

## Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-101-107

Я.В. Пухальский<sup>1</sup> ✉  
 С.И. Лоскутов<sup>1</sup>  
 В.Р. Сидорова<sup>2</sup>  
 А.И. Якубовская<sup>3</sup>  
 Д.Д. Мещеряков<sup>4</sup>  
 И.А. Каменева<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ООО «ПрофПриоритет», Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия

<sup>4</sup> ИП LedForPlant, Красноярск, Россия

✉ puhalskyan@gmail.com

Поступила в редакцию:  
28.11.2023

Одобрена после рецензирования:  
13.03.2024

Принята к публикации:  
29.03.2024

## Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-101-107

Jan V. Puhalsky<sup>1</sup> ✉  
 Svyatoslav I. Loskutov<sup>1</sup>  
 Valeria R. Sidorova<sup>2</sup>  
 Alla I. Yakubovskaya<sup>3</sup>  
 Denis D. Meshcheryakov<sup>4</sup>  
 Irina A. Kameneva<sup>3</sup>

<sup>1</sup> All-Russian Research Institute of Food Additives — branch of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food System, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> ProfPrioritet LLC, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Scientific Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia

<sup>4</sup> Individual entrepreneur LedForPlant, Krasnoyarsk, Russia

✉ puhalskyan@gmail.com

Received by the editorial office:  
28.11.2023

Accepted in revised:  
13.03.2024

Accepted for publication:  
29.03.2024

# Использование гермикомпоста *Hermetia illucens* в технологии выращивания микрозелени бобовых культур

## РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Работа описывает перспективу использования зоогумуса черной львинки (*Hermetia illucens*) как органического удобрения для активации роста микрозелени нетрадиционных видов бобовых культур, включая мелкосемянные, и перспективы уменьшения дозы внесения минеральных удобрений.

**Методы.** Проведен опыт со сравнительным изучением изменения морфометрических и химических параметров роста растений на полной рекомендуемой дозе применения минеральных удобрений и при 25%-ном их использовании, но с 1%-ной добавкой жидкого экстракта зоогумуса, также обогащенного эссенциальными элементами. Длительность опыта составила 21 день. Растения выращивали в закрытом грунте при интенсивной светокультуре и контроле внутреннего микроклимата рабочей зоны.

**Результаты.** Среди шести изученных нетрадиционных видов бобовых, выращенных на микрозелень, наиболее отзывчивым на комбинированную обработку органоминеральным комплексом оказался эспарцет виколистный. Худший результат по биомассе показал красный клевер. Анализ изменений в профиле распределения эссенциальных элементов в полученной зеленой биомассе, проведенный с помощью метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES), позволил выявить ионы железа и цинка как потенциальные мишени, связанные с недобором урожая у ювенильных побегов. Поскольку в глобальных продовольственных системах данные микроэлементы являются наиболее распространенными нутриентами, отвечающими за проявление «скрытого голода», особенно среди детей в возрасте до 5 лет и женщин детородного возраста, при создании питательной биокомпозиции на основе зоогумуса черной львинки для выращивания нетрадиционных видов бобовых культур, дальнейший акцент следует делать на них. Значимых отличий из числа макроэлементов обнаружено не было.

**Ключевые слова:** микрозелень, зоокомпост, гермикомпост, черная львинка, *Hermetia illucens*, бобовые растения, *Fabacea*

**Для цитирования:** Пухальский Я.В., Лоскутов С.И., Сидорова В.Р., Якубовская А.И., Мещеряков Д.Д., Каменева И.А. Использование гермикомпоста *Hermetia illucens* в технологии выращивания микрозелени бобовых культур. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 101–107.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-101-107>

© Пухальский Я.В., Лоскутов С.И., Сидорова В.Р., Якубовская А.И., Мещеряков Д.Д., Каменева И.А.

## Use of *Hermetia Illucens* hermicompost in the technology of growing legume microgreens

## ABSTRACT

**Relevance.** The work describes the prospect of using black soldier fly zoohumus as an organic fertilizer to activate the growth of microgreens of non-traditional legume species, including small-seeded ones, and the prospects of reducing the dose of mineral fertilizers.

**Methods.** An experiment was carried out with a comparative study of changes in the morphometric and chemical parameters of plant growth at the full recommended dose of mineral fertilizers, and at 25% of their use, but with the addition of 1% liquid extract of zoohumus, also enriched with essential elements. The duration of the experiment was 21 days. The plants were grown in a closed grow tent, with intensive light culture and control of the internal microclimate of the working area.

**Results.** Among the six studied non-traditional legume species grown for microgreens, the most responsive to combined treatment with an organomineral complex was *Onobrychis viciifolia*. *Trifolium rubens* showed the worst result in terms of biomass. Analysis of changes in the profile distribution of essential elements in the resulting green biomass, carried out using inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES), revealed iron and zinc ions as potential targets associated with yield shortfalls in juvenile shoots. Since in global food systems these microelements are the most common nutrients noted for the manifestation of “hidden hunger”, especially among children under 5 years of age and women of childbearing age, when creating a nutritional biocomposition based on black soldier fly zoohumus for growing non-traditional types of legumes, further the emphasis should be on them. No significant differences were found in the number of macroelements.

**Results.** The results of the study confirmed the high efficiency of using humic fertilizers in conditions of low soil fertility and revealed the selective sensitivity of vegetable crops to humic preparations of various origins.

**Key words:** microgreens, zoocompost, hermicompost, black soldier fly, *Hermetia illucens*, legumes, *Fabacea*

**For citation:** Puhalsky J.V., Loskutov S.I., Sidorova V.R., Yakubovskaya A.I., Meshcheryakov D.D., Kameneva I.A. The use of *Hermetia illucens* hermicompost in the technology of growing legume microgreens. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 101–107 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-101-107>

© Puhalsky J.V., Loskutov S.I., Sidorova V.R., Yakubovskaya A.I., Meshcheryakov D.D., Kameneva I.A.

## Введение/Introduction

На сегодняшний день человеку необходимо не только обеспечивать себя пищей для выживания, но и непрерывно следить за ее качеством и безопасностью. Увеличение численности населения Земли приводит к поиску новых функциональных добавок, способных к внедрению в ежедневный рацион, для решения глобальной проблемы диверсификации продовольственного кризиса в мире и укрепления здоровья людей. На общем фоне можно выделить развитие бизнес-направления по выращиванию молодых проростков или микрозелени.

Микрозелень обладает рядом преимуществ с точки зрения технологии производства и удобства потребления. Обычно микрозелень употребляется в сыром виде, что минимизирует потери и деградацию микроэлементов, чувствительных к температурному режиму [1]. Ее можно есть как в виде самостоятельного продукта, так и добавлять в готовые блюда для улучшения их вкусовых и качественных свойств.

Благодаря относительной простоте ее выращивания и минимизация затрат прослеживается четкая тенденция к созданию внутри городских агломераций хозяйств защищенного грунта (теплиц и вертикальных фитотерм). Данное направление уже быстро набрало популярность в странах Запада и Азии.

В 2019 году основным поставщиком на рынке микрозелени являлись США, за ними следовали Канада и Мексика. При этом рынок в Соединенных Штатах сильно фрагментирован, и такие крупные игроки, как Fambox Green LLC, Metro Microgreens, Fresh Origins, Florida microgreens, The Chefs Garden Inc. и AeroFarms LLC, намерены и дальше инвестировать в данный функциональный продукт.

Сейчас крупнейшую в мире вертикальную гидроферму имеет компания AeroFarm, расположенная в штате Нью-Джерси. Ее площадь составляет 6500 кв. м<sup>1</sup>. Среди прочих мегаигроков на рынке вертикальных ферм США также можно выделить компанию FarmedHere, что имеет свои фитотермы в штатах Чикаго<sup>2</sup>. Среди европейских стран больше всего микрозелени продается в Германии, Франции и Великобритании. Стали расти рынки в Италии и Испании. Если рассматривать Азиатско-Тихоокеанский рынок, то микрозеленые растения больше всего востребованы в Китае, Японии и Сингапуре. Обратили на себя внимание такие страны, как Индия, Индонезия. Анализ потребительской способности на Ближнем Востоке и в африканских странах показал, что выращивать и потреблять зелень в ОАЭ стали больше. Вторую позицию разделяют Саудовская Аравия, Катар и Ирак<sup>3</sup>. Одна из самых больших аэроферм ЕСО1 на Ближнем Востоке расположена недалеко от аэропорта Дубая. Ее площадь превышает 30,5 тыс. кв. м и в год способна давать свыше 900 т листовой зелени<sup>4</sup>.

В России распространение сити-фермерства по выращиванию микрозелени началось (относительно недавно) с Дальнего Востока<sup>5</sup> и продвигается по стране пока с большим трудом в связи с малой долей инвестиционной поддержки от государства.

Установлено, что микрозелень превосходит зрелые растения у аналогичных культур по содержанию в них

биогенных микроэлементов, особенно *Zn*, *Fe*, *Cu*, и *Mn*, *Mg* и *P*, что позволяет применять ее в спортивном и диетическом питании. Употребление микрозелени является профилактикой развития таких серьезных заболеваний, как рак, диабет, ожирение, сердечно-сосудистые, гипертония и пр.

Для успешной интеграции микрозелени в глобальный производственный цикл необходимо оптимизировать систему ее выращивания в условиях закрытого грунта. Решающую роль здесь играет сокращение сроков получения зеленой биомассы без ущерба в объемах и питательной ценности. Для повышения конкурентоспособности необходимо искать методы по снижению ее себестоимости и увеличению экологичности за счет минимизации использования минеральных удобрений в пользу органических. Органический продукт, создаваемый без минеральных удобрений и пестицидов или при минимальном и безопасном их использовании, отличается особой полезностью. Его потребление способствует улучшению здоровья и качества жизни населения.

Среди органических удобрений можно выделить инновационные питательные вещества — зоогуmus, полученные из отходов (экскрементов) насекомых, или гермикомпост личинок черной львинки (*Hermetia illucens*) [2, 3]. Как и в случае с вермикомпостом, данное органическое сырье способно служить в качестве почвенного кондиционера, улучшая водный режим и микробиом почвы [4]. При этом оно является продуктом естественного происхождения с минимальной себестоимостью.

Данная тема является малоизученной на данный момент в технологии ее практического использования при выращивании микрозелени на нейтральных питательных субстратах.

Среди растений, которые активно исследуются на предмет употребления человеком в виде микрозелени, являются бобовые (*Fabaceae*). Это семейство одно из крупнейших среди цветковых растений, в котором классифицированы около 18 тыс. видов, подразделенных на 650 родов, являющихся значительной частью практически всех сухопутных биомов на всех континентах (кроме Антарктиды) [5]. Бобовые культуры стали ценными компонентами основных и функциональных продуктов питания за счет своей высокой питательной ценности, богатого компонентного состава, содержания минералов и вторичных метаболитов.

В зависимости от вида представители семейства *Fabaceae* содержат пищевые волокна, витамины (A, C, E и пр.), органические компоненты (белки, олигосахариды, углеводы, жиры, оксалаты и фитиновую кислоту) и минеральные компоненты (кальций, магний, калий, железо, цинк, азот). Фитохимические исследования обнаружили наличие изофлавононов, пренилированных флавоноидов, флаванолов, флаванолов, сапонинов, глюкозидов, ротеноидов, халконов, алкалоидов и ингибиторов трипсина. В традиционной медицине некоторые виды применимы для лечения различных недугов. У этих растений обнаружены эстрогенные, антибактериальные, антиоксидантные, антигрибковые, антипаразитарные и инсектицидные свойства [6].

<sup>1</sup> Вертикальные фермы AeroFarms дают урожай в два раза быстрее обычных [Электронный ресурс]. — URL: <https://hightech.plus/2019/02/21/vertikalnie-fermi-aerofarms-proizvodyat-urozhai-v-dva-raza-bistree-obichnih> (дата обращения: 30.11.2023).

<sup>2</sup> This Vertical Farm in Chicago Is Cool, but Can It Really Be the Future? [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.vice.com/en/article/mggnz4/this-vertical-farm-in-chicago-is-cool-but-can-it-really-be-the-future> (дата обращения: 30.11.2023).

<sup>3</sup> Отчет по исследованию рынка микрозеленых растений в разбивке по размеру, доле, росту и прогнозу на 2021–2026 гг. [Электронный ресурс]. — URL: <https://dfermer.ru/novosti/otchet-po-issledovaniyu-rynka-mikrozelennyh-rastenij-v-razbivke-po-razmeru-dole-rostu-i-prognozu-na-2021-2026-gody.html> (дата обращения: 30.11.2023).

<sup>4</sup> В Дубае заработала крупнейшая в мире вертикальная ферма [Электронный ресурс]. — URL: <https://rb.ru/story/dubai-vertical/> (дата обращения: 30.11.2023).

<sup>5</sup> Сити-фермы наращивают объемы производства и завоевывают любовь потребителей [Электронный ресурс]. — URL: <https://agriexpert.ru/articles/416/siti-fermy-narashivayut-obyomy-proizvodstva-i-zavoyovuyut-lyubov-potrebitelei> (дата обращения: 30.11.2023).

В настоящее время минеральная недостаточность считается одной из наиболее серьезных глобальных проблем для человечества. Помимо основных видов зернобобовых культур, включая нут, чечевицу, зеленый горошек, фасоль, маш и сою [7–9], традиционно выращиваемых в РФ [10–12], в том числе и на микрозелень, существует потенциальная возможность включения в рацион питания человека и многолетних представителей, используемых в качестве кормовой базы для скота. Кроме того, обнаружение в пророщенных семенах и микрозелени многолетних бобовых повышенной концентрации различных биологически активных соединений в виде гетероциклических органических веществ возродило интерес к данному аспекту с позиции фитомедицины.

Проведенные исследования показали, что, как правило, дикие виды бобовых культур богаче по минеральному профилю, чем культурные виды [13]. Поэтому эти пищевые добавки могут быть одним из способов оптимизации режима питания веганов. Однако имеющиеся к настоящему времени данные о распределении минеральных веществ (как в семенах, так и в микрозелени разных видов бобовых) часто противоречивы.

Для личинок *H. illucens*, которые рассматриваются в работе, можно выделить такие преимущества, как их широкая распространенность, стабильная колонизация и приспособленность к изменчивым условиям окружающей среды, их всеядность и антипатогенные (антипаразитные) свойства полученных экскрементов против видов сальмонелл [14, 15]. На примере разных видов микрозелени бобовых может быть показана тенденция применения зоогуруса как в целом при выращивании всей микрозелени, так и специфично для малоизученных родов, включая мелкосемянные, потенциальных источников пищевых ингредиентов с добавленной стоимостью, обогащенных различными вторичными метаболитами.

Цель работы — сравнительный анализ результативности использования жидкого экстракта зоогуруса *H. illucens* в процессе выращивания микрозелени при минимизации использования химии для сопоставления полученных результатов от применения полной дозы минерального комплекса удобрений.

В задачи исследования входило изучение изменений в морфометрических показателях полученной биомассы и химическом профиле накопления эссенциальных элементов.

#### Материалы и методы исследования / Materials and methods

Объектами для исследования послужили растительные организмы из семейства бобовых, а именно клевер красный (*Trifolium rubens*), люцерна посевная (*Medicago sativa*), эспарцет виколистный (*Onobrychis viciifolia*), пажитник сенной (*Trigonella foenum-graecum*), козлятник лекарственный (*Galega officinalis*), донник лекарственный (*Melilotus officinalis*). Выбор конкретных видов обусловлен малым количеством сведений о биологических особенностях этих культур, включая мелкосемянные виды в их практическом применении, и возможных аспектах использования [13].

Эксперимент проводился осенью 2023 года на базе НОЦ «Зимний сад» Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина (Санкт-Петербург, г. Пушкин) в стационарном вегетационном опыте в закрытом

грубоксе. В качестве подложки для проращивания был использован нейтральный субстрат, представляющий собой кокосовое волокно («Солнце Сад», Шри-Ланка). Выбор субстрата объясняется практически полным отсутствием микро- и макроэлементов, что позволяет оценивать эффективность вносимых добавок независимо от изначального содержания в нем минеральных веществ.

Опыт включал в себя 12 вариантов — по 2 на каждый вид исследуемой культуры. Семена (14 г) высаживали в пластиковые лотки. Для каждого варианта делали подкормки комплексным водорастворимым минеральным удобрением «Fertica люкс» (Yara Suomi Oy, Финляндия). Количественный состав удобрения представлен в таблице 1.

В качестве контроля служили варианты с полным (100%) разведением минерального удобрения согласно рекомендациям производителя (2 г/л).

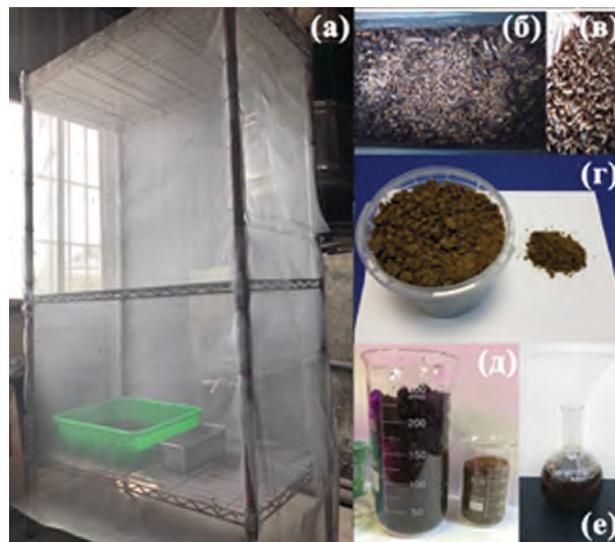
Для варианта с использованием зоогуруса (экскременты насекомых) использовалось то же комплексное удобрение, но в 25%-ной концентрации его разведения от рекомендуемой дозы (0,5 г/л) и с добавлением 1%-ного экстракта гермикомпоста *H. illucens*. Личинки *H. illucens* разводили на базе лабораторного инсектария ВНИИ пищевых добавок (г. Санкт-Петербург) (рис. 1).

Жидкую фракцию зоогуруса получали путем щелочной экстракции высушенных и просеянных экскрементов личинок *H. illucens* 0,1 н NaOH с поведением кислотности суспензии до нейтральной реакции потенциометрическим методом<sup>6, 7</sup> на приборе ИПЛ 103-1 («Семико», Россия).

Таблица 1. Количественный состав минерального удобрения «Fertica люкс» по данным производителя  
Table 1. Quantitative composition of «Fertica Lux» mineral fertilizer according to the manufacturer

Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, %
Азот общ.	16,0	Железо	0,1	Марганец	0,1
Фосфор	20,6	Бор	0,02	Молибден	0,002
Калий	27,1	Медь	0,01	Цинк	0,01

Рис. 1. Процесс подготовки жидкой фракции гермикомпоста *H. illucens* для исследования: а — виварий для разведения насекомых; б–в — личинки мухи; г–д — высушенный зоогурус (экскременты насекомых); е — жидкий экстракт зоогуруса. Фото авторов  
Fig. 1. The process of preparing the liquid fraction of *H. illucens* germicompost for research: a — vivarium for breeding insects; b–c — fly larvae; d–e — dried zoohumus (insect excrement); f — liquid extract of zoohumus. Photo by the authors



<sup>6</sup> Комиссаренков А.А., Пругло Г.Ф., Фёдоров В.А. Потенциометрия: учебно-методическое пособие. СПб ГТУРП. Санкт-Петербург. 2013; 64.

<sup>7</sup> Потенциометрическое титрование: методические указания к лабораторным работам «Определение pH и щелочности природной воды методом потенциометрического титрования», «Определение фосфатов методом потенциометрического титрования». Министерство образования и науки Российской Федерации, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет; сост. О.А. Кузнециков. Волгоград: ВолГАСУ. 2015; 24.

Состав жидкого экстракта зоогумуса измеряли в лаборатории ВНИИ пищевых добавок Университета Арканзаса с помощью метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) на приборе на ICPЕ-9000 (Shimadzu, Япония) согласно ГОСТ Р 57165-2016<sup>8</sup>. Минеральный состав жидкой фракции представлен в таблице 2.

Срок вегетации для получения микрозелени во всех вариантах составил 20 суток. По окончании опыта сырую биомассу срезали, взвешивали на аналитических весах PA 214С (Ohaus, США), затем сушили до воздушно-сухого состояния и измельчали на лабораторной мельнице ЛЗМ-1 («Олис», Россия) до состояния порошка для проведения элементного анализа. Согласно списку приоритетных компонентов пищевых добавок [16] Са, К, Mg, Zn и Fe классифицируются как эссенциальные элементы с наивысшим приоритетом. Данные о количественном определении минералов (как в семенах, так и в микрозелени многолетних бобовых) ограничены [13], поэтому акцент в работе делали на них.

Подготовку высушенного и размолотого образца к элементному анализу проводили традиционным способом для атомно-абсорбционной спектрометрии (AAS). Отбирали навеску биоматериала массой 0,05–0,10 г и помещали ее во фторопластовый сосуд, закрытый снаружи толстостенной металлической оболочкой. В сосуды добавляли 5,0 мл смеси концентрированной азотной кислоты (HNO<sub>3</sub>) и перекиси водорода и помещали в печь (190 °С) на 1 час. После термического разложения (влажного озоления) жидкую фазу образца сливали в мерную колбу вместимостью 100 мл и доводили до метки 2,0%-ным раствором HNO<sub>3</sub>. В полученном супернатанте анализ содержания биофильных элементов проводили с использованием модельной системы AAnalyst 200 (Perkin Elmer, США) в соответствии с инструкциями производителя.

Общее содержание фосфора (P) определяли после обработки образцов серной кислотой (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) и реакции с ванадат молибденом (MoO<sub>4</sub>V<sup>-3</sup>). Поглощение измеряли с помощью УФ-спектрофотометра (Cary 50, Varian, США) при длине волны 430 нм. Содержание макроэлементов выражали в г/кг, микроэлементов — в мг/кг сухого вещества.

Математическую обработку полученных данных проводили с помощью прикладных систем Excel 2016 (Microsoft Corp., США).

### Результаты и обсуждение / Results and discussion

На рисунке 2 визуальна представлена полученная микрозелень различных видов бобовых.

Как можно видеть, габитус и количественные характеристики растительных организмов в параллельных образцах практически не имеют отличий. Относительную разницу в разбросе значений наблюдали у отдельных побегов в виде более развитых листьев или более длинных стеблей. По внешним характеристикам растений можно сказать, что привнесение органического компонента к минеральным удобрениям способно несколько усреднять общие параметры роста и развития растений, в результате морфометрические параметры становятся более выравненными.

Результаты полученной растительной биомассы представлены на рисунке 3.

Таблица 2. Минеральный состав жидкой фракции экстракта личинок черной львинки (*Hermetia illucens*)

Table 2. Mineral composition of the liquid fraction of the black soldier fly larvae extract (*Hermetia illucens*)

Макронутриенты	мг/мл	Микронутриенты	мг/мл
Фосфор	46,97	Марганец	0,001
Калий	46,29	Цинк	0,11
Кальций	2,03	Медь	н/о
Магний	2,43	Бор	н/о

Примечание: н/о — не обнаружено.

Рис. 2. Полученные результаты по всходам растений: (а) — клевер красный; (б) — козлятник лекарственный; (в) — эспарцет виколистный; (г) — люцерна посевная; (д) — донник лекарственный; (е) — пажитник сеной

Fig. 2. The results obtained for plant seedlings: (a) — *T. rubens*; (b) — *G. officinalis*; (c) — *O. viciifolia*; (d) — *M. sativa*; (e) — *M. officinalis*; (f) — *T. foenum-graecum*

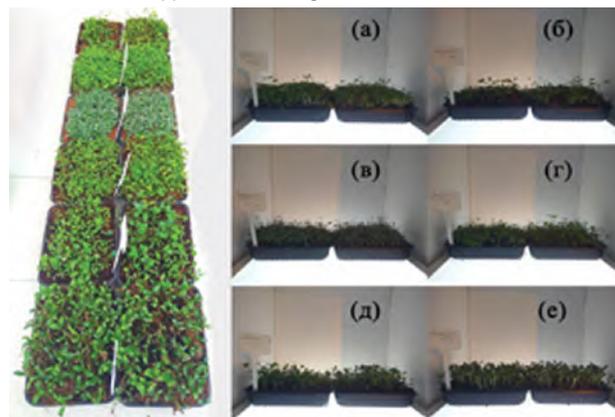
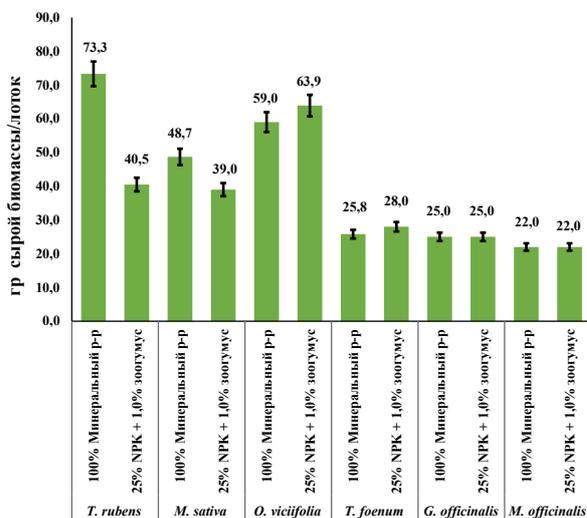


Рис. 3. Результаты измерений биомассы растительных организмов, выращенных при добавлении минеральных удобрений или гермикомпоста

Fig. 3. Results of measurements of the biomass of plant organisms grown with the addition of mineral fertilizers or hermicompost



Применение добавок гермикомпоста не уступало в результативности обычным минеральным удобрениям практически во всех опытных испытаниях. Сопоставимые результаты наблюдались для пажитника греческого, козлятника лекарственного и донника лекарственного. Внесение зоогумуса при 25%-ной дозе внесения химии для данных растений показывает сопоставимые значения выхода биомассы. Менее однозначные результаты наблюдались для люцерны посевной и клевера красного. Последний показал двукратное снижение значений в накопленной биомассе. Клевер красный

<sup>8</sup> Вода. Определение содержания элементов методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. (ISO 11885:2007. Water quality — Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES), MOD). М.: Стандартинформ. 2016; 35.

Таблица 3. Фитохимический профиль накопления питательных элементов в микрозелени бобовых,  $M \pm SE$ Table 3. Phytochemical profile of nutrient accumulation in legume microgreens,  $M \pm SE$ 

Вид (вариант)	г/кг				мг/кг		
	K	Ca	Mg	P	Fe	Zn	
<i>T. rubens</i>	100% Минеральный р-р	13,40±0,35	2,38±0,07	3,58±0,09	8,19±0,01	165,10±2,59	299,00±8,66
	25% NPK + 1,0% зоогумус	12,27±0,12	4,12±0,29	3,23±0,15	8,14±0,06	158,73±0,88	250,37±11,94
<i>M. sativa</i>	100% Минеральный р-р	14,90±0,23	6,11±0,11	3,73±0,39	8,78±0,01	178,00±5,21	273,00±9,76
	25% NPK + 1,0% зоогумус	14,95±0,14	5,26±0,06	2,81±0,08	8,59±0,10	168,71±1,86	263,06±0,56
<i>O. viciifolia</i>	100% Минеральный р-р	19,77±0,09	5,85±0,22	2,96±0,04	10,01±0,01	198,00±2,95	133,00±7,16
	25% NPK + 1,0% зоогумус	18,34±0,75	6,70±0,22	3,77±0,07	9,13±0,13	189,37±1,67	187,32±0,32
<i>T. foenum</i>	100% Минеральный р-р	10,31±0,94	3,11±0,23	3,62±0,32	9,00±0,60	144,84±9,41	132,62±3,96
	25% NPK + 1,0% зоогумус	14,00±0,17	4,61±0,67	6,79±0,23	10,40±0,01	220,06±17,19	183,91±23,07
<i>G. officinalis</i>	100% Минеральный р-р	21,83±3,14	3,92±0,59	3,33±0,22	11,82±0,82	229,50±20,03	230,37±9,57
	25% NPK + 1,0% зоогумус	30,43±0,64	4,48±0,03	4,55±0,10	12,62±0,78	269,30±10,53	275,56±8,97
<i>M. officinalis</i>	100% Минеральный р-р	23,35±2,50	2,29±0,11	4,98±0,28	11,55±0,73	189,25±4,43	125,16±4,34
	25% NPK + 1,0% зоогумус	31,64±0,75	3,21±0,15	7,21±0,69	13,02±0,12	257,50±2,08	141,53±14,03

характеризуется высокой требовательностью к химическому составу почв, в особенности к содержанию подвижных форм питательных элементов [17]. Так, недостаточное содержание азота, фосфора и калия может привести к уменьшению его биомассы. Использование добавок зоогумуса в данном случае не смогло компенсировать дефицит необходимых для развития растения химических элементов, получаемых из полной дозы минеральных удобрений. Разница между результатами у растений люцерны оказалась не столь ярко выраженной, чем внесение полной дозы минеральных удобрений, здесь тоже лучшим эффектом показали минеральные удобрения относительно комбинированных добавок с зоогумусом. Несколько лучшие результаты прироста биомассы за счет комбинированного внесения органоминеральных добавок отмечены у эспарцета викилистного. Прирост относительно контроля составил 8,3%.

Элементный анализ полученной микрозелени приведен в таблице 3. Были отмечены значительные различия ( $p < 0,05$ ) в минеральном составе между видами бобовых в образцах на ювинильной стадии онтогенеза. Во всех образцах в контроле (независимо от вида микрозелени) среди макроэлементов превалировала доля калия. Самым высоким суммарным содержанием кальция и магния среди всех видов характеризовались *M. sativa* и *O. viciifolia*, в то время как у *T. rubens* они были самыми низкими. По фосфору высокие значения отмечены у *G. officinalis* и *M. officinalis*.

Исследуемые виды бобовых значительно различались по концентрации микроэлемента железа. Среди тестируемых культур самые низкие значения были зафиксированы на контроле для *T. foenum*, самые высокие — для *G. officinalis*. Добавление зоогумуса привело в среднем к увеличению доли накопления калия (37%) и магния (56%) в микрозелени *T. foenum*, *G. officinalis* и *M. officinalis*. Поскольку поглощение данных элементов в растениях происходит с помощью одних и тех же

транспортных белков, следовательно, между ними есть синергетическая взаимосвязь.

Для данных культур отмечено увеличение концентрации железа и цинка в среднем на 35,0% и 24,0% соответственно. При этом у *T. foenum* увеличение концентрации данных двух элементов было максимальным. Эти результаты подтверждают работы, где было показано, что пажитник является растением-аккумулятором *Fe* и *Zn* с допустимыми концентрациями их накопления [18, 19]. Известно, что цинк наравне с железом является наиболее распространенным дефицитным микроэлементом в глобальных продовольственных системах, отмечающим за проявление «скрытого голода», особенно среди детей в возрасте до 5 лет и женщин детородного возраста [20, 21]. Они входят в состав нуклеиновых кислот и белков, отвечают за фотосинтетическую ассимиляцию  $CO_2$  и метаболизм фитогормонов. В настоящее время их содержание в питательных добавках вызывает наибольшую озабоченность при создании спортивных и вегетарианских диет [22].

### Выводы/Conclusion

1) Использование зоогумуса на основе экскрементов личинок черной мухи на бедном субстрате является эффективным приемом повышения биодоступности для отдельных элементов в пророщенные семена *O. viciifolia*, *T. foenum*, *G. officinalis* и *M. officinalis*, что в дальнейшем цикле их роста может проявляться в увеличении биомассы растений при выращивании в открытом грунте.

2) Наиболее отзывчивым видом на комбинированную обработку органоминеральным комплексом при 25%-ной дозе химии оказался *O. viciifolia*, притом что суммарно концентрация накопления в нем всех элементов, кроме цинка, практически не изменилась.

3) Уменьшение биомассы *T. rubens* и *M. sativa* можно связать со снижением концентрации накопления цинка (в среднем на 10,0%) и железа (в среднем на 5,0%).

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (темы FGUS 2024-0010 и FGUS 2022-0018).

### FUNDING

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (FGUS 2024-0010 and FGUS 2022-0018 topics).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чайковский А. Основные тренды обеспечения населения овощной продукцией. *Наука и инновации*. 2021; (3): 51–56. <https://www.elibrary.ru/xcxgex>
2. Пендюрин Е.А., Рыбина С.Ю., Смоленская Л.М. Использование зоокомпоста черной львинки в качестве органического удобрения. *Аграрная наука*. 2020; (7–8): 106–110. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-106-110>
3. Пендюрин Е.А., Смоленская Л.М., Василенко М.И. Использование зоокомпоста личинок мухи черная львинка (*Hermetia illucens*) при выращивании томата сорта Сливка медовая. *Аграрная наука*. 2021; (1): 147–150. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-147-150>
4. Fuhrmann A. *et al.* Residues from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae rearing influence the plant-associated soil microbiome in the short term. *Frontiers in Microbiology*. 2022; 13: 994091. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.994091>
5. Koenen E.J.M. *et al.* The Origin of the Legumes is a Complex Paleopolyploid Phylogenomic Tangle Closely Associated with the Cretaceous-Paleogene (K-Pg) Mass Extinction Event. *Systematic Biology*. 2021; 70(3): 508–526. <https://doi.org/10.1093/sysbio/syaa041>
6. Jadhvar P., Deshpande S. Recent Updates on Medicinal Potentiality of Fabaceae Family: Critical Review. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*. 2022; 13(3): 32–41. <https://doi.org/10.22376/ijpbs.2022.13.3.b32-41>
7. Ebert A.W., Chang C.-H., Yan M.-R., Yang R.-Y. Nutritional composition of mungbean and soybean sprouts compared to their adult growth stage. *Food Chemistry*. 2017; 237: 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.073>
8. Iqbal A., Khalil I.A., Ateeq N., Khan M.S. Nutritional quality of important food legumes. *Food Chemistry*. 2006; 97(2): 331–335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.011>
9. Sangronis E., Machado C.J. Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. *LWT – Food Science and Technology*. 2007; 40(1): 116–120. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.08.003>
10. Дебелый Г.А. Зернобобовые культуры в мире и Российской Федерации. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2012; (2): 31–35. <https://www.elibrary.ru/qcrlct>
11. Зотиков В.И., Сидоренко В.С., Грядунова Н.В. Развитие производства зернобобовых культур в Российской Федерации. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018; (2): 4–10. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10008>
12. Зотиков В.И., Наумкина Т.С., Сидоренко В.С. Зернобобовые культуры в экономике России. *Земледелие*. 2014; (4): 6–8. <https://www.elibrary.ru/sgoeqv>
13. Butkutė B., Taujenis L., Norkevičienė E. Small-Seeded Legumes as a Novel Food Source. Variation of Nutritional, Mineral and Phytochemical Profiles in the Chain: Raw Seeds-Sprouted Seeds-Microgreens. *Molecules*. 2019; 24(1): 133. <https://doi.org/10.3390/molecules24010133>
14. Lee K.-S., Yun E.-Y., Goo T.-W. Antimicrobial Activity of an Extract of *Hermetia illucens* Larvae Immunized with *Lactobacillus casei* against *Salmonella* Species. *Insects*. 2020; 11(10): 704. <https://doi.org/10.3390/insects11100704>
15. Choi W.-H., Yun J.-H., Chu J.-P., Chu K.-B. Antibacterial effect of extracts of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae against Gram-negative bacteria. *Entomological Research*. 2012; 42(5): 219–226. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5967.2012.00465.x>
16. Dwyer J.T. *et al.* Progress in development of an integrated dietary supplement ingredient database at the NIH Office of Dietary Supplements. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2006; 19(S): S108–S114. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.09.001>
17. Ступаков А.Г., Чернышова А.П., Куликова М.А., Болдин А.А. Особенности минерального питания клевера красного (*Trifolium pratense* L.). *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2012; (9): 69–71. <https://www.elibrary.ru/pcwdbv>
18. Mabood A., Ahmad I.Z. Effects of iron, lead and zinc on growth and metal accumulation in *Trigonella foenum-graecum* L. seedlings. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2017; 18(7–8): 500–508.
19. Mnafigui W. *et al.* *Trigonella foenum-graecum* morphophysiological and phytochemical processes controlling iron uptake and translocation. *Crop & Pasture Science*. 2022; 73(8): 957–968. <https://doi.org/10.1071/CP21419>
20. Gregory P.J. *et al.* Approaches to reduce zinc and iron deficits in food systems. *Global Food Security*. 2017; 15: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.03.003>
21. La Frano M.R., de Moura F.F., Boy E., Lönnerdal B., Burri B.J. Bioavailability of iron, zinc, and provitamin A carotenoids in biofortified staple crops. *Nutrition Reviews*. 2014; 72(5): 289–307. <https://doi.org/10.1111/nure.12108>
22. Hunt J.R. Bioavailability of iron, zinc, and other trace minerals from vegetarian diets. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2003; 78(3): 633S–639S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.3.633S>

## REFERENCES

1. Tchaikovskiy A. Main trends in providing the population with vegetable products. *Science and Innovations*. 2021; (3): 51–56 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xcxgex>
2. Pendyurin E.A., Rybina S.Yu., Smolenskaya L.M. Using the zoo compost of the Black Lioness as an organic fertilizer. *Agrarian science*. 2020; (7–8): 106–110 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-106-110>
3. Pendyurin E.A., Smolenskaya L.M., Vasilenko M.I. Use of zoo compost *Hermetia illucens* larvae when growing a tomato of the Honey Cream variety. *Agrarian science*. 2021; (1): 147–150 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-147-150>
4. Fuhrmann A. *et al.* Residues from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae rearing influence the plant-associated soil microbiome in the short term. *Frontiers in Microbiology*. 2022; 13: 994091. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.994091>
5. Koenen E.J.M. *et al.* The Origin of the Legumes is a Complex Paleopolyploid Phylogenomic Tangle Closely Associated with the Cretaceous-Paleogene (K-Pg) Mass Extinction Event. *Systematic Biology*. 2021; 70(3): 508–526. <https://doi.org/10.1093/sysbio/syaa041>
6. Jadhvar P., Deshpande S. Recent Updates on Medicinal Potentiality of Fabaceae Family: Critical Review. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*. 2022; 13(3): 32–41. <https://doi.org/10.22376/ijpbs.2022.13.3.b32-41>
7. Ebert A.W., Chang C.-H., Yan M.-R., Yang R.-Y. Nutritional composition of mungbean and soybean sprouts compared to their adult growth stage. *Food Chemistry*. 2017; 237: 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.073>
8. Iqbal A., Khalil I.A., Ateeq N., Khan M.S. Nutritional quality of important food legumes. *Food Chemistry*. 2006; 97(2): 331–335. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.011>
9. Sangronis E., Machado C.J. Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. *LWT – Food Science and Technology*. 2007; 40(1): 116–120. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.08.003>
10. Debely G.A. Leguminous crops in the world and in the Russian Federation. *Legumes and great crops*. 2012; (2): 31–35 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qcrlct>
11. Zotikov V.I., Sidorenko V.S., Gryadunova N.V. Development of production of leguminous crops in the Russian Federation. *Legumes and great crops*. 2018; (2): 4–10 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10008>
12. Zotikov V.I., Naumkina T.S., Sidorenko V.S. Role of leguminous crops in economy of Russia. *Zemledelie*. 2014; (4): 6–8 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/sgoeqv>
13. Butkutė B., Taujenis L., Norkevičienė E. Small-Seeded Legumes as a Novel Food Source. Variation of Nutritional, Mineral and Phytochemical Profiles in the Chain: Raw Seeds-Sprouted Seeds-Microgreens. *Molecules*. 2019; 24(1): 133. <https://doi.org/10.3390/molecules24010133>
14. Lee K.-S., Yun E.-Y., Goo T.-W. Antimicrobial Activity of an Extract of *Hermetia illucens* Larvae Immunized with *Lactobacillus casei* against *Salmonella* Species. *Insects*. 2020; 11(10): 704. <https://doi.org/10.3390/insects11100704>
15. Choi W.-H., Yun J.-H., Chu J.-P., Chu K.-B. Antibacterial effect of extracts of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae against Gram-negative bacteria. *Entomological Research*. 2012; 42(5): 219–226. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5967.2012.00465.x>
16. Dwyer J.T. *et al.* Progress in development of an integrated dietary supplement ingredient database at the NIH Office of Dietary Supplements. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2006; 19(S): S108–S114. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.09.001>
17. Stupakov A.G., Chernyshova A.P., Kulikova M.A., Boldin A.A. Features of a mineral food of a clover red (*Trifolium pratense* L.). *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences*. 2012; (9): 69–71 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/pcwdbv>
18. Mabood A., Ahmad I.Z. Effects of iron, lead and zinc on growth and metal accumulation in *Trigonella foenum-graecum* L. seedlings. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2017; 18(7–8): 500–508.
19. Mnafigui W. *et al.* *Trigonella foenum-graecum* morphophysiological and phytochemical processes controlling iron uptake and translocation. *Crop & Pasture Science*. 2022; 73(8): 957–968. <https://doi.org/10.1071/CP21419>
20. Gregory P.J. *et al.* Approaches to reduce zinc and iron deficits in food systems. *Global Food Security*. 2017; 15: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.03.003>
21. La Frano M.R., de Moura F.F., Boy E., Lönnerdal B., Burri B.J. Bioavailability of iron, zinc, and provitamin A carotenoids in biofortified staple crops. *Nutrition Reviews*. 2014; 72(5): 289–307. <https://doi.org/10.1111/nure.12108>
22. Hunt J.R. Bioavailability of iron, zinc, and other trace minerals from vegetarian diets. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2003; 78(3): 633S–639S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.3.633S>

## ОБ АВТОРАХ

**Ян Викторович Пухальский<sup>1</sup>**

инженер-исследователь  
 puhalskyyan@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0001-5233-3497>

**Святослав Игоревич Лоскутов<sup>1</sup>**

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный  
 сотрудник  
 lislosk@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8102-2900>

**Валерия Романовна Сидорова<sup>2</sup>**

инженер по технике безопасности  
 liatolani@mail.ru

**Алла Ивановна Якубовская<sup>3</sup>**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник  
 yakubovskaya\_alla@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0001-8434-2689>

**Денис Дмитриевич Мещеряков<sup>4</sup>**

info@ledforplant.ru  
<https://orcid.org/0009-0005-0382-8457>

**Ирина Алексеевна Каменева<sup>3</sup>**

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный  
 сотрудник  
 irina.kameneva.7@mail.ru

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок — филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Литейный пр-т, 55, Санкт-Петербург, 191014, Россия

<sup>2</sup> ООО «ПрофПриоритет», Крапивный пер., 5, Санкт-Петербург, 195277, Россия

<sup>3</sup> Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, ул. Киевская, 150, Симферополь, 295453, Россия

<sup>4</sup> ИП LedForPlant, пр-т им. газеты «Красноярский рабочий», 80, Красноярск, 660068, Россия

## ABOUT THE AUTHORS

**Jan Viktorovich Puhalsky<sup>1</sup>**

Research Engineer  
 puhalskyyan@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0001-5233-3497>

**Svyatoslav Igorevich Loskutov<sup>1</sup>**

Candidate Agricultural Sciences, Senior Researcher  
 lislosk@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8102-2900>

**Valeria Romanovna Sidorova<sup>2</sup>**

Safety Engineer  
 liatolani@mail.ru

**Alla Ivanovna Yakubovskaya<sup>3</sup>**

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher  
 yakubovskaya\_alla@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0001-8434-2689>

**Denis Dmitrievich Meshcheryakov<sup>4</sup>**

info@ledforplant.ru  
<https://orcid.org/0009-0005-0382-8457>

**Irina Alekseevna Kameneva<sup>3</sup>**

Candidate Agricultural Sciences, Leading Researcher  
 irina.kameneva.7@mail.ru

<sup>1</sup> All-Russian Research Institute of Food Additives — branch of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food System, 55 Liteiny prospect, St. Petersburg, 191014, Russia

<sup>2</sup> LLC «ProfPrioritet», 5 Krapivnyj lane, St. Petersburg, 195277, Russia

<sup>3</sup> Research Institute of Agriculture of the Crimea, 150 Kievskaya Str., Simferopol, 295453, Russia

<sup>4</sup> Individual entrepreneur LedForPlant, 80 Prospect imeni gazety "Krasnoyarskij rabochij", Krasnoyarsk, 660068, Russia