растений 1-го года жизни до 60 мг% на 3-й год жизни (67). При этом в листовой массе галеги восточной 3-го года жизни содержание аскорбиновой кислоты (60 мг%) превышало в 1,6 раза аналогичные показатели 1-го и 2-го годов вегетации (соответственно 37 и 39 мг%). При инокуляции препаратом Байкал-ЭМ1 в год посева накопление АК в растительной массе была на 20 % выше (41 мг%,  $p \leq 0,05$ ), на 2-й год — на 26 % (31,0 мг%,  $p \leq 0,05$ ) ниже контроля, на 3-й год — находилось на уровне контрольных значений (61-62 мг%). В смешанном посеве галеги восточной с горохом на 3-й год жизни травостоя отмечали достоверно значимое ( $p \leq 0,05$ ) снижение этого показателя до 56,0 мг%, что на 6 мг% меньше показателя в контроле.

Мы не выявили зависимости между накоплением АК и водообеспеченностью (данные не приведены). С понижением среднесуточной температуры воздуха ( $x$ ) содержание витамина С в растительной массе повышалось ( $r = -0,69$ ;  $R^2 = 0,47$ ;  $y = -8,0838x + 133,73$ ). Сильную отрицательную корреляцию отмечали между содержанием АК в листьях и величиной удельной листовой поверхности ( $r$  от  $-0,83$  до  $-0,88$ ) (67).

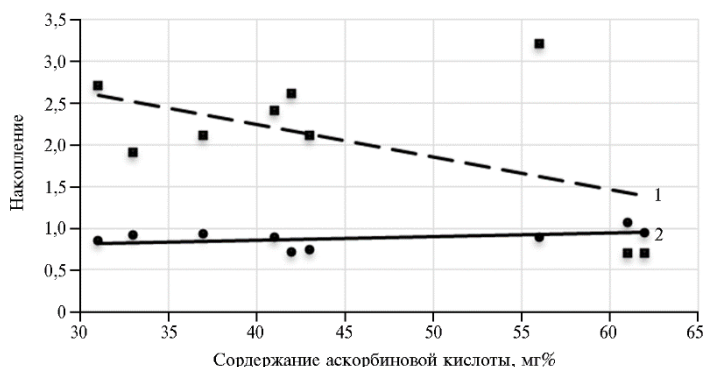
Содержание флавоноидов. По данным В.И. Филатова с соавт. (68), при интродукции галеги восточной в условиях Восточной Сибири в фазу ветвления сумма флавоноидов составляла 0,40 %, в фазу бутонизации — 0,35 %, цветения — 0,27 %, плодоношения — 0,25 % к сухому веществу. В

нашем опыте в среднем за годы исследования по всем вариантам опыта содержание флавоноидов в надземной биомассе галеги варьировало от 0,7 до 3,2 %. При инокуляции препаратом Байкал-ЭМ1 максимальное количество флавоноидов в надземной биомассе отмечали в 1-й год вегетации (2,4 % при 1,9 % в контроле); на 2-й год жизни как при инокуляции микробиологическим препаратом, так и в контроле содержание флавоноидов повысилось еще на 0,3 %, на 3-й год — резко снизилось (до 0,7 %), но при этом существенно не отличалось от показателя в контроле. У растений под покровом гороха в 1-й и на 2-й год жизни содержание флавоноидов в надземной биомассе составило 2,1-2,4 %, на 3-й год — резко возросло (до 3,2 %), существенно превысив показатели в двух других вариантах опыта.

В целом в нашем опыте содержание флавоноидов в листьях растений галеги было выше, чем в стеблях, и варьировало от 0,3 до 2,8 % (в стеблях — 0,2-0,5 %).

В 1-й год вегетации существенных различий в содержании флавоноидов в листьях по вариантам опыта мы не выявили (значения составили 1,6-1,9 %). На 2-й год в контроле и при инокуляции препаратом Байкал-ЭМ1 анализируемый показатель повысился на 0,5 %, в смешанном посеве — остался таким же, как в 1-й год жизни (1,7 %). На 3-й год в содержание флавоноидов в листьях резко снизилось в контроле (до 0,05 % — по сравнению с 1-м годом в 3 раза, по сравнению со 2-м годом в 5 раз) и при применении микробиопрепарата (соответственно в 6 и 8 раз), тогда как в посевах с горохом — резко возросло и превысило показатели предыдущих лет в 1,6 раза (2,8 % против соответственно 1,8 и 1,7 %). Резкое снижение содержания флавоноидов на 3-й год жизни в контроле и при применении микробиопрепарата мы связываем с переходом растений к генеративному развитию и вступлением в фазы цветения и плодоношения (в отличие от бинарного посева, где продолжалась виргинильная стадия). При этом применение микробиопрепарата способствовало более интенсивному росту вегетативных органов в прегенеративный период, образованию большего числа цветоносов и плодообразованию. Отметим, что в исследованиях на разных видах растений описаны как аналогичные (69, 70), так и обратные (71) закономерности.

Один из факторов, с которым в нашем опыте было связано содержание флавоноидов в период интенсивного вегетативного роста, — сумма выпавших осадков ( $x$ ) ( $r = 0,79$ ,  $R^2 = 0,63$ ;  $y = 0,0046x + 0,5037$ ).



**Рис. 2.** Накопление флавоноидов, % (1) и каротиноидов, мг/г сухого вещества (2) в листьях галеги восточной (*Galega orientalis* Lam.) сорта Гале в зависимости от содержания аскорбиновой кислоты (Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, Сургутский р-н, 61°15'00" с.ш., 73°25'00" в.д., 2013-2015 годы).

У галеги восточной мы также выявили тесную обратную корреляцию

между содержанием витамина С, с одной стороны, и накоплением флавоноидов и каротиноидов — с другой (для всех возрастов травостоя и вариантам опыта) (рис. 2).

Полученные нами результаты позволяют заключить, что галега восточная сорта Гале успешно адаптируется к природно-климатическим факторам зоны Средней тайги Западной Сибири и перспективна в качестве кормовой культуры. Температура и влагообеспеченность в пункте интродукции оказались достаточны для работы фотосинтетического аппарата, формируемого растениями галеги восточной в световых условиях региона (интенсивность и спектральный состав солнечного излучения, продолжительность светового дня) в сезон вегетации. В результате продуктивность травостоя составила 23-35 т/га. Для обеспечения высокой и стабильной урожайности, наибольшего содержания белка и высокой питательной ценности корма целесообразно совершенствовать элементы технологий выращивания культуры, в том числе с помощью подбора микробиопрепаратов, регуляторов роста (72), эффективных покровных культур (4). В качестве дополнительного резерва рассматривается оптимизация приемов сбора урожая посредством фракционирования его элементов (листья и стебли галеги) (1).

Детальное изучение биохимического состава зеленой массы галеги восточной, включающего также вещества, которые относят к антипитательным, — ингибиторы трипсина, лектины (2), кумарины, сапонины, танины, алкалоиды (19), и, что не менее важно, понимание физиолого-биохимических механизмов их накопления в растении важны как в вопросах кормления, так и в перспективе при селекционном улучшении культуры. Например, в клинической практике уже используются препараты на основе кумаринов, и многие кумарины и их производные рассматриваются в качестве потенциальных лекарственных средств (73), но в сладком клевере (доннике) содержится кумарин, который в сене под действием плесневых грибов превращается в дикумарол (3,3-метилен-бис-4-оксикумарин), препятствующий свертыванию крови, вследствие чего могут возникать болезненные кровотечения у крупного рогатого скота (74). Танины и сапонины в высоких концентрациях считаются антипитательными веществами, однако в кормах танины служат консервантом, а у сапонинов известен иммуномодулирующий эффект (75). Сапонины могут способствовать оздоровлению кишечника у кур (76). Сообщалось, что алкалоиды, танины и сапонины способны влиять на пищевое поведение крупного рогатого скота и овец (77).

Подлежит оценке влияние удобрений и накопление микро- и макроэлементов, тяжелых металлов в биомассе галеги (78, 79), также в качестве перспективных направлений выделяют изучение свойств корневой системы галеги восточной, позволяющих растениям лучше использовать питательные вещества, исследование влияния галеги как предшественника на урожайность сельскохозяйственных растений и определение ее пригодности в системе экстенсивного органического земледелия (3, 4).

Наконец, крайне важен экологический аспект интродукции галеги. Бобовые — одни из лидеров по вредным последствиям инвазии растений (7, 80). В Средней России бобовые занимают пятое место по числу чужеродных видов. Агрессивность бобовых культур связывают с их массовым использованием в качестве кормовых трав и «зеленых удобрений». *G. orientalis* — один из наиболее агрессивных инвазивных видов бобовых (80). При инвазиях изменения происходят на уровне экосистемы, поэтому даже полное удаление инвайдеров не возвращает сообществу его первоначальный статус (80).

Таким образом, при интродукции галеги восточной сорта Гале на



севере России (61°15'00" с.ш., 73°25'00" в.д.) эффект изученных агротехнических приемов (монокультура, монокультура с предпосевной обработкой семян микробиопрепаратом Байкал-ЭМ1, смешанная культура с горохом) при сравнении суммарного содержания хлорофиллов (Chl a + Chl b) в листьях проявился со 2-го года жизни растений. При обработке микробиопрепаратом на 2-й и 3-й годы жизни этот показатель был выше, чем в контроле (по фазам развития на 19-22 % и на 16-18 %), в смешанном посеве — снижались в конце 2-го года, но к концу 3-го года превысил контрольные значения на 33 %. В контроле содержание Chl a в листьях галеги восточной в год посева, на 2-й и 3-й годы жизни в среднем за вегетационный сезон составило  $1,23 \pm 0,10$ ;  $1,29 \pm 0,12$  и  $1,32 \pm 0,14$  мг/г сухой массы. В среднем за 2-й год при применении удобрения Байкал-ЭМ1 содержание Chl a в листьях возросло на 15 % в сравнении с контролем, при совместном посеве с горохом — оставалось в пределах контрольных значений ( $1,20 \pm 0,23$  мг/г). В среднем за 3 года при применении микробиологического препарата значение Chl a/Chl b в листьях достоверно ( $p \leq 0,05$ ) снизилось, что может указывать на повышение адаптивного потенциала растений, в смешанных посевах — осталось в пределах контрольных значений. Доля хлорофиллов (Chl a + Chl b), локализованных в светособирающих комплексах листьев, варьировала от 20 до 90 % в зависимости от фенологической фазы развития, возраста травостоя и варианта опыта. В контроле, при инокуляции микробиопрепаратом и в смешанном посеве корреляция между Chl a/Chl b и долей хлорофиллов (Chl a + Chl b), локализованных в ССК, составила соответственно  $r = -0,83$ ;  $r = -0,93$  и  $r = -0,65$  ( $p \leq 0,05$ ). Сравнимые агротехнические приемы не привели к статистически значимому изменению показателя Chl/Car у интродуцента. Тем не менее при инокуляции препаратом Байкал-ЭМ1 и в смешанном посеве с горохом накопление каротиноидов в листьях галеги восточной превышало таковое в контроле. В среднем за годы исследования по всем вариантам опыта накопление всех пигментов в листьях прямо коррелировало с ГТК. Содержание Chl b и каротиноидов оказалось слабее связано с температурным режимом региона, при этом первый показатель прямо коррелировал с количеством осадков за сезон, а для второго отмечали отрицательную корреляцию. При инокуляции препаратом Байкал-ЭМ1 содержание аскорбиновой кислоты в листьях в 1-й и 2-й год жизни растений повышалось относительно контроля, к 3-му году — практически сравнивалось с контрольными значениями, в смешанном посеве на 3-й год снижалось относительно контроля. Содержание флавоноидов в листьях при применении микробиопрепарата и в контроле на 3-й год (когда растения перешли к генеративному развитию) резко снизилось, тогда как смешанном посеве, где продолжалась виргинильная стадия, — резко возросло (в 1,6 раза по сравнению с предыдущими годами). В целом полученные данные свидетельствуют, что применение микробиологического препарата Байкал-ЭМ1 в большей степени способствовало адаптации растений галеги восточной 2-го и 3-го года к новым экологическим условиям.

*1*БУ ВО Сургутский государственный университет,  
628412 Россия, Ханты-Мансийский автономный округ — Югра,  
г. Сургут, Проспект Ленина, 1,  
e-mail: lapinaea\_vizit@mail.ru ✉, kravinessa@mail.ru, ar80@yandex.ru;

*2*ФГАОУ ВО Национальный исследовательский

Томский государственный университет,

НИИ биологии и биофизики,

634050 Россия, Ханты-Мансийский автономный округ — Югра,  
г. Сургут, Проспект Ленина, 36,  
e-mail: shepelevalf@mail.ru

*Поступила в редакцию  
29 ноября 2021 года*

## ACCUMULATION OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS AND SECONDARY METABOLITES IN LEAVES OF GALEGA (*Galega orientalis* Lam.) cv. GALE DEPENDING ON STAND AGE AND AGROTECHNOLOGIES DURING INTRODUCTION IN THE MIDDLE TAIGA OF WESTERN SIBERIA

E.A. Moiseeva<sup>1</sup> ✉, I.V. Kravchenko<sup>1</sup>, L.F. Shepeleva<sup>2</sup>, R.Kh. Bordey<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Surgut State University, 1 Prospekt Lenina, Surgut, Khanty-Mansi Autonomous Okrug — Yugra, 628412 Russia, e-mail lapinaea\_vizit@mail.ru (✉ corresponding author), kravinessa@mail.ru, ar80@yandex.ru;

<sup>2</sup>National Research Tomsk State University, Research Institute of Biology and Biophysics, 36 Prospekt Lenina, Surgut, Khanty-Mansi Autonomous Okrug — Yugra, 634050 Russia, e-mail shepelevalf@mail.ru

ORCID:

Moiseeva E.A. orcid.org/0000-0002-4892-3600

Shepeleva L.F. orcid.org/0000-0002-8805-469X

Kravchenko I.V. orcid.org/0000-0001-5050-6622

Bordey R.Kh. orcid.org/0000-0002-5041-1559

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Supported financially from the Department of Education and Youth Policy of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Ugra, within the framework of the project "Technologies for growing and extracting biologically active compounds of northern berry crops and medicinal herbs (YugraBioPharm)" of Surgut State University and within the framework of the State assignment No. 0721-2020-0019

Received November 29, 2021

doi: 10.15389/agrobiologi.2022.1.44eng

### Abstract

Plant biomass production and accumulation of bioactive substances are determined by a complex of physiological and biochemical mechanisms, environmental factors and agrotechnologies. The use of *Galega orientalis* as a forage crop throughout the world is largely due to its unique environmental adaptability and a large yield potential. Despite the widespread use of forage *G. orientalis* around the world, research data on photosynthetic pigments, vitamin C and flavonoids in green mass of the plants under a new environment are scarce, and for the north of Russia, it is completely absent. Earlier, we were the first to describe the phenological, eco-morphological features and photosynthetic potential, the productivity of green mass and seeds of *G. orientalis* for the zone of the Middle taiga of Western Siberia. This paper systematizes our first data on the accumulation of photosynthetic pigments, vitamin C, and flavonoids in *G. orientalis* plants at the site of introduction. The study aimed to characterize the content of these compounds during adaptation to new environment, depending on cropping practices and the age of the herbage. Introductory studies were carried out on the cv. Gale (an experimental plot, the village of Barsovo, Khanty-Mansi Autonomous Okrug — Yugra, Surgut district, 61°15'00" N, 73°25'00" E. 2013–2015). Plants were grown using peas as a cover crop, in monoculture with pre-sowing treatment of seeds with the Baikal-EM1 microbiological preparation (OOO NPO EM-Center, Russia), and in monoculture without treatment. The effects of the cropping practices on the total chlorophylls (Chl a + Chl b) in the leaves appeared in the 2nd year plants. Upon seed pre-sowing treatment with the Baikal-EM1 preparation, in the 2nd and 3rd year plants, the level of total chlorophylls by plant development phases was 19–22 % and 16–18 % higher than in the control). In mixed sowing total chlorophylls decreased at the end of the 2nd year but exceeded the control (by 33 %) by the end of the 3rd year. In the control, the Chl a level in the leaves of the 1st, 2nd and 3rd year plants averaged  $1.23 \pm 0.10$ ,  $1.29 \pm 0.12$  and  $1.32 \pm 0.14$  mg/g dry weight over the growing season. Over the 2nd year of growth, the content of Chl a in the leaves increased by 15 % on average upon the Baikal-EM1 application compared to the control and remained within the control values ( $1.20 \pm 0.23$  mg/g) ( $p \leq 0.05$ ) in the mixed stands with pea plants. For the microbiological preparation, the average Chl a/Chl b ratio significantly ( $p \leq 0.05$ ) decreased over 3 years, which may indicate an increase in the adaptive potential of plants, and for the mixed crops, it remained within the control values. The proportion of chlorophylls (Chl a + Chl b) localized in the light-harvesting complexes (LHC) varied from 20 to 90 % depending on the plant phenophase, stand age, and the agrotechnology. In the control and two treatments, the correlation coefficients between Chl a/Chl b and the proportion of chlorophylls (Chl a + Chl b) localized in the LHC were  $r = -0.83$ ,  $r = -0.93$ , and  $r = -0.65$ , respectively. Treatments did not lead to a statistically significant change in the Chl/Car index. Nevertheless, after inoculation with the Baikal-EM1 biological and in mixed sowing with peas, the accumulation of carotenoids exceeded the control. For all treatments over the years, the accumulation of all pigments in the leaves directly correlated with the hydrothermal coefficient (HTC). The content of Chl b and carotenoids turned out to be weaker associated with the temperature regime, while the first parameter directly correlated with precipitation during the season, and a negative correlation occurred for the second parameter. When inoculated with Baikal-EM1, the leaf level of vitamin C in the 1st and 2nd year plants increased compared to the control and was almost equal to the control in the 3rd year plants. In the 3rd year mixed sowing, the vitamin C content decreased compared to control. After application

of the microbiological preparation and in the control, the content of flavonoids in the 3rd year plants switched to generative development sharply decreased, while in the sowing with the cover crop, where the virginal stage continued, it sharply increased (1.6 times compared to previous years). In general, our findings indicate that the biological Baikal-EM1 largely contributed to the adaptation of the 2nd and 3rd year plants of *G. orientalis* cv. Gale to a new environment.

Keywords: photosynthesis pigments, vitamin C, flavonoids, *Galega orientalis* Lam., cv. Gale, introduction, Baikal-EM1.

## REFERENCES

1. Ignaczak S., Andrzejewska J., Sadowska K., Albrecht K.A. Fractional harvest of fodder galega for improved herbage nutritive value. *Agronomy*, 2021, 11(3): 480 (doi: 10.3390/agronomy11030480).
2. Domash V.I., Prokhorov V.N., Kandelinskaya, O.L., Sharpio T.P., Zabreiko S.A., Grishchenko E.R. Biochemical peculiarities of *Galega orientalis* Lam. genotypes in Belorussia. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2013, 6: 105-111 (doi: 10.15389/agrobiol-ogy.2013.6.105eng) (Russ.).
3. Baležtienė L., Spruogis V. Experience of fodder Galega (*Galega orientalis* Lam) and traditional fodder grasses use for forage production in organic farm. *Veterinarija ir zootechnika (Vet. Med. Zoot.)*, 2011, 56(78): 19-26.
4. Żarczyński P.J., Sienkiewicz S., Wierzbowska J., Krzebietke S.J. Fodder Galega — a versatile plant. *Agronomy*, 2021, 11(9): 1797 (doi: 10.3390/agronomy11091797).
5. *POWO Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew, 2021.* Available: <https://powo.sci-ence.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:495682-1>. Accessed: 09.02.2022.
6. Österman J., Chizhevskaja E.P., Andronov E.E., Fewer D.P., Terefework Z., Roumilantseva M.L., Onichtchouk O.P., Dresler-Nurmi A., Simarov B.V., Dzyubenko N.I., Lindström K. *Galega orientalis* is more diverse than *Galega officinalis* in Caucasus—whole-genome AFLP analysis and phylogenetics of symbiosis-related genes. *Molecular Ecology*, 2011, 20(22): 4808–4821 (doi: 10.1111/j.1365-294X.2011.05291).
7. Barkalov V.Yu., Prokopenko S.V. *Byulleten' Botanicheskogo sada-instituta*, 2017, 17: 45-46 (in Russ.).
8. Teleuță A., Țotei V., Coșman S. Biological peculiarities and nutritional value of *Astragalus galegiformis* L. and *Galega orientalis* Lam. species in Moldova. *J. Bot.*, 2015, VII(1-10): 126-133.
9. Fairey N.A., Lefkovitch L.P., Coulman B.E., Fairey D.T., Kunelius T., McKenzie D.B., Michaud R., Thomas W.G. Cross-Canada comparison of the productivity of fodder galega (*Galega orientalis* Lam.) with traditional herbage legumes. *Canadian Journal of Plant Science*, 2000, 80(4): 793-800 (doi: 10.4141/P99-162).
10. Iwabuchi K. Adaptability and cultivation of *Leguminosae* galega (*Galega orientalis* Lam.) in Hokkaido (usefulness, cultivation and feeding value of galega (*Galega orientalis* Lam.) in Hokkaido). *Journal of the Japanese Grassland Society*, 2012, 58(2): 113-121 (doi: 10.14941/grass.58.113).
11. Gul'shina I.I. *Osnovnye priemy vozdeleyvaniya kozlyatnika vostochnogo (Galega orientalis Lam.) v odnovidovykh i smeshannykh posevakh v usloviyakh lesostepi TsChR. Avtoreferat kandidatskoi dissertatsii* [The main methods of cultivation of Eastern goat's rue (*Galega orientalis* Lam.) in single-species and mixed crops in the conditions of the forest-steppe of the Central Chernozem region. PhD Thesis]. Moscow, 2000 (in Russ.).
12. Kshnikatkina A.N., Gushchina V.A., Varlamov V.A., Galiullin A.A. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2003, 2: 101-107 (in Russ.).
13. Faizov I.F. *Produktivnost' kozlyatnika vostochnogo v chistykh i smeshannykh posevakh na obyknovennykh chernozemakh stepnoi zony Saratovskogo pravoberezh'ya. Avtoreferat kandidatskoi dissertatsii* [Productivity of eastern goat's rue in pure and mixed crops on ordinary chernozems of the steppe zone of the Saratov right bank. PhD Thesis]. Penza, 2004 (in Russ.).
14. Batyrshina E.R. *Osnovnye tekhnologicheskie priemy vozdeleyvaniya kozlyatnika vostochnogo v odnovidovykh i smeshannykh posevakh v usloviyakh Srednego Urala. Avtoreferat kandidatskoi dissertatsii* [The main technological methods of cultivation of Eastern goat's rue in single-species and mixed crops in the conditions of the Middle Urals. PhD Thesis]. Moscow, 2004 (in Russ.).
15. Sagirowa R.A. Ontogenetic morphogenesis of *Galega orientalis* Lam. as perspective forage plant. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2009, 4: 75-80 (in Russ.).
16. Litvyak G.K. *Produktivnost' kozlyatnika vostochnogo na korm i semena v zavisimosti ot normy vyseva i sposoba poseva v usloviyakh orenburgskogo Predural'ya. Avtoreferat kandidatskoi dissertatsii* [The productivity of goat's rue oriental for feed and seeds, depending on the sowing rate and sowing method in the conditions of the Orenburg Cis-Urals. PhD Thesis]. Orenburg, 2002 (in Russ.).
17. Zhukova M.A. *Biokhimicheskaya kharakteristika populyatsii kozlyatnika vostochnogo (Galega orientalis Lam.). Avtoreferat kandidatskoi dissertatsii* [Biochemical characteristics of populations of eastern goat's rue (*Galega orientalis* Lam.). PhD Thesis]. St. Petersburg, 2003 (in Russ.).

18. Shymanska O.V., Vergun O.M., Rakhmetov D.B., Brindza J. Antiradical activity of plant extracts of *Galega officinalis* L. and *G. orientalis* Lam. *Plant Introduction*, 2018, 78: 12-19 (doi: 10.5281/zenodo.2229075).
19. Darmohray L.M., Sedilo G.M., Gutyj B.V. Conceptual framework for the assessment of the nutritional and biological value of the plant *Galega orientalis* (Lam.). *Scientific Messenger LNUVMB*, 2017, 19(79): 9-12 (doi: 10.15421/nvlvet7902).
20. Pérez-Gálvez A., Viera I., Roca M. Carotenoids and chlorophylls as antioxidants. *Antioxidants (Basel)*, 2020, 9(6): 505 (doi: 10.3390/antiox9060505).
21. Akbari A., Jelodar G., Nazifi S., Sajedianfard J. An overview of the characteristics and function of vitamin C in various tissues: relying on its antioxidant function. *Zahedan J. Res. Med. Sci.*, 2016, 18(11): e4037 (doi: 10.17795/zjrms-4037).
22. Kumar S., Pandey A.K. Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview. *The Scientific World Journal*, 2013, 2013: Article ID 162750 (doi: 10.1155/2013/162750).
23. Apak R., Özyürek M., Güçlü K., Çapanoglu E. Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. *J. Agric. Food Chem.*, 2016, 64(5): 997-1027 (doi: 10.1021/acs.jafc.5b04739).
24. Swapnil P., Meena M., Singh S.K., Dhuldhaj U.P., Harish, Marwal A. Vital roles of carotenoids in plants and humans to deteriorate stress with its structure, biosynthesis, metabolic engineering and functional aspects. *Current Plant Biology*, 2021, 26: 100203 (doi.org/10.1016/j.cpb.2021.100203).
25. Tyutereva E.V., Ivanova A.N., Voitsekhovskaya O.V. *Trudy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Botanika: istoriya, teoriya, praktika (k 300-letiyu osnovaniya Botanicheskogo instituta im. V.L. Komarova Rossiiskoi akademii nauk»* [Proc. Int. Conf. «Botany: history, theory, practice (to the 300th anniversary of the founding of the V.L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences)]. St. Petersburg, 2014: 190-203 (in Russ.).
26. Gest N., Gautier H., Stevens R. Ascorbate as seen through plant evolution: the rise of a successful molecule. *Journal of Experimental Botany*, 2013, 64(1): 33-53 (doi: 10.1093/jxb/ers297).
27. Ivanov B.N. *Biokhimiya*, 2014, 79(3): 364-372 (in Russ.).
28. Tóth S.Z., Nagy V., Puthur J.T., Kovács L., Garab G. The physiological role of ascorbate as photosystem II electron donor: protection against photoinactivation in heat-stressed leaves. *Plant Physiology*, 2011, 156(1): 382-392 (doi: 10.1104/pp.110.171918).
29. Trubitsin B.V., Mamedov M.D., Semenov A.Y., Tikhonov A.N. Interaction of ascorbate with photosystem I. *Photosynthesis Research*, 2014, 122: 215-231 (doi: 10.1007/s11120-014-0023-7).
30. Ivanov B., Asada K., Kramer D.M., Edwards G. Characterization of photosynthetic electron transport in bundle sheath cells of maize. I. Ascorbate effectively stimulates cyclic electron flow around PSI. *Planta*, 2005, 220: 572-581 (doi: 10.1007/s00425-004-1367-6).
31. Zverev Ya.F. *Obzory po klinicheskoi farmakologii i lekarstvennoi terapii*, 2017, 15(4): 5-13 (doi: 10.17816/RCF1545-13) (in Russ.).
32. Vergun O., Shymanska O., Rakhmetov D., Grygorieva O., Ivanišová E., Brindza J. Parameters of antioxidant activity of *Galega officinalis* L and *Galega orientalis* Lam. (Fabaceae Lindl.) plant raw material. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 2020, 14: 125-134 (doi: 10.5219/1271).
33. Baležentienė L. Bioassay of phenolics accumulation and activity in fodder galega at different growth stages. *Zemdirbyste-Agriculture*, 2009, 96(1): 170-181.
34. Lapina E.A., Shepeleva L.F. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, 6(167): 30-35 (in Russ.).
35. Moiseeva E.A., Shepeleva L.F. *Vestnik KrasGAU*, 2016, 8: 9-14 (in Russ.).
36. Moiseeva E.A., Shepeleva L.F., Kravchenko I.V. *Vestnik KamchatGTU*, 2016, 37: 70-76 (doi: 10.17217/2079-0333-2016-37-70-76) (in Russ.).
37. Moiseeva E.A., Bordei R.Kh. *Vestnik KrasGAU*, 2017, 10: 140-147 (in Russ.).
38. Moiseeva E.A., Bordei R.Kh., Samoilenko Z.A. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra Ural'skogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk*, 2018, 3(35): 54-60 (in Russ.).
39. Moiseeva E.A. *Materialy IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Ekologiya i geografiya rastenii i rastitel'nykh soobshchestv»* [Proc. Int. Conf. «Ecology and geography of plants and plant communities»]. Ekaterinburg, 2018: 567-570 (in Russ.).
40. Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methods of field trials]. Moscow, 1985 (in Russ.).
41. *Metodika polevykh opytov s kormovymi kul'turami* /Pod redaktsiei A.S. Mitrofanova, YU.P. Novoselova, G.D. Khar'kova [Methods of field experiments with fodder crops. A.S. Mitrofanov, Yu.P. Novoselov, G.D. Kharkov (eds.)]. Moscow, 1971 (in Russ.).
42. Rabotnov T.A. *Raboty v oblasti izucheniya zhiznennogo tsikla mnogoletnikh travyanistykh rastenii v estestvennykh tseozakh. Voprosy botaniki* [Works in the field of studying the life cycle of perennial herbaceous plants in natural cenoses. Botanical questions]. Moscow-Leningrad, 1954, vyp. 2 (in Russ.).
43. Fedorov A.A., Kirpichnikov M.E., Artyushenko Z.T. *Atlas po opisatel'noi morfologii vysshikh rastenii. List* [Atlas on the descriptive morphology of higher plants. Sheet]. Moscow-Leningrad, 1956 (in Russ.).

44. Fedorov A.A., Kirpichnikov M.E., Artyushenko Z.T. *Atlas po opisatel'noi morfologii vysshikh rastenii. Stebel' i koren'* [Atlas on the descriptive morphology of higher plants. Stem and root]. Moscow-Leningrad, 1962 (in Russ.).
45. Fedorov A.A., Kirpichnikov M.E., Artyushenko Z.T. *Atlas po opisatel'noi morfologii vysshikh rastenii. Sotsvetie* [Atlas on the descriptive morphology of higher plants. Inflorescence]. Moscow-Leningrad, 1979 (in Russ.).
46. Fedorova A.I., Nikol'skaya A.N. *Praktikum po ekologii i okhrane okruzhayushchei sredy* [Workshop on ecology and environmental protection]. Moscow, 2003 (in Russ.).
47. Mokronosov A.T. *Neftegazodobycha i okruzhayushchaya sreda* [Oil and gas production and the environment]. Moscow, 1994 (in Russ.).
48. Maslova T.G., Popova I.A. Adaptive properties of the plant pigment systems. *Photosynthetica*, 1993, 29(2): 195-203.
49. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: *Methods in enzymology*, V. 148. L. Packer, R. Douce (eds.). Academic Press, San Diego, 1987: 350-382 (doi: 10.1016/0076-6879(87)48036-1).
50. 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, 78(2): 384-391 (doi: 10.1042/bj0780384).
51. Chupakhina G.N. *Sistema askorbinovoi kisloty rastenii* [Plant ascorbic acid system]. Kaliningrad, 1997 (in Russ.).
52. *Flavinovye glikozidy. Metody vydeleniya, ochkistki, razdeleniya i analiza* [Flavin glycosides. Methods for isolation, purification, separation and analysis]. Leningrad, 1991 (in Russ.).
53. Dymova O.V., Golovko T.K. *Fiziologiya rastenii*, 2019, 66(3): 198-206 (doi: 10.1134/S0015330319030035) (in Russ.).
54. Ladygin V.G., Shirshikova G.N. *Zhurnal Obshchei Biologii*, 2006, 67(3): 163-189 (in Russ.).
55. Ivanova L.A., Ronzhina D.A., Yudina D.A., Zolotareva N.V., Kalashnikova I.V., Ivanova D.A. *Fiziologiya rastenii*, 2020, 67(3): 278-288 (doi: 10.31857/S0015330320030112) (in Russ.).
56. Zhang H., Zhong H., Wang J., Sui X., Xu N. Adaptive changes in chlorophyll content and photosynthetic features to low light in *Physocarpus amurensis* Maxim and *Physocarpus opulifolius* "Diabolo". *PeerJ*, 2016, 4: e2125 (doi: 10.7717/peerj.2125).
57. Jansson S. Light-harvesting complex (LHC) I and II: pigments and proteins. In: *Encyclopedia of biological chemistry*. Elsevier, New York, 2004: 567-570 (doi: 10.1016/B0-12-443710-9/00490-7).
58. Nahakpam S. Chlorophyll stability: a better trait for grain yield in rice under drought. *Indian Journal of Ecology*, 2017, 44(special issue-4): 77-82.
59. Maglovski M., Gersi Z., Rybansky L., Bardacova M., Moravcikova J., Bujdos M., Dobrikova A., Apostolova E., Kraic J., Blehova A., Matusikova I. Effect of nutrition on wheat photosynthetic pigment responses to arsenic stress. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2019, 28(3): 1821-1829 (doi: 10.15244/pjoes/89584).
60. Larcher W. *Physiological plant ecology. Ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York, 2003.
61. Golovko T.K., Dal'ke I.V., Dymova O.V., Zakhozhi I.G., Tabalenkova G.N. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN*, 2010, 1: 39-46 (in Russ.).
62. Surai P., Fisinin V.I. Natural antioxidant in hens' embryogenesis and antistress defense in post-natal development (review). *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*, 2013, 2: 3-18 (doi: 10.15389/agrobiology.2013.2.3eng).
63. Ostrenko K.S., Galochkin V.A., Koloskova E.M., Galochkina V.P. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh*, 2017, 2: 74-86 (in Russ.).
64. Voitekhovich M.A., Kuchinskaya V.A., Novosel'skii I.Yu., Griusevich P.V., Samokhina V.V., Matskevich V.S., Sokolik A.I., Demidchuk V.V. *Zhurnal Belorusskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya*, 2018, 2: 27-38 (in Russ.).
65. Matsui T. Vitamin C nutrition in cattle. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, 2012, 25(5): 597-605 (doi: 10.5713/ajas.2012.r.01).
66. Zen'kova N.N., Razumovskii N.P., Subbotina I.A. *Uchenye zapiski UO VGAVM*, 2010, 46, 2(2): 122-127 (in Russ.).
67. Kravchenko I.V., Moiseeva E.A., Ustinova M.V., Shepeleva L.F. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*, 2021, 16(1): 36-44 (doi: 10.18470/1992-1098-2021-1-36-44) (in Russ.).
68. Filatov V.I., Mel'nikov V.N., Luginina T.F., Slabzheninova N.V. *Plodorodie*, 2010, 4: 36-38 (in Russ.).
69. Ghasemzadeh A., Nasiri A., Jaafar H.Z., Baghdadi A., Ahmad I. Changes in phytochemical synthesis, chalcone synthase activity and pharmaceutical qualities of Sabah snake grass (*Clinacanthus nutans* L.) in relation to plant age. *Molecules*, 2014, 19(11): 17632-17648 (doi: 10.3390/molecules191117632).
70. Kirsanova N.V. *Ekologo-biologicheskie osobennosti Eupatorium cannabinum L. v svyazi s introduktsiei v podzone yuzhnoi taigi Zapadnoi Sibiri. Avtoreferat kandidatskoi dissertatsii* [Ecological and

- biological features of *Eupatorium cannabinum* L. in connection with the introduction in the sub-zone of the southern taiga of Western Siberia. PhD Thesis]. Tomsk, 2012 (in Russ.).
71. Mutalib L. Effect of growth age period on biochemical composition of *Plantago major* plant. *International Journal of Current Research and Review*, 2015, 7(19): 6-10.
  72. Eryashev A.P., Eryashev P.A. The influence of pesticides and Albite on the photosynthetic activity and seed yield of eastern galega (*Galega orientalis*). *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2018, 10(12): 3422-3425.
  73. Tian D., Wang F., Duan M., Cao L., Zhang Y., Yao X., Tang J, Coumarin analogues from the *Citrus grandis* (L.) osbeck and their hepatoprotective activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, 67(7): 1937-1947 (doi: 10.1021/acs.jafc.8b06489).
  74. Yamini B., Poppenga R.H., Braselton W.E., Judge L.J. Dicoumarol (moldy sweet clover) toxicosis in a group of Holstein calves. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 1995, 7: 420-422.
  75. Smith B.N., Dilger R.N. Immunomodulatory potential of dietary soybean-derived isoflavones and saponins in pigs. *Journal of Animal Science*, 2018, 96(4): 1288-1304 (doi: 10.1093/jas/sky036).
  76. Chaudhary S.K., Rokade J.J., Aderao G.N., Singh A., Gopi M., Mishra A., Raje K. Saponin in poultry and monogastric animals: a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2018, 7(7): 3218-3225 (doi: 10.20546/ijcmas.2018.707.375).
  77. Jensen T.L. *Livestock foraging behavior in response to sequence and interactions among alkaloids, tannins and saponins*. Utah State University, 2012.
  78. Symanowicz B., Kalembasa S., Jaremko D., Niedbala M. Effect of nitrogen application and year on concentration of Cu, Zn, Ni, Cr, Pb and Cd in herbage of *Galega orientalis* Lam. *Plant Soil Environ.*, 2015, 61(1): 11-16 (doi: 10.17221/558/2014-PSE).
  79. Symanowicz, B., Kalembasa, S., Jaremko, D., Niedbala, M. Effect of nitrogen fertilization of *Galega orientalis* Lam. on the yield and content of K, Na, Ca and Mg in the plant and soil. *Environmental Protection and Natural Resources*, 2015, 26(2): 15-20 (doi: 10.1515/oszn-2015-0004).
  80. Vinogradova Y. Bio-morphological characters of alien legume species, influencing their invasion in natural plant communities. *American Journal of Plant Sciences*, 2016, 7(16): 2390-2398 (doi: 10.4236/ajps.2016.716209).