

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФРАКЦИЙ УЛЬТРАДИСПЕРСНОЙ ГУМАТО-САПРОПЕЛЕВОЙ СУСПЕНЗИИ НА РОСТ, РАЗВИТИЕ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ БАЗИЛИКА (*Ocimum basilicum* L.) В СРАВНЕНИИ С ХИМИЧЕСКИМИ УДОБРЕНИЯМИ*

С. И. Лоскутов¹, Я. В. Пухальский¹, кандидат сельскохозяйственных наук,
А. С. Митюков², доктор сельскохозяйственных наук, Н. И. Воробьев³, кандидат технических наук
Р. И. Глушаков^{4,5}, доктор медицинских наук

¹Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук, 191014, Санкт-Петербург, Литейный просп., 55
E-mail: puhalskyan@gmail.com

²Институт озероведения – обособленное структурное подразделение Санкт-Петербургского федерального исследовательского центра Российской академии наук, 196105, Санкт-Петербург, ул. Севастьянова,

³Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, 196608, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3

⁴Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова МО РФ, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6

⁵Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2, лит. В.

Исследования проводили с целью изучения влияния растворов солей гуминовых (ГК) и фульвокислот (ФК), извлеченных из ультрадисперсной гумато-сапропелевой суспензии на рост, развитие растений и содержание микроэлементов в надземной части сортов базилика, культивируемого на лекарственные цели в условиях полевой светокультуры при слабой питательной обеспеченности питательной среды. Использовали среднеспелый сорт Грин Лардж и раннеспелые сорта Эмили, Лемона и Мариан. Растения выращивали в закрытом грунте в течение 50 дней. Семена высевали в почвосмесь, состоящую (по 50 %) из вермикулита и торфянисто-глеевой почвы с содержанием органического вещества 30,4 %, $N_{\text{обн}}$ – 1,4 %, подвижных форм P_2O_5 – 88,0, K_2O – 82,0 мг/кг, $pH_{\text{КС}}$ – 5,57. Схема опыта предусматривала изучение следующих вариантов: контроль, соли ГК и ФК. В контроле использовали 1,0 н. питательный раствор Кнопа, в вариантах с солями их растворы концентрацией 0,01 % путем разового внесения под корень и опрыскивания листьев раз в неделю. По результатам морфометрического и химического анализов лучшие результаты получены на сорте Лемона, обработанные растения которого при слабой питательной обеспеченности питательной среды не отличались по высоте и биомассе от контрольных (29,75 и 29,00 мг соответственно). Эффективность фотосинтеза у обработанных растений этого сорта также снизилась несущественно, величина показателя оптического счетчика хлорофилла SPAD была равна в среднем 31,98 отн. ед. против 35,54 ед. в контроле. Это указывает на наличие сортовой специфики в реакции растений на применение такого приема. Наименьшие различия между вариантами с ГК или ФК и контролем у сорта Лемона свидетельствуют о способности обеих фракций гумусовых кислот мобилизовать микроэлементы для набора биомассы растений и изменения ее биохимического состава.

INFLUENCE OF VARIOUS FRACTIONS OF ULTRAFINE HUMATO-SAPROEL SUSPENSION ON THE GROWTH, DEVELOPMENT AND QUALITY OF BASIL (*Ocimum basilicum* L.) PRODUCTS IN COMPARISON WITH CHEMICAL FERTILIZERS

S. I. Loskutov¹, J. V. Pukhalsky¹, A. S. Mityukov², N. I. Vorobyov³, R. I. Glushakov^{4,5}

¹All-Russia Research Institute for Food Additives – a branch of the Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbatova», Russia Academy of Sciences, 191014, Sankt-Peterburg, Liteiny prosp., 55
E-mail: puhalskyan@gmail.com

²St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Limnology, 196105, Sankt-Peterburg, ul. Sevastyanova, 9

³All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, 196608 Sankt-Peterburg – Pushkin, sh. Podbelskogo, 3

⁴S.M. Kirov Military Medical Academy,

194044, Sankt-Peterburg, ul. Akademika Lebedeva, 6

⁵Saint Petersburg state pediatric medical university, 194100, Sankt-Peterburg, ul. Litovskaya, 2, lit. V

The paper presents the results of a study of the effect of various fractions of humic acids (humic and fulvic acids), extracted from ultrafine humato-sapropel suspension, on the growth and development of various varieties of basil used for medicinal purposes. The plants were grown in a closed grow box for 50 days, while maintaining a stable internal microclimate and an optimal level of insolation for the culture inside the working area. Four varieties of commercial use were chosen as objects for the study: Green Large (mid-ripening), Emily (early-ripening), Lemona (early-ripening) and Marian (early-ripening). A soil mixture consisting of 50 % vermiculite and 50 % peaty-gley soil was used as a solid substrate for sowing seeds: the total organic content was 30.4 %; $N_{\text{обн}}$ – 1.4 %; $pH_{\text{КС}}$ – 5.57; mobile forms P_2O_5 – 8.8 and K_2O – 8.2 mg/kg. Both fractions of humic acids were added as dilute solutions at a concentration of 0.01 %. The treatment of plants was carried out by alternating two methods: a single application of each fraction separately according to the options under the root, and a foliar method, when spraying the leaves once a week. In the control variant, 1.0 N water was used for irrigation during the entire growing season. Knop nutrient solution without humic acid additives. The results of morphometric and chemical analyzes showed that the Lemon variety proved to be the best candidate for further scientific research. The treated plants did not differ in height and biomass from the controls (average 29.75 mg in treatment versus 29.00 mg in control). The best organization in the diet, based on the calculation of element structural coherence indices, also resulted in a slight decrease in the efficiency of photosynthesis in this variety, which is indirectly indicated by the values of the SPAD chlorophyll optic counter (31.98 units on average during processing, against 35.54 units on the control). It is concluded that due to the introduction of organic additives, the variety spends the least amount of energy for its growth, even in a substrate depleted in elements.

Ключевые слова: базилик (*Ocimum basilicum* L.), сапропель, гуминовые кислоты, фульвокислоты, микроэлементы, хлорофилл, светокультура, индексы фрактальной когерентности.

Key words: basil (*Ocimum basilicum* L.), sapropel, humic acids, fulvic acids, trace elements, chlorophyll, light culture, fractal coherence indices.

*работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (темы FGUS 2022-0017 и FGUS 2022-0018).

Базилик (*Ocimum basilicum* L.) – однолетнее растение из семейства Яснотковых (*Lamiaceae*), или Губоцветных (*Labiatae*), произрастающее в тропических районах юго-восточной Азии и Африки, и включающее около 30 видов, сильно различающихся по морфологическим и химическим признакам. Это важная пряная культура, которая в обязательном порядке должна присутствовать в рационе здорового человека. В состав его сухой биомассы входит 4830...28770 мг/кг калия, 4600...17460 мг/кг кальция, 359...1500 мг/кг фосфора, 561...1590 мг/кг натрия.

Помимо кулинарии, базилик издавна применяют в традиционной медицине [1, 2], где более необходимо понимание особенностей аккумуляции в его зеленой биомассе эссенциальных микроэлементов. Многие болезни людей и животных, ранее считавшиеся неизлечимыми, сейчас поддаются терапии путем оптимизации баланса этих микроэлементов в живом организме [3, 4]. При этом содержание таких микроэлементов, как железо (Fe), медь (Cu), цинк (Zn), бор (B), марганец (Mn), хром (Cr) и никель (Ni) необходимо поддерживать в минимальных концентрациях, иначе из полезных они становятся токсичными. Среди особо опасных выделяют такие микроэлементы, как кадмий (Cd) и свинец (Pb), которые также могут накапливаться в растениях, при выращивании на различных субстратах.

В результате генетической модификации (редактировании генома) культурных растений, направленной на улучшение их продуктивности, возможно увеличение производства продукции в ущерб ее качественному, в том числе химическому составу. Морфологические признаки, обуславливающие возможности коммерческого использования, не всегда могут служить надежным индикатором при отборе новых сортов базилика для фармацевтической промышленности. Поэтому важно оценивать взаимосвязи между выходом биомассы и её биохимическим составом. В погоне за прибылью производители часто используют высокие дозы минеральных удобрений [5].

В рамках экологического земледелия, для частичной замены химических веществ, рекомендуется использование органических соединений, например, гуминовых (ГК) и фульвокислот (ФК), как наиболее распространенных биологически активных компонентов природных экосистем. Действуя как специфические сенсibiliзирующие агенты, они снижают кислотность среды и, способствуя увеличению проницаемости плазматических мембран, улучшают хелатирование биофильных макро- и микроэлементов из субстрата [7, 8]. Фракция ФК отличается более высокой общей кислотностью, адсорбционной и катионообменной способностью, а также числом карбоксильных групп, чем ГК. Вследствие меньших молекулярных размеров и атомной массы (всего несколько сотен Дальтон, в сравнении с несколькими тысячами у ГК), они способны лучше проникать сквозь микропоры биологических клеточных мембран (плазмолеммы) в растения без вторичных посредников. Кроме стимуляции роста, ФК обладают высокой антиоксидантной активностью, что позволяет использовать их в качестве природных биологически активных добавок для защиты растений от различных абиотических стрессов. ГК выступают больше как активаторы и стабилизирующие компоненты, но также могут служить источником питательных элементов для растений. При грамотном подходе к использованию обе фракции гумусовых кислот могут стать источником элементов питания для растений вместо химических удобрений.

Выделяют такие кислоты из почв, торфов, ископаемых углей и древесины. При этом соли ГК и ФК, экстрагированные из сапропеля – донных отложений пресноводных водоемов, представляющих собой многокомпонентные полидисперсные системы из остатков планктонных и бентосных организмов, еще не получили широкого распространения.

Цель исследования – оценить влияние растворов солей ГК и ФК, извлеченных из ультрадисперсной гумато-сапропелевой суспензии, на изменение физиологического состояния, продукционного процесса, а также степень консолидации микроэлементов в надземной части растений сортов базилика, культивируемого в условиях полной светокультуры при слабой нутриентной обеспеченности питательной среды.

Методика. Объектами для исследования служили четыре сорта базилика: Грин Лардж (среднеспелый), Эмили (раннеспелый), Лемона (раннеспелый) и Мариан (раннеспелый).

Эксперимент проводили осенью 2022 г. на базе ВНИИ пищевых добавок – филиала Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова (г. Санкт-Петербург). Растения культивировали в закрытом грубоксе (1,5 м × 1,5 м × 1,5 м) при полной светокультуре в течение 50 дней. Температуру внутри рабочей зоны днем поддерживали на уровне 20 °С, ночью – 16 °С, относительную влажность воздуха –

Табл. 1. Состав различных фракций гумусовых кислот, выделенных из сапропеля

Наименование	Гуминовые кислоты	Фульвокислоты
Минеральный элемент, мг/кг		
Al	3,5	1,8
Ca	11,1	13,9
K	1,7	4,5
Mg	5,6	5,5
Na	15,5	6,2
Sr	0,2	не обнаружено
Mn	0,6	0,4
P	1,9	2,0
Si	0,5	0,5
B	не обнаружено	4,7
Zn	0,1	0,2
Cu	не обнаружено	0,1
Ba	0,1	0,1
Fe	7,4	7,8
Органическая кислота, мг/л		
Фумаровая	0,22	0,00
Уксусная	14,70	31,40
Щавелевая	0,84	0,00
Винная	0,30	0,00
Лимонная	1,12	0,00
Янтарная	2,22	0,20
Галловая	0,01	0,00
Яблочная	1,29	0,00
Адипиновая	0,06	0,00
Аминокислота, мкг/л		
Метонин	0,27	0,60
Валин	16,28	3,14
Гистидин	4,15	0,50
Глицин	0,42	1,00
Глутаминовая	10,39	4,82
Серин	7,27	18,54
Лейцин	9,67	0,52
Изолейцин	7,00	0,10
Аспарагин	4,27	0,27
Аланин	0,39	1,00
Триптофан	0,14	0,01
Треонин	7,00	0,44
Лизин	17,00	0,16
Аргинин	15,00	10,00
Тирозин	0,08	0,00
Пролин	0,32	0,10
Цистеин	0,09	0,01
Фенилаланин	0,21	0,01

Табл. 2. Влияние растворов гумусовых кислот, на показатели роста, продуктивности и фотосинтетической активности листьев растений базилика

Показатель	Контроль	ГК	ФК	Контроль	ГК	ФК
Грин Лардж						
Сырая биомасса побега, мг	276,00±3,64	237,50±3,87	242,50±4,21	318,50±3,56	260,00±3,64	202,40±4,21
Сухая биомасса побега, мг	59,00±0,70	42,50±0,65	44,00±0,22	69,60±0,60	45,00±0,32	40,40±0,53
Длина побега, см	28,40±2,00	24,40±1,30	23,60±1,90	21,30±2,70	17,40±1,70	19,60±1,40
Показания SPAD, ед	32,55±0,55	26,08±0,22	26,99±1,01	38,00±0,82	24,67±0,62	28,54±0,55
Эмили						
Сырая биомасса побега, мг	106,75±3,66	110,00±2,92	104,75±4,16	311,00±2,85	242,50±4,24	260,00±3,64
Сухая биомасса побега, мг	29,00±0,41	32,00±0,52	27,50±0,50	68,60±0,76	48,00±0,62	45,00±0,32
Длина побега, см	31,30±0,50	30,50±1,00	28,40±1,20	35,60±1,10	26,80±1,10	28,00±1,30
Показания SPAD, ед	35,54±0,26	30,86±0,24	33,09±0,21	35,20±0,22	33,24±0,24	24,65±0,55
Лемона						
Сырая биомасса побега, мг	106,75±3,66	110,00±2,92	104,75±4,16	311,00±2,85	242,50±4,24	260,00±3,64
Сухая биомасса побега, мг	29,00±0,41	32,00±0,52	27,50±0,50	68,60±0,76	48,00±0,62	45,00±0,32
Длина побега, см	31,30±0,50	30,50±1,00	28,40±1,20	35,60±1,10	26,80±1,10	28,00±1,30
Показания SPAD, ед	35,54±0,26	30,86±0,24	33,09±0,21	35,20±0,22	33,24±0,24	24,65±0,55

65...70 %. Режимы освещения для базилика подобраны на основании литературных источников [9, 10, 11] – 36800 Лк (551,7 ммоль/м²/с), 16ч/8ч (день/ночь). Источником освещения служила LED-панель белого света с возможностью диммирования Zeus Pro 600W (Lumatek, Великобритания) [12, 13, 14].

Схема эксперимента предусматривала изучение следующих вариантов: контроль, соли ГК и ФК. Повторность опыта четырехкратная. В контроле использовали 1,0 н. питательный раствор Кнопа, в вариантах с солями их растворы концентрацией 0,01 % путем разового внесения под корень и опрыскивания листьев 1 раз в неделю.

Семена высаживали по 2 шт. в пластиковые сосуды, заполненные питательным субстратом, объемом 2 л с дренажными отверстиями в днище. В качестве субстрата со слабой нутриентной обеспеченностью использовали почвенную смесь, на 50 % состоящую из бедной торфянисто-глеевой маломощной почвы со средней степенью разложения верхового торфа 25 % и зольностью 11,5 % (среднее содержание органического вещества – 30,4 %; N_{общ} – 1,4 %; рН_{KCl} – 5,57; подвижные формы P₂O₅ (по Кирсанову) – 88,0, обменные K₂O (по Масловой) – 82,0 мг/кг). Вторая половина почвосмеси состояла из нейтрального вермикулита (фракция 2...4 мм). Почвогрунт с высоким содержанием торфа был выбран, исходя из рекомендаций по выращиванию базилика [15].

Исходную ультрадисперсную гумато-сапропелевую суспензию (УДГСС) с измельчением до размеров частиц 86...89 нм получали путем ультразвуковой кавитации сухой сапропелевой массы из озер Псковской области (д. Ермолино). Соли ГК получали путем дальнейшей щелочной экстракции суспензии водным раствором, содержащим гидроксид калия и пиррофосфат калия [16]. Затем 0,1 н. раствором серной кислоты производили осаждение ФК. Композиционный состав элементного пула и низкомолекулярных органических соединений в обеих фракциях (табл. 1) определяли методами масс-спектрометрии высокого разрешения (ICP-MS) и жидкостной хроматографии (HPLC) с использованием приборов AT 7500 (Agilent Technologies, США) и ACQUITY (Waters, США).

В течение всего эксперимента вели учет динамики роста побегов. По окончании опыта в зеленых листьях измеряли содержание хлорофилла с использованием портативного оптического датчика SPAD 502 Plus (Minolta Camera Co, Ltd, Япония). Затем зеленую биомассу срезази, взвешивали, сушили, измельчали до состояния порошка, снова взвешивали, и проводили мокрое озоление с использованием азотной кислоты, для последующего элементного анализа методом оптической эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES) на приборе 5900 (Agilent Technologies, США) [17].

Статистическую обработку данных осуществляли согласно общепринятым методикам [18, 19].

Оценку результатов анализа выявила отсутствие значимых различий в суммарном накоплении элементов в надземной части между вариантами опыта (табл. 3).

мальности распределения параметров количественных переменных осуществляли с использованием критерия Шапиро-Уилка. Для оценки корреляционных расстояний и группировки данных между сорто-вариантами в опыте использовали кластерный анализ с построением тепловой карты.

Индексы биосистемной детерминированности микроэлементов (IndVcom) рассчитывали с использованием оригинальной авторской программы для ЭВМ (Свидетельство № 2022662510), основанной на методике фрактальной оценки триплетных рядов чисел, соотносящихся между собой по логарифмическому закону. Чем выше значения IndVcom, тем полноценнее и в полном объеме проходят процессы использования элементов в режиме питания растений.

Результаты и обсуждение. При слабом уровне питания у всех сортов, за исключением сорта Лемона, отмечали достоверное снижение биомассы сухого вещества в среднем на 33 %, по сравнению с контролем (табл. 2). Одновременно происходило уменьшение эффективности фотосинтеза, показатели счетчика хлорофилла демонстрировали сокращение фотохимических процессов в среднем на 6,80 отн. ед., или 19 %, по сравнению с контролем.

У сорта Лемона различий по биомассе, по сравнению с контролем, не наблюдали. В варианте с добавлением ГК она была даже немного (на 3,25 г) выше. Отмечены также минимальные в опыте различия между вариантами с ГК и ФК по фотосинтетической деятельности. Высота растений сорта Лемона, в вариантах с обработкой разными фракциями гумусовых кислот была меньше, чем в контроле, в среднем только на 6 %, тогда как у остальных сортов она снижалась на 8...25 % (рис. 1).

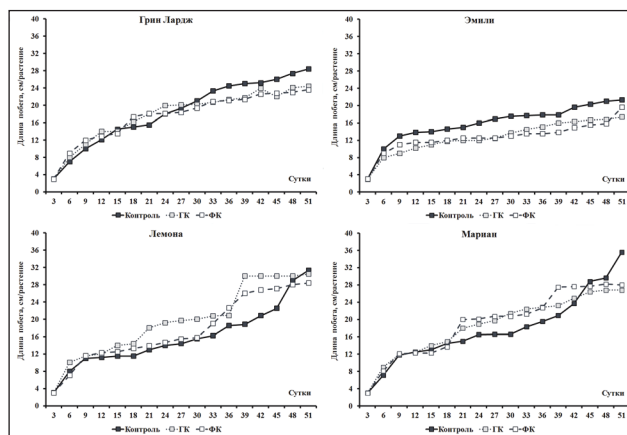


Рис. 1. Динамика роста растений сортов базилика в зависимости от обработки растворами гумусовых кислот.

Оценка результатов анализа выявила отсутствие значимых различий в суммарном накоплении элементов в надземной части между вариантами опыта (табл. 3).

Табл. 3. Элементный состав побегов базилика, в зависимости от обработки растворами гумусовых кислот, мг/кг

Микроэлемент	Контроль	ГК	ФК	Контроль	ГК	ФК	
		Грин Лардж			Эмили		
Fe	320,63±91,52	175,10±12,61	274,68±29,54	367,35±81,72	243,33±12,13	147,15±27,04	
Mn	170,85±23,84	162,10±36,15	73,53±4,52	86,68±3,34	92,15±6,60	128,88±15,02	
Cu	22,50±1,14	21,02±2,54	18,84±0,94	22,7±2,62	15,37±1,79	18,01±2,20	
Zn	58,71±4,34	52,71±4,97	49,24±1,99	56,27±8,60	36,13±1,80	123,85±8,85	
B	24,71±1,07	24,58±2,31	29,52±6,40	23,8±1,56	22,14±1,52	30,56±0,56	
Cd	0,24±0,04	0,17±0,02	0,35±0,03	0,17±0,03	0,16±0,02	0,21±0,03	
Co	3,39±0,60	2,52±0,54	2,15±0,08	2,10±0,09	2,15±0,12	2,8±0,21	
Cr	4,51±1,30	3,13±0,06	3,23±0,04	2,71±0,82	4,73±0,50	4,55±0,29	
Ni	7,36±3,59	2,50±0,58	1,61±0,07	2,41±0,33	2,71±0,19	3,44±0,25	
Pb	1,21±0,54	0,49±0,07	0,75±0,04	0,30±0,08	0,73±0,54	0,68±0,18	
Mo	6,08±1,72	4,18±1,42	6,12±1,10	7,38±1,05	7,65±1,04	7,49±1,06	
		Лемона			Марриан		
Fe	648,44±58,33	636,45±87,27	680,00±26,33	429,29±46,16	275,23±4,16	271,19±18,77	
Mn	99,00±10,85	113,55±4,93	87,63±3,40	105,86±11,54	58,76±16,74	74,07±14,58	
Cu	17,77±0,77	17,77±2,12	17,41±1,91	21,18±3,23	15,49±1,01	21,88±1,76	
Zn	56,12±5,45	71,06±0,83	54,68±2,29	81,86±4,86	47,71±4,05	65,71±13,60	
B	26,08±2,68	31,12±1,56	31,07±1,00	37,15±4,22	19,95±0,42	29,51±2,43	
Cd	0,21±0,05	0,26±0,07	0,24±0,01	0,15±0,03	0,23±0,06	0,22±0,02	
Co	2,13±0,27	2,43±0,11	2,58±0,09	2,01±0,24	1,74±0,17	2,45±0,15	
Cr	3,80±0,39	3,09±0,03	3,26±0,11	3,66±0,49	4,59±0,40	2,59±0,21	
Ni	1,97±0,42	2,50±0,19	2,68±0,16	3,00±0,70	1,59±0,08	2,49±0,16	
Pb	0,89±0,11	1,04±0,07	0,73±0,03	0,39±0,08	0,72±0,07	0,13±0,05	
Mo	3,94±1,30	3,30±0,84	4,20±0,66	2,43±0,21	2,85±0,77	3,03±0,30	

Обработка растений сорта Лемона растворами гумусовых кислот обеих фракций способствовала мобилизации и усилению транспорта питательных веществ из обедненного питательно субстрата, что выражается в примерно одинаковом содержании элементов в растениях контрольного и обработанных ГК и ФК вариантов. Вероятнее всего и сами кислоты выступали в качестве вспомогательного нутриентного источника для дополнительного поступления в надземную биомассу микроэлементов. Более эффективное поглощение питательных веществ растениями этого сорта при использовании ГК и ФК характеризует его как олиготрофа. По остальным сортам отмечали более низкую суммарную аккумуляцию микроэлементов в вариантах с обработкой растений растворами гумусовых кислот. Этим объясняется и более низкая их урожайность.

Отдельно следует выделить низкую концентрацию Fe в биомассе побегов (рис. 2). Железо вовлечено в образование антиоксидантных ферментов, участвующих в процессе дыхания, в частности каталазы и пероксидазы [20]. Кроме того, оно играет важную роль в синтезе и поддержании высокого уровня хлорофилла в листовом аппарате. Снижение его концентрации в хлоропластах сопряжено с уменьшением эффективности фотосинтеза у изученных сортов, на что косвенно указывают показания датчика SPAD.

Помимо Fe, в работе фотосинтетического аппарата принимает участие Mn. Он отвечает за образование порфириногена – пиррола, вовлечённого в дальнейшем в метаболизм предшественника хлорофилла – протопорфирина. Также он активизирует такие ферменты как дегидрогеназа и карбоксилаза, играющие непосредственную роль в процессах предотвращения преждевременного разрушения зеленого пигмента на свету. Кроме того, Mn выступает важнейшим компонентом, участвующим в фотоокислении воды (реакция Хилла) [21]. Достоверное увеличение концентрации этого элемента отмечено при обработке ФК у сорта Эмили (в 1,5 раза) и при обработке ГК у сорта Лемона (в 1,2 раза), по отношению к контролю. В этих же вариантах у указанных сортов отмечено увеличение концентрации Zn (соответственно в 2,2 и 1,3 раза, по отношению к контролю), микроэлемент необходим для синтеза аминокислоты триптофана, которая затем превращается в фитогормон-ауксин, индуцирующий

рост растений. Похожие выводы были сформулированы в других работах [22, 23].

Из прочих особенностей, можно отметить, что у сорта Грин Лардж обработка гуминовыми кислотами существенно понизила концентрацию Ni в побегах, по сравнению с контрольными растениями, что может иметь положительное значение в условиях загрязнения среды этим элементом.

Содержание тяжелых металлов Cd и Pb в зеленой массе растений не превышало норм, регламентированных Санитарными правилами и нормами (СанПин), а также Государственной фармакопеей Российской Федерации (ГФ РФ) XIV издания.

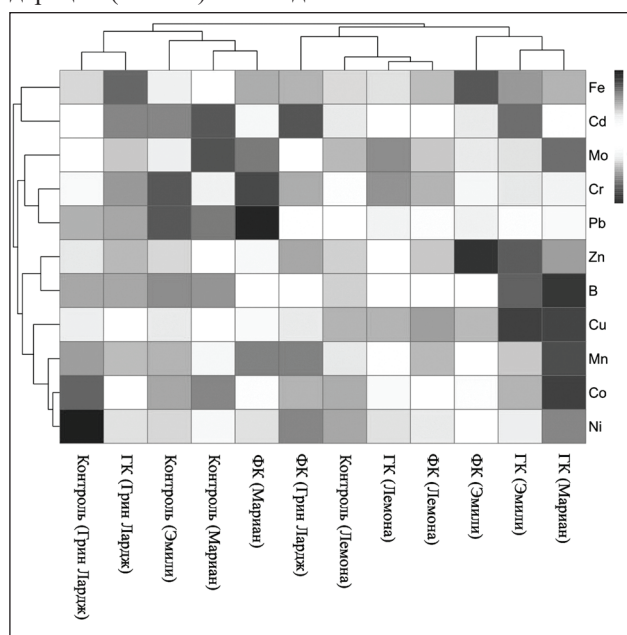


Рис. 2. Тепловая карта изменения уровня содержания микроэлементов в надземной части растений базилика под влиянием растворов фракций гумусовых кислот (темный цвет указывает на более высокую концентрацию каждого компонента).

У растений большинства сортов, обработанных растворами солей гумусовых кислот, отмечена тенденция

к повышению IndVcom в процессе питания (табл. 4), что свидетельствует о большей степени поступления и накопления биофильных элементов в надземной биомассе. Исключение составляет сорт Лемона, у которого величина этого показателя была практически одинаковой во всех вариантах.

Табл. 4. Показатель суммарного накопления (индекс биокомпозиции) микроэлементов в надземной биомассе растений сортов базилика при обработке гумусовыми кислотами

Сорт	Вариант	IndVcom
Грин Лардж	контроль	0,693
	ГК	0,732
	ФК	0,645
Эмили	контроль	0,658
	ГК	0,691
	ФК	0,776
Лемона	контроль	0,606
	ГК	0,608
	ФК	0,610
Мариан	контроль	0,665
	ГК	0,640
	ФК	0,685

Выводы. Использование различных фракций гумусовых кислот в условиях субстратов со слабой питательной обеспеченностью лучше всего проявилось на сорте базилика Лемона, что указывает на наличие сортовой специфики в реакции растений на применение такого приема. Наименьшие различия между вариантами с ГК или ФК и контролем у этого сорта свидетельствуют о способности обеих фракций гумусовых кислот мобилизовать микроэлементы для набора биомассы растений и изменения ее биохимического состава.

При выращивании базилика для последующей переработки на лекарственное сырье на бедных почвах оценку стимулирующего действия растворов солей ГК и ФК необходимо акцентировать на обогащении растений железом, марганцем и цинком.

Литература

1. *A Comprehensive review on chemical profile and pharmacological activities of Ocimum basilicum* / K. Dhama, K. Sharun, M. B. Gugjoo, et al. // *Food Reviews International*. 2021. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/87559129.2021.1900230?scroll=top&needAccess=true&role=tab> (дата обращения: 05.12.2022). doi: 10.1080/87559129.2021.1900230.
2. *A comprehensive review on Ocimum basilicum* / B. Purushothaman, R. Prasanna Srinivasan, P. Suganthi, et al. // *Journal of Natural Remedies*. 2018. Vol. 18. No. 3. P. 71–85. doi: 10.18311/jnr/2018/21324.
3. *The potential effects of Ocimum basilicum on health: a review of pharmacological and toxicological studies* / P. Sestili, T. Ismail, C. Calabrini, et al. // *Expert Opinion on Drug Metabolism & Toxicology*. 2018. Vol. 14. No. 7. P. 679–692. doi: 10.1080/17425255.2018.1484450.
4. *Shahrajabian M. H., Sun W., Cheng Q. Chemical components and pharmacological benefits of Basil (Ocimum Basilicum): a review* // *International Journal of Food Properties*. 2020. Vol. 23. No. 1. P. 1961–1970. doi: 10.1080/10942912.2020.1828456.
5. *Thakur A., Rawat A. K. Thakur T. Economic analysis of plant nutrient sources on sweet basil (Ocimum basilicum)* // *Economic affairs*. 2014. Vol. 59. Special Issue. P. 837–841.
6. *Sweet basil can be grown hydroponically at low phosphorus and high sodium chloride concentration: Effect on plant and nutrient solution management* / R. P. Germano,

7. *S. Melito, S. Cacini, et al. // Scientia Horticulturae*. 2022. Vol. 304. No. 15. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423822004459?via%3Dihub> (дата обращения: 05.12.2022). doi: 10.1016/j.scienta.2022.111324.
7. *Physiological effects of humic substances on higher plants* / S. Nardi, D. Pizzeghello, A. Muscolo, et al. // *Soil Biology and Biochemistry*. 2002. Vol. 34. No. 11. P. 1527–1536. doi: 10.1016/s0038-0717(02)00174-8.
8. *El-Ziat R. A., Swaefy H. M., Esmail S. E. A. The response of red rubin basil plant to organic fertilizer and humic acid versus chemical fertilizers* // *Middle East Journal of Agriculture Research*. 2018. Vol. 7. No. 3. P. 740–751.
9. *Стеценко Л. А., Пашковский П. П. Изменение содержания пигментов в базилике при освещении растений светодиодными лампами* // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2018. Т. 21. № 12. С. 50–53.
10. *Response of basil growth and morphology to light intensity and spectrum in a vertical farm* / D. H. Larsen, E. J. Woltering, C. C. S. Nicole, et al. // *Frontiers in Plant Science*. 2020. No. 11. doi: 10.3389/fpls.2020.597906.
11. *Effect of light intensity on the growth and antioxidant activity of sweet basil and lettuce* / R. Sutuliene, K. Laužikė, T. Pukas, et al. // *Plants*. 2022. Vol. 11. No. 13. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/13/1709> (дата обращения: 05.12.2022). doi: 10.3390/plants11131709.
12. *Growth and metabolism of basil grown in a new-concept microcosm under different lighting conditions* / L. d'Aquino, B. Lanza, E. Gambale, et al. // *Scientia Horticulturae*. 2022. Vol. 299. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423822001601> (дата обращения: 05.12.2022). doi: 10.1016/j.scienta.2022.111035.
13. *Optimization of basil (Ocimum basilicum L.) production in LED light environments – a review* / L. Sipos, L. Balazs, G. Szekely, et al. // *Scientia Horticulturae*. 2021. № 289. P. 110486. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423821005938> (дата обращения: 05.12.2022). doi: 10.1016/j.scienta.2021.110486.
14. *Growth and nutrient utilization in basil plant as affected by applied nutrient quantity in nutrient solution and light spectrum* / X. Ren, N. Lu, W. Xu, et al. // *Biology*. 2022. Vol. 11. No. 7. P. 991. URL: <https://www.mdpi.com/2079-7737/11/7/991> (дата обращения: 05.12.2022). doi: 10.3390/biology11070991.
15. *Технологические приемы выращивания рассады зеленых овощных культур в условиях защищенного грунта* / И. Д. Еськов, Ю. К. Земскова, Е. В. Лялина и др. // *Аграрный научный журнал*. 2020. № 10. С. 19–23.
16. *Пансю М., Готеру Ж. Анализ почвы. Справочник. Минералогические, органические и неорганические методы анализа. СПб.: Профессия, 2014. 800 с.*
17. *Validated fast procedure for trace element determination in basil powder* / M. E. Ghanjaoui, M. L. Cervera, M. E. Rhazi, et al. // *Food Chemistry*. 2011. Vol. 125. No. 4. P. 1309–1313. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.09.091.
18. *R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2018. URL: https://www.R-project.org* (дата обращения: 01.08.2020).
19. *Weinberg S., Harel D., Abramowitz S. Statistics Using R: An Integrative Approach. Cambridge: Cambridge University Press, 2020. 692 p. doi: 10.1017/9781108755351.*
20. *Бытлюцкий Н. П. Микроэлементы высушенных растений. 2-е изд. СПб.: СПбГУ, 2020. 368 с.*
21. *Khater R. M., Abd-Allah W. H. A. Effect of some trace elements on growth, yield, and chemical constituents*

- of Ocimum basilicum plants // European Journal Of Development Research. 2017. Vol. 1. No. 67. P. 1–23. URL: https://ejdr.journals.ekb.eg/article_5842.html (дата обращения: 05.12.2022). doi: 10.21608/ejdr.2017.5842.*
22. Regina A., Glory J. R., Tulin A. B. Micronutrients biofortification (Zn, Fe, Cu, and Mn) improves the growth, yield, and chlorophyll contents of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) grown on a near neutral soil // *Science and Humanities Journal. 2021. Vol. 15. P. 70–86. doi: 10.47773/shj.1998.151.5.*
23. Production of basil (*Ocimum basilicum* L.) under different soilless cultures / E. S. Khater, A. Bahnasawy, W. Abass, et al. // *Scientific Reports. 2021. Vol. 11. No. 1. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-91986-7> (дата обращения: 05.12.2022). doi: 10.1038/s41598-021-91986-7.*

Поступила в редакцию 25.12.2022

После доработки 18.03.2023

Принята к публикации 13.06.2023