

УДК 553.973:677.141

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГУМАТО-САПРОПЕЛИЕВОЙ СУСПЕНЗИИ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КРОТАЛЯРИИ СИТНИКОВОЙ (*CROTALARIA JUNCEAE* L.) В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЁННОГО ГРУНТА

© 2024 г. Академик РАН В. А. Румянцев<sup>1,\*</sup>, Я. В. Пухальский<sup>2</sup>, С. И. Лоскутов<sup>2,3</sup>, А. С. Митюков<sup>4</sup>, Н. И. Воробьев<sup>5</sup>, А. И. Якубовская<sup>6</sup>, И. А. Каменева<sup>6</sup>, Г. В. Никитичева<sup>2</sup>, Л. А. Горднова<sup>2</sup>, К. Н. Бердышева<sup>5</sup>, А. И. Ковальчук<sup>5</sup>, Д. Д. Мещеряков<sup>7</sup>

Поступило 08.11.2023 г.

После доработки 28.12.2023 г.

Принято к публикации 10.01.2024 г.

Среди видов рода *Crotalaria* L. *Crotalaria juncea* является единственной покровной культурой, которая возделывается для получения волокна. Качество последнего зависит от условий питания, накопления в биомассе биофильных элементов и синтеза протеиногенных аминокислот. Таким образом, целью исследования была качественная и количественная оценка зелёного урожая на стадии активного цветения, до фазы формирования бобов, когда происходит перенастройка всего биохимического цикла растения, и фитохимические показатели максимальны. Растения выращивали в течение 140 суток (с 22 апреля по 9 сентября 2023 г.) в условиях защищённого грунта. Схема эксперимента состояла из двух блоков по 50 растений: в первом (контрольном) растения выращивались на почвосмеси без каких-либо добавок; во втором, культуру трижды за вегетацию обрабатывали органической суспензией гуминовых кислот (1000 ppm), полученных из сапропеля (Псковская обл.) – УДГСС, путём её внесения при поливе под корень. В качестве почвенного субстрата в обоих случаях выступал типичный чернозём (заповедник “Каменная степь” Воронежской обл., 51°01'41.6" с. ш., 40°43'39.3" в. д.) с 20% добавкой вулканического цеолита. На протяжении каждых 14 суток вёлся системный учёт динамики изменения морфометрических показателей роста культуры (высоты и сухой биомассы), путём извлечения из каждого блока вариантов по пять культиваров. По пришествии 140 дней, в оставшихся пяти повторностях на вариант проводили биохимический анализ при помощи масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с использованием приборов 7500 и LC 1200 (“Agilent Technologies”, США), согласно методике производителя. Обработка УДГСС увеличила продуктивность и высоту побегов на 51.1% и 11.3% соответственно. Концентрация макроэлементов в сухой биомассе располагалась в следующем порядке: Na>K>Ca>S>P>Mg на контроле и Na>K>Ca>Mg>P>S на варианте с УДГСС, а экспорт микроэлементов – Fe>Mn>Zn>Ba>V>Cu>Mo и Fe>Mn>V>Zn>Ba>Cu>Mo. При этом суммарно, увеличение больше проявилось в количестве накопления микроэлементов, за счёт двукратного повышения концентрации ионов железа. Среди аминокислот наблюдалась повышение концентрации L-Лизина, L-Глицина, L-Глютамина и L-Тирозина. Первые три являются структурными компонентами биологических тканей, что косвенно указывает на повышение прочности волокна у культуры.

**Ключевые слова:** сапропель, кроталярия, микроэлементы, аминокислоты, продуктивность, индекс когнитивной значимости

**DOI:** 10.31857/S2686739724050191

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский научный центр Российской Академии наук, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Ленинградский государственный университет им. А.С.Пушкина, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Россия

<sup>3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской Академии наук, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Институт озераведения Российской Академии наук – обособленное структурное подразделение Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской Академии наук, Санкт-Петербург, Россия

<sup>5</sup> Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Россия

<sup>6</sup> Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Республика Крым, Симферополь, Россия

<sup>7</sup> ИП “Led for Plant”, Красноярский край, Красноярск, Россия

\*E-mail: rum.ran@mail.ru; puhalskyan@gmail.com



Рис. 1. Ареал распространения культуры.

## ВВЕДЕНИЕ

Кроталария ситниковая (*Crotalaria juncea* L.) – это зернобобовая культура, используемая в качестве покровной в системах нулевой обработки почвы (No-till) для защиты её от эрозии и уплотнения, а также увеличения накопления в ней органических и питательных веществ в поле, которыми при разложении питаются грибы-сапрофиты, такие как *Trichoderma*. Кроме того, культура проявляет нематодостатическую активность.

Традиционно *C. juncea* выращивалась на полях тропических регионов стран Азии (Бангладеш, Бутан, Индия) как лубяная [1]. По сравнению с другими видами из рода, *C. juncea* единственная, кто возделывается местными жителями для получения волокна, сбор которого составляет около 8% от сухой биомассы стебля. Волокно кроталарии классифицируют как мягкое, и используют в основном при производстве сигаретной бумаги, рыболовных сетей, мешков и канатов. По степени прочности, оно превосходит джутовое, однако уступает льняному, агаве (сизаль) и текстильному банану (манильская пенька или абака).

Первые свидетельства культивирования вида зафиксированы в Индии ещё в VI веке до н. э. На данный момент, культура зарегистрирована во многих странах Африканского континента, от побережья Атлантического океана до Красного моря, от Туниса до Южной Африки и на островах Индийского океана (рис. 1).

В Европу растение было завезено в 1791 г., где оно получило широкий потенциал для возделывания в качестве альтернативной сидеральной культуры. В 2020 г. был запущен проект BECOOL (<https://www.becoolproject.eu/>) для оценки потенциала выращивания нетрадиционных культур в диверсифицированных севооборотах для

производства дешёвого лигноцеллюлозного биотоплива [2]. Отмечено, что совместная переработка коровьего навоза в анаэробных условиях в сочетании с 20%-й добавкой кроталарии в виде исходного сырья, является потенциальным источником дополнительного получения биогаза.

Отдельное направление в возделывании культуры занимает выращивание её с целью последующего использования в области фармакологии [3]. Основным фактором здесь является получение семенного материала, содержащего (до 0.1%) токсичных дегидропирролизидиновых алкалоидов (триходезмин, монокроталин, кроталабурнин, джунсеин, апигенин-7-4-0-диглюкозид, апигенин-7-глюкуроид, сенеционин и сенецифиллин) и прочих фитохимических соединений – полифенолов (танины и флавоноиды), белков (лектина), гликозидов, стероидных сапонинов и терпенов. С использованием современных технологий на основе данных биоактивных соединений могут быть разработаны новые лекарственные препараты, обладающие фармакодинамическими и антиоксидантными свойствами для человек и животных.

Поскольку отмечалось, что в условиях открытого грунта культура может не формировать семена севернее 28°-й параллели, из-за резких различий в почвенно-климатических условиях, альтернативой её возделывания на семенные цели и волокно здесь могут служить сооружения закрытого типа. В условиях защищённого грунта растения выращивают на беспочвенных нейтральных субстратах с минимальным применением минеральных удобрений, гербицидов и прочих химических средств защиты, за счёт использования органических регуляторов роста и микробных биопрепаратов, а также с чётким фитомониторингом микроклимата в зоне роста растений. Подобные эксперименты уже ведутся в коммерческих оранжереях и теплицах США (Техас) и Франции (CIRAD, Париж). Исследования здесь проводятся также в рамках изучения нематодостатической активности и возможности получения более коротких сердцевинных волокон, при выращивании растений в горшечной культуре.

В рамках экологического земледелия, в качестве биоактивной органической добавки чаще всего используют гуминовые кислоты (ГК). Обладая “ауксиноподобной” активностью и действуя как специфические сенсibiliзирующие агенты, они снижают кислотность среды, и, способствуя увеличению проницаемости плазматических мембран, тем самым улучшают

хелатирование и мобилизацию биофильных элементов из субстрата в корневую систему. Таким образом, обеспечивается пролонгированный эффект питания растений. Улучшение условий питания достигается также благодаря содержанию в их составе основных макро- и микроэлементов. Кроме стимуляции роста, данные кислоты обладают высокой антиоксидантной активностью, что позволяет использовать их в качестве природных биологически активных добавок для защиты растений от различных абиотических стрессов. Выделяют ГК из почв, торфов, ископаемых углей и древесины. При этом ещё не получило широкого распространение исследование применения ГК, экстрагированных из сапропеля — донных отложений пресноводных водоёмов, представляющих собой многокомпонентные полидисперсные системы, состоящие из остатков планктонных и бентосных организмов. Разведанные запасы данного сырья только в России достигают 45 млрд м<sup>3</sup> [4]. Причём многие из этих месторождений находятся в Нечернозёмной полосе [5] и к настоящему времени либо заброшены, либо ещё слабо разработаны. Стоит также отметить, что добыча сапропелей представляет не только промышленный интерес, но и во многих случаях служит природоохранной мерой, поскольку позволяет очистить и углубить озёрную ванну используемого водоёма.

Целью нашей работы было провести оценку влияния гумато-сапропелевой суспензии (УДГСС) на изменение продуктивности и накопления биофильных элементов в зелёной биомассе *S. juncea*, выращенной в условиях защищённого грунта.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксперимент проводился летом 2023 года на базе тепличного комплекса НОЦ “Зимний сад” (ЛГУ им. А.С. Пушкина, СПб, г. Пушкин). Температура в теплице на протяжении всего опыта составляла 35–40°C днём и 25–28°C ночью при влажности воздуха 60–65%. Растения выращивали в цилиндрических пластиковых сосудах на 2 л, заполненных почвосмесью, состоящей из типичного чернозёма, полученного из заповедника “Каменная степь” Воронежской области (51°01'41.6" с. ш., 40°43'39.3" в. д.) и 20%-й добавки в виде вулканического цеолита для улучшения водоудерживающей способности субстрата [6]. Агрохимическая характеристика почвы проведена стандартными методами: рНН<sub>2</sub>O 6.89±0.02; рНКСl 6.39±0.02; гумус

7.65±0.28%; ЕКО — 45.5±0.02 мг-экв/100 г, НГ — 1.54±0.08 мг-экв /100 г; К<sub>2</sub>O 127.7±2.3 мг/кг; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 125.9±1.9 мг/кг. На один сосуд приходилось по одному саженцу. Общий период выращивания растений составил 140 суток (с 22 апреля по 9 сентября 2023 г.), до фазы активного цветения, когда все биохимические показатели в растении максимальны.

Схема эксперимента состояла из двух блоков по 50 растений: в первом (контрольном варианте) растения выращивались на почвосмеси без каких-либо дополнительных добавок; во втором, культуру трижды за вегетацию обрабатывали органической суспензией гуминовых кислот (1000 ppm), полученных из экологически чистого сапропеля месторождения деревни Ермолино (Псковской обл.). Жидкая суспензия УДГСС с частицами размером 86–89 нм, обогащённая ионами калия, фосфора, натрия и прочими микроэлементами вносилась при поливе растений под корень. Конечная влажность субстрата в сосуде поддерживалась весовым методом на уровне 60–70%. Никаких дополнительных подкормок синтетическими удобрениями более нигде не проводили.

Каждые 14 суток вёлся системный учёт динамики изменения морфометрических показателей роста культуры (высоты и сухой биомассы), путём извлечения из каждого блока вариантов по пять культиваров. По пришествии 140 дней, в оставшихся пяти повторностях на вариант проводили биохимический анализ. Мокрое озоление пробы проводили с использованием концентрированной азотной кислоты HNO<sub>3</sub> в системе разложения проб Digiblock ED36S (“LabTech”, Италия), в течение 4 ч при температуре 170°C. Азотную кислоту, предварительно очищали в системе очистки кислот subClean. Дальнейшее содержания биофильных элементов в полученном гидрофильном гомогенате измеряли при помощи масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на приборе 7500 (“Agilent Technologies”, США), согласно МУК 4.1.1483-03, в двух режимах — “холодной” и “горячей” плазмы. В режиме холодной плазмы (800 W) измерялись натрий, магний, кальций, калий, фосфор, сера, железо и марганец. В режиме горячей плазмы (1350 W) — цинк, медь, молибден, барий и бор. В качестве реакционного газа, уменьшающего помехи полиатомных ионов, использовался гелий. Определение концентрации осуществлялось методом калибровки многоэлементными стандартными растворами. Расчёт концентрации осуществлялся программным обеспечением (ChemStation G1834) прибора

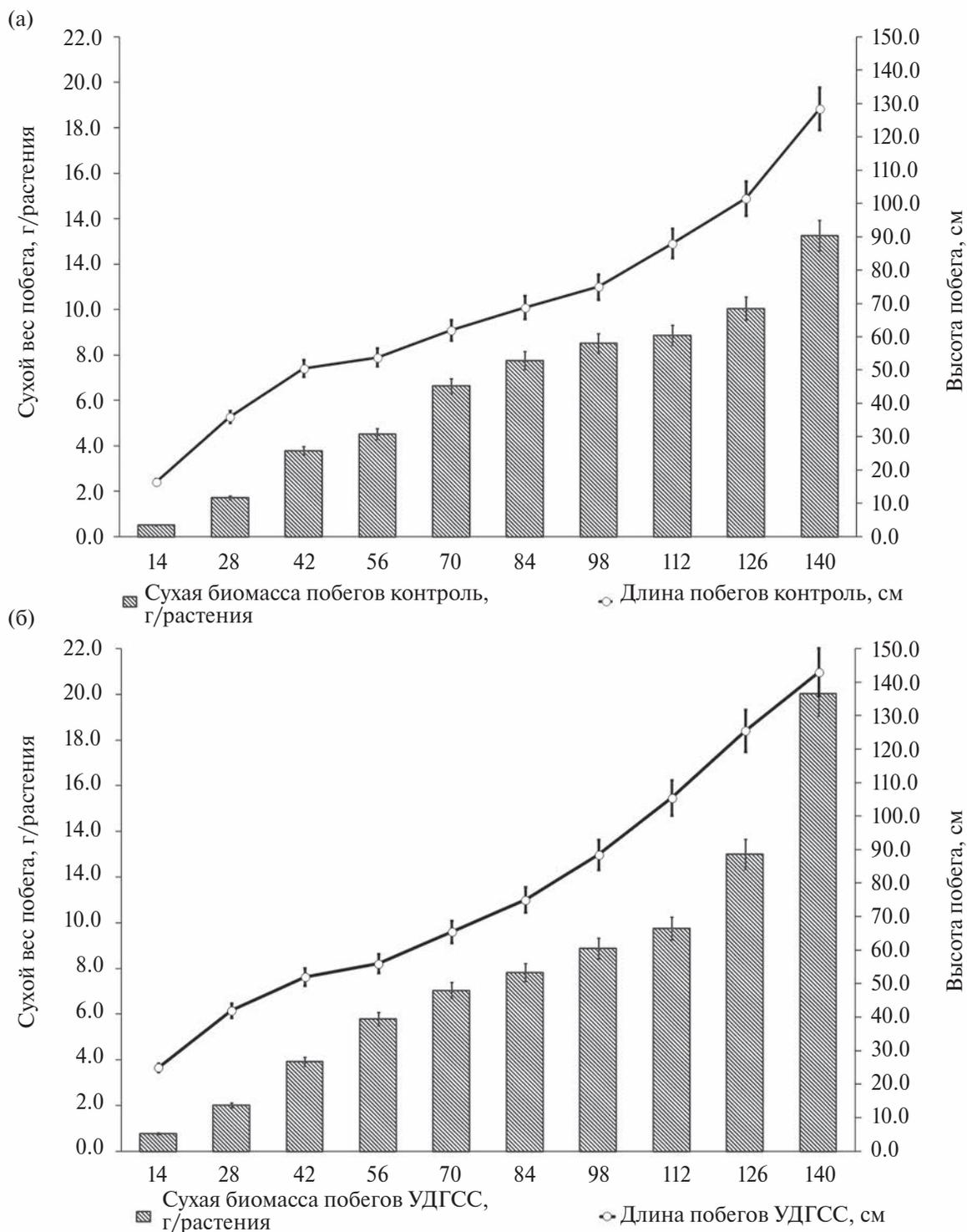


Рис. 2. Средняя динамика изменения морфометрических показателей у растений *S. juncea* в контроле (а) и при добавлении УДГСС (б). Планки указывают ошибки средних.

по вводимым данным о навеске образца в объёме раствора. По каждому элементу строили градуировочную характеристику, где коэффициент корреляции в каждом случае составлял  $R \geq 0.998$ .

Калибровочная линия строилась по показаниям миллиардной доли (ppb) группы элементов (до 30 штук), содержащихся в покупных стандартных растворах Sigma-Aldrich (Merck, США).

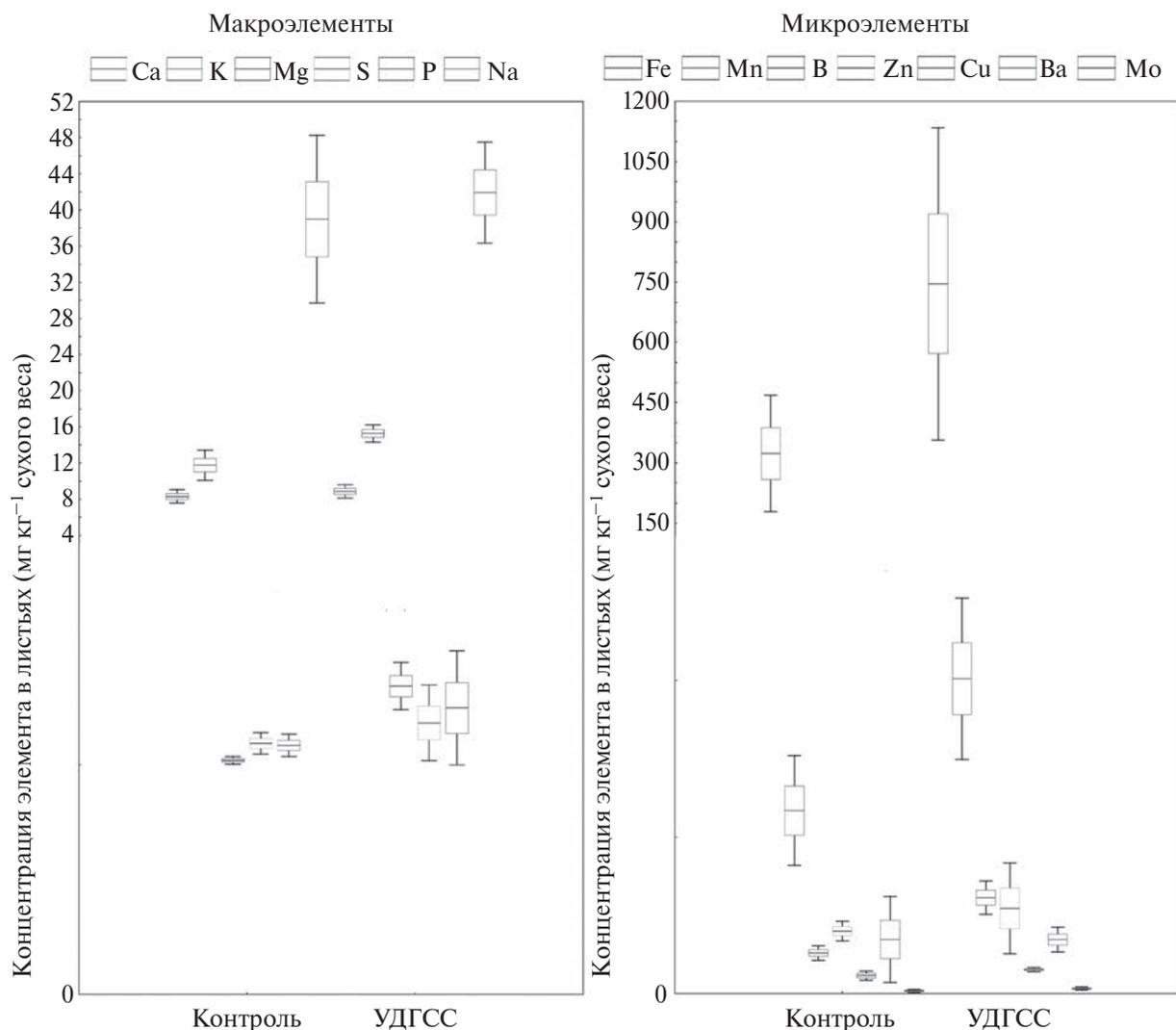


Рис. 3. Изменения в аккумуляции биофильных элементов у растений *C. juncea* при добавлении в питательную среду УДГСС. Планки указывают ошибки средних.

Качественную и количественную идентификацию состава аминокислот в образцах проводили с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на приборе LC 1200 ("Agilent Technologies", США), оснащённого флуоресцентным детектором G1315A, насосом G1311 и системой автоматического забора пробы (автосамплер G1313A) по 20 мкл и ввода её в колонку. Гидролиз проводили в течение 24 ч в термостате при температуре 110°C. Пробы анализировали на колонке Zorbax Eclipse-AAA (длиной 150 мм и внутренним диаметром 4.6 мм), заполненной сорбентом с диаметром зерна 3 мкм (Hypersil ODS (производство BST, Будапешт, Венгрия). Скорость подвижного потока жидкости буфера составила 1.5–2.0 мл/мин; температура колонки термостата – 40°C. Подвижная фаза А – 40 ммоль

Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, pH 7.8 (разведение 5.5 г моногидрата NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> в 1 л воды, доведение кислотности с помощью 10-нормальной NaOH); подвижная фаза В – соотношение CH<sub>3</sub>CN: CH<sub>3</sub>OH: H<sub>2</sub>O (45:45:10). Предколоночную дериватизацию проводили с помощью автоматического программного регулирования с использованием реагентов ОРА и FМОС. Чистые эталонные соединения аминокислот были приобретены у компании "Fluka Sigma-Aldrich" (Милан, Италия). Деионизованную воду, подходящую для ВЭЖХ-анализа, получали с помощью системы очистки Elix Essential 3UV ("Merck Millipore", Милан, Италия).

Математическую обработку полученных данных проводили с помощью прикладных систем Excel 2016 (Microsoft Corp., США) и Statistica v 10.0 (StatSoft Inc., США).

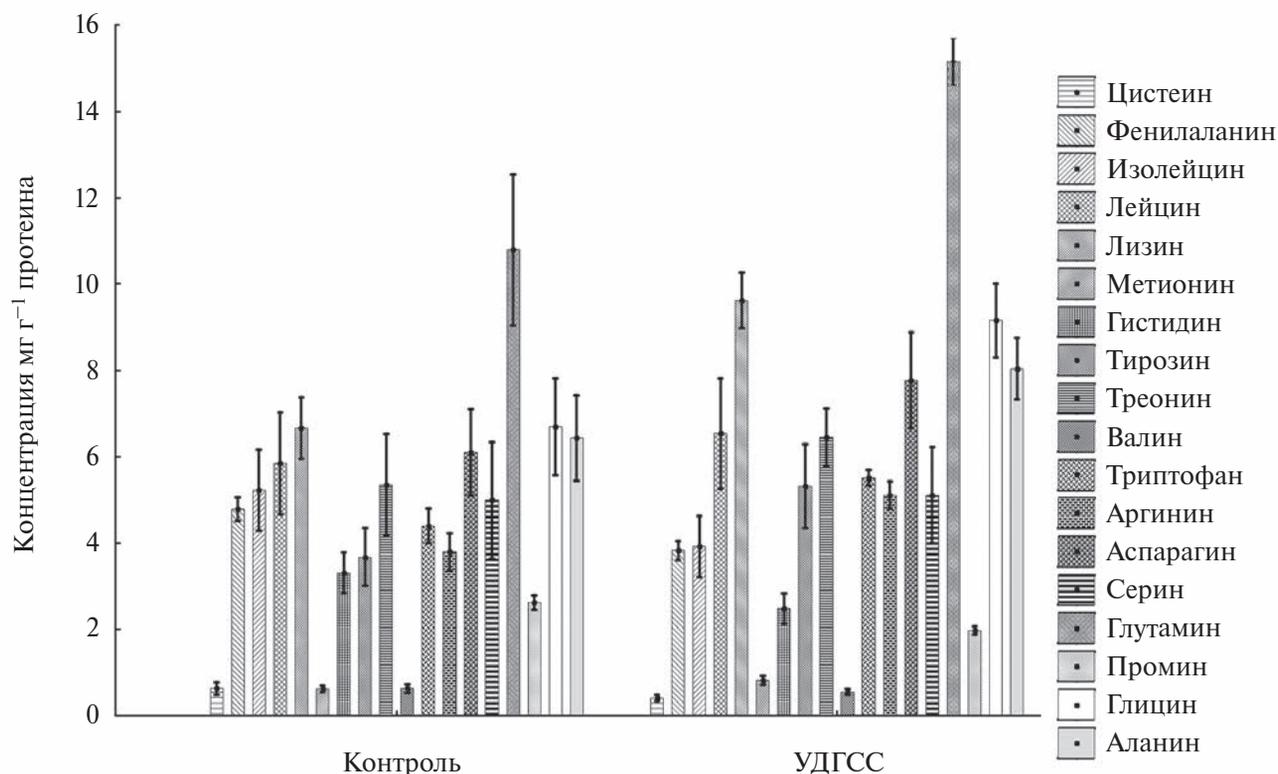


Рис. 4. Изменения в профиле протеиногенных аминокислот у растений *C. juncea* под влиянием органической добавки в почвенную смесь УДГСС. Планки указывают ошибки средних.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Добавление в почвосмесь раствора УДГСС способствовало увеличению биомассы побегов на 51% уже на 14 сутки роста ювенильных растений (рис. 2).

Прибавка в весе сохранялась и далее на всём протяжении периода вегетации и равнялась в среднем 12.4%. Увеличение продуктивности культуры под конец опыта также составило 51%. Тот же результат отмечен и по высоте растений, однако прибавка к контролю здесь составила лишь 11%. Показано, что высота растения в значительной степени коррелирует с выходом волокна [7]. Итоговая высота полученных растений на момент съёма опыта в закрытом грунте составила 1.2–1.4 м. При этом в полевых условиях высота данной культуры может достигать 3–4 м. Объяснение этому факту можно связать с ограниченным объёмом сосуда для нормального развития более мощной корневой системы. Тем не менее, для условий защищённого грунта и модельного эксперимента этот результат идеальный. Можно ещё отметить тот факт, что плотность посева в целом не влияет на высоту растений, однако непрореженные растения

достигают большей высоты, что может быть связано с уменьшением конкуренции за световую энергию.

Анализ фитохимического состава по накоплению в зелёной биомассе макроэлементов не выявил значимых отличий, хотя тенденция к увеличению наблюдалась, при этом содержание микроэлементов возросло вдвое, за счёт повышения концентрации ионов железа (рис. 3).

Железо играет важную роль в адаптивных реакциях и влияет на поглощение и содержание других биогенных элементов растением. Часть его находится в составе негемовых белков. Дефицит микроэлемента влияет на иммунную систему, что приводит к снижению урожайности культур, фотосинтеза и способствует развитию глобального “скрытого голода”. Ранее уже было показано, что применение ГК сопровождается образованием хелатных комплексов (ГК-ХК) в среде и усилением поступления элемента в растения, что может повысить его антиоксидантный статус в условиях стресса [8, 9].

Анализ аминокислотного профиля показал почти полуторократное увеличение концентрации двух незаменимых (L-Глицина,

L-Глутамина) и двух заменимых (L-Лизина, L-Тирозина) кислот (рис. 4).

На примере первых трёх известно, что они участвуют в формировании коллагеновых волокон у млекопитающих, придающих их биологическим тканям прочность на разрыв и растяжение. Глицин в листьях растений влияет на уровень фосфорилирования белка. На примере кориандра (*Coriandrum sativum* L.) и кукурузы (*Zea mays* L.) показано увеличение активности ферментов (в частности глутаминсинтетазы), а также накопления азота (N), кальция (Ca), калия (K), фосфора (P), железа (Fe) и цинка (Zn), но не магния (Mg) и марганца (Mn) в листьях при экзогенной обработке растений данной кислотой в дозе 5–10 мг/л [10, 11]. Таким образом, накопление глицина улучшает минеральный статус и общее физиологическое состояние растения, что сказывается на наборе белковой биомассы [12]. Важную роль в обмене веществ и иммунной системе растений играет и другой амид – глутамин. Как гомолог аспарагина, наряду с аргинином он участвует в усвоении и запаса азота, влияя тем самым на формирование C–N-остова растения. Совместное внесение глицина и глутамина повышает урожайность и качество салата за счёт улучшения фотосинтетической ассимиляции, ферментативной активности и доступности питательных веществ (в частности значительно повышению концентрации Fe в листьях) [13, 14]. Что касается лизина, то он также влияет на качество формируемых белков [15], а синтез тирозина de novo в растении помимо протеиногенности, является биосинтетическим предшественником токоферолов, пластохинона и убихинона, которые необходимы всем растениям для увеличения толерантности к стрессам [16, 17]. Так, на примере руколы (*Eruca sativa* Mill.) обработка тирозином давала высокие значения повышения антиоксидантных соединений, включая аскорбиновую кислоту в листьях [18].

Среди данных четырёх аминокислот, глицин способен образовывать хелатные комплексы с железом (FeBC) [19], которые способствуют лучшему накоплению биодоступных ионов в зелёной биомассе растений из питательного субстрата [20].

По итогу проведённого исследования в растительной биомассе *C. juncea*, полученной при обработке УДГСС, выявлена сложная биохимическая цепочка каскадных изменений между соотношением минерально-аминокислотных компонентов, влияющих на увеличение белковой

биомассы культуры, и, по всей видимости, прочности лубяных волокон.

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках научной темы FMNG-2019-0002 “Инновационные подходы к использованию и регулированию ресурсов водных экосистем”.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Работа не содержит исследований с использованием людей или животных в качестве объектов исследования.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bhandari H. R., Tripathi M. K., Babira C., Sarker S. K. Sunnhemp breeding: Challenges and prospects // Indian J. Agric. Sci. 2016. V. 86. P. 1391–1398.
2. Sinbuathong N., Khun-Anake R., Sawanon S. Biogas production from sunn hemp // Int. J. Glob. Warming. 2019. V. 19(1/2). 24e36.
3. Al-Snafi A. E. The contents and pharmacology of *Crotalaria juncea* – A review // IOSR Journal of Pharmacy. 2016. V. 6(6). P. 77–86.
4. Борисов В. А., Успенская О. Н., Гренадеров Н. В., Васючков И. Ю. Состав органического вещества разных видов сапропелей // Агрохимия. 2014. № 8. С. 51–55.
5. Анисимова Т. Ю. Использование ресурсов торфа и сапропеля в сельском хозяйстве нечерноземной зоны России: состояние вопроса и перспективы // Проблемы агрохимии и экологии. 2022. № 1. С. 51–58.
6. Арефьев А. Н., Кузина Е. Е., Кузин Е. Н. Влияние природных цеолитов на водоудерживающую способность и режим влажности чернозема выщелоченного // Нива Поволжья. 2016. № 1(38). С. 2–9.
7. Jitendra Mohan K. V., Prakash G. Regression and correlation of fibre yield and its components in sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) // Indian J. Agric. Sci. 1971. V. 4(4). P. 378–381.
8. Abros'kin D. P., Fuentes M., Garcia-Mina J. M., Klyain O. I., Senik S. V., Volkov D. S., Perminova I. V., Kulikova N. A. The effect of humic acids and their complexes with iron on the functional status of plants grown under iron deficiency // Eurasian Soil Science. 2016. V. 49(10). P. 1099–1108.
9. Zanin L., Tomasi N., Cesco S., Varanini Z., Pinton R. Humic Substances Contribute to Plant Iron Nutrition

- Acting as Chelators and Biostimulants // *Front. Plant Sci.* 2019. V. 10. 675.
10. *Mohammadipour N., Souri M. K.* Effects of different levels of glycine in the nutrient solution on the growth, nutrient composition, and antioxidant activity of coriander (*Coriandrum sativum* L.) // *Acta Agrobot.* 2019. V. 72(1). P. 1–9
11. *Wu J., Chen S., Ruan Y., Gao W.* Combinatorial Effects of Glycine and Inorganic Nitrogen on Root Growth and Nitrogen Nutrition in Maize (*Zea mays* L.) // *Sustainability.* 2023. V. 15(19). 14122.
12. *Zargar Shooshtari F., Souri M. K., Hasandokht M. R., Jari S. K.* Glycine mitigates fertilizer requirements of agricultural crops: case study with cucumber as a high fertilizer demanding crop // *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2020. V. 7(19).
13. *Khan S., Yu H., Li Q., Gao Y., Sallam B. N., Wang H., Liu P., Jiang W.* Exogenous Application of Amino Acids Improves the Growth and Yield of Lettuce by Enhancing Photosynthetic Assimilation and Nutrient Availability // *Agronomy.* 2019. V. 9(5). 1–17.
14. *Noroozlo Y. A., Souri M. K., Delshad M.* Stimulation Effects of Foliar Applied Glycine and Glutamine Amino Acids on Lettuce Growth // *Open Agriculture.* 2019. V. 4. P. 164–172.
15. *Leinonen I., Iannetta P. P. M., Rees R. M., Russell W., Watson C., Barnes A. P.* Lysine Supply Is a Critical Factor in Achieving Sustainable Global Protein Economy // *Front. Sustain. Food Syst.* 2019. V. 3. 27.
16. *Xu J.-J., Fang X., Li C.-Y., Yang L., Chen X.-Y.* General and specialized tyrosine metabolism pathways in plants // *aBIOTECH.* 2019. V. 1(2). P. 1–9.
17. *Schenck C. A., Maeda H. A.* Tyrosine biosynthesis, metabolism, and catabolism in plants // *Phytochemistry.* 2018. V. 149. P. 82–102.
18. *Maher H. S. A.-M., Duraid K. A.-T.* Effect of tyrosine and sulfur on growth, yield and antioxidant compounds in arugula leaves and seeds // *Research on Crops.* 2019. V. 20(1). P. 116–120.
19. *Ghasemi S., Khoshgoftarmanesh A. H., Hadadzadeh H., Jafari M.* Synthesis of Iron-Amino Acid Chelates and Evaluation of Their Efficacy as Iron Source and Growth Stimulator for Tomato in Nutrient Solution Culture // *J Plant Growth Regul.* 2012. V. 31. P. 498–508.
20. *Hertrampf E., Olivares M.* Iron amino acid chelates // *Int J Vitam Nutr Res.* 2004 V. 74(6). P. 435–443.

## USE OF HUMATE-SAPROPELIC SUSPENSION WHEN GROWING SUNN HEMP (*CROTALARIA JUNCEAE* L.) IN PROTECTED SOIL CONDITIONS (GREENHOUSE)

Academician of the RAS **V. A. Rumyantsev<sup>a, #</sup>**, **J. V. Puhalsky<sup>b</sup>**, **S. I. Loskutov<sup>b, c</sup>**,  
**A. S. Mityukov<sup>d</sup>**, **N. I. Vorobyov<sup>e</sup>**, **A. I. Yakubovskaya<sup>f</sup>**, **I. A. Kameneva<sup>f</sup>**, **G. V. Nikiticheva<sup>b</sup>**,  
**L. A. Gorodnova<sup>b</sup>**, **K. N. Berdysheva<sup>e</sup>**, **A. I. Kovalchuk<sup>e</sup>**, **D. D. Meshcheryakov<sup>g</sup>**

<sup>a</sup>*St. Petersburg Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation*

<sup>b</sup>*Pushkin Leningrad State University, St. Petersburg, Pushkin, Russian Federation*

<sup>c</sup>*A branch of the Federal State Budget Scientific Institution “V.M. Gorbатов Federal Scientific Center for Food Systems”, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation*

<sup>d</sup>*St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation*

<sup>e</sup>*All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Pushkin, Russian Federation*

<sup>f</sup>*Scientific Research Institute of Agriculture of Crimea, Republic of Crimea, Simferopol, Russian Federation*

<sup>g</sup>*“Led for Plant” LLC, Krasnoyarsk Territory, Krasnoyarsk, Russian Federation*

<sup>#</sup>*E-mail: rum.ran@mail.ru; puhalskiyan@gmail.com*

Among the species of the genus *Crotalaria* L., *Crotalaria juncea* is the only cover crop cultivated for its fiber. The quality of the latter depends on nutritional conditions, the accumulation of biophilic elements in the biomass and the synthesis of proteinogenic amino acids. Thus, the purpose of the study was a qualitative and quantitative assessment of the green harvest at the stage of active flowering, before the phase of bean formation, when the entire biochemical cycle of the plant is reconfigured, and biochemical indicators are maximum. The plants were grown for 140 days (from April 22 to September 9, 2023) in protected soil conditions. The experimental design consisted of two blocks of 50 plants: in the first (control) plants were grown in a soil mixture without any additives; in the second, the crop was treated three times during the growing season with an organic suspension of humic acids (1000 ppm) obtained from sapropel (Pskov region) – UDGS, by applying it when watering at the root. The soil substrate in both cases was typical chernozem (Kamennaya Steppe nature reserve, Voronezh region, 51°01'41.6"N

40°43'39.3"E) with a 20% addition of volcanic zeolite. Over the course of every 14 days, a systematic record of the dynamics of changes in the morphometric indicators of crop growth (height and dry biomass) was carried out, by removing five cultivars from each block of variants. After 140 days, the remaining five replicates per variant were subjected to biochemical analysis using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and high-performance liquid chromatography (HPLC) using 7500 and LC 1200 instruments (Agilent Technologies, USA), according to the manufacturer's method. Treatment with UDGSS increased productivity and shoot height by 51.1% and 11.3%, respectively. The concentration of macroelements in dry biomass was in the following order: Na>K>Ca>S>P>Mg in the control and Na>K>Ca>Mg>P>S in the variant with UDGSS, and the export of microelements – Fe>Mn>Zn>Ba>B>Cu>Mo and Fe>Mn>B>Zn>Ba>Cu>Mo. At the same time, in total, the increase was more manifested in the amount of accumulation of microelements, due to a twofold increase in the concentration of iron ions. Among amino acids, an increase in the concentration of L-Lysine, L-Glycine, L-Glutamine and L-tyrosine was observed. The first three are structural components of biological tissues, which indirectly indicates an increase in the fiber strength of the culture.

*Keywords:* sapropel, sunnhemp, microelements, amino acids, productivity, cognitive importance index