УДК [631.8:635]:58

**Влияние минеральных удобрений на вариабельность
фитохимических веществ в капусте кейл***Антех Д.Д., Мостякова А.А., Калимуллин М.И., Тимофеева О.А.**Казанский федеральный университет***Аннотация**

*Изучено влияние пяти минеральных питательных веществ на изменчивость содержания биохимических соединений, таких как флавоноиды, фенольные соединения, витамин С, каротиноиды, и антиоксидантную активность капусты кейл (*Brassica Oleracea* var. *sabellica*), собранной на стадии пищевой зрелости. Полученные результаты показали, что использование минеральных удобрений изменило содержание фитохимического состава капусты кейл. Различные используемые минеральные питательные вещества по-разному влияли на содержание изучаемых фитохимических веществ. Содержание флавоноидов и каротиноидов не уменьшалось ни при одном из различных используемых минеральных питательных веществ. Вопреки недавним исследованиям, предполагающим, что редкоземельные элементы являются хорошими стимуляторами накопления вторичных метаболитов, наши результаты показали снижение содержания фенольных соединений в растениях, удобренных неодимом. Общая антиоксидантная активность повышалась под влиянием NPK и гумата, что коррелировало с наибольшим содержанием растворимых фенольных соединений и флавоноидов в листьях капусты кейл. Низкие дозы N положительно влияют на эти показатели. Минеральные добавки микроэлементов также оказывали стимулирующее действие на накопление исследуемых веществ. Однако, помимо микроэлементов, значительную роль играет наличие гуминовых кислот (в гумате), которые вместе с микроэлементами оказывают максимальное стимулирующее влияние на содержание исследуемых веществ.*

Ключевые слова: МИНЕРАЛЬНЫЕ УДОБРЕНИЯ, АНТИОКСИДАНТНЫЕ ФИТОХИМИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА, ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, КАРОТИНОИД, АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ, ВИТАМИН С, ФЛАВОНОИДЫ, ОВОЩИ BRASSICA

Введение

В последние годы одной из наиболее важных сельскохозяйственных культур, которая широко известна своей пользой для здоровья, особенно для лечения или снижения риска развития рака, диабета и сердечных заболеваний, является капуста кейл (*Brassica Oleracea var. sabellica*). Это свойство капусты обусловлено высоким содержанием полезных для здоровья биодоступных фитохимических веществ, таких как флавоноиды, витамин С, фенольные соединения, каротиноиды, а также ее антиоксидантной активностью. Эти фитохимические вещества, продуцируемые вторичным метаболическим путем, являются противовоспалительными, антигепатотоксическими, эффективными антиоксидантами, антиаллергенными и т. д. Их роль заключается в защите растений от патогенных микроорганизмов и неблагоприятного воздействия окружающей среды [1, 2]. Хотя люди эволюционировали с эндогенными антиоксидантными системами для поглощения свободных радикалов, неэффективность этих защитных систем увеличила нашу зависимость от пищевых антиоксидантов, чтобы уменьшить кумулятивные эффекты окислительного повреждения.

Флавоноиды идентифицируются как антиоксиданты, поскольку они поглощают и подавляют образование активных форм кислорода путем ингибирования ферментов или хелатирования микроэлементов, участвующих в производстве свободных радикалов. Наше исследование сосредоточено на преобладающем флавоноиде кверцетине, содержащемся в овощах [3, 4].

Фенольные соединения играют важную роль в цепи переноса электронов при дыхании и фотосинтезе, защищая клетки от неблагоприятных воздействий. Каротиноиды и витамин С известны как защитные диетические антиоксиданты [5, 6].

Темно-зеленая листовая капуста кейл (*Brassica Oleracea var. Sabellica*), предмет изучения, – это представитель семейства крестоцветных, в которое также входят брокколи, цветная и брюссельская капуста. Овощи Brassicaceae среди многих разновидностей овощей получили наибольшее внимание из-за их уникального состава и благотворно влияют на здоровье человека при регулярном потреблении [7]. На полезные для здоровья фитохимические вещества, содержащиеся в капусте кейл, влияют как абиотические, так и биотические факторы [8]. В данной статье мы приводим результаты влияния минеральных питательных веществ, таких как NPK, биостим, энерген, гумат и

неодим, на содержание фитохимических веществ в кейл (*Brassica Oleracea* var. *sabellica*). Тема изменчивости содержания фитохимических веществ в *Brassica Oleracea* var. *sabellica* в зависимости от типа применяемого минерального удобрения актуальна, и полученные научные данные будут точно направлять конструктивное манипулирование абиотическими факторами для получения желаемых результатов.

Методы

Рассаду капусты перенесли из лаборатории для посева на поля в июле 2019 года, предварительно обработав семена в чашке Петри в течение 7 дней. В каждую новую попытку эксперимента вносили различные минеральные питательные вещества: биостим (смесь макро- и микроэлементов, 1 л/га), NPK (15:15:20, 20 кг/га), гумат (К, Na-соли гуминовых кислот и микроэлементов, 80 г/л), Nd (10-5) и энерген (К соли гуминовых кислот и микроэлементов, 80 г/л) в течение суток, после чего их обрабатывали водой в течение оставшихся суток.

Контрольный вариант содержал только воду в течение 7 дней. Было определено содержание общих флавоноидов (рис. 1), общих фенолов (рис. 2), витамина С (рис. 3), общего каротиноида (рис. 4) и антиоксидантной активности (рис. 5) в съедобных созревших листьях капусты. Фенольные соединения были определены модифицированным методом Фолина-Чокалтеу [9] на длине волны 725 Нм. Содержание фенольных соединений определяли в пересчете на галловую кислоту. Флавоноиды определяли по реакции с $AlCl_3$ колориметрическим методом [10] на длине волны 420 Нм. Антиоксидантная активность образцов определялась их способностью ингибировать аутоокисление адреналина *in vitro* и тем самым предотвращать образование активных форм кислорода [11]. Количественное определение содержания аскорбиновой кислоты в тканях проводили с использованием гексацианоферрата калия [12]. В данной работе был применен спектрофотометрический метод определения содержания пигментов [13]. Эксперименты проводились с трёхкратной повторностью.

Все данные были проанализированы в программе GraphPad Prism, версия 8.4.0. Общее межгрупповое сравнение проводили по критерию однофакторного дисперсионного анализа, а затем попарное сравнение — по критерию Тьюки с учетом статистически значимого различия при $P \leq 0,05$.

Рис. 1. Влияние минеральных удобрений на содержание флавоноидов в капусте кейл (*Brassica Oleracea* var. *sabellica*)

Примечание: Столбики погрешности обозначают 95%-ные доверительные интервалы. Для множественных попарных сравнений использовался post-hoc-тест честной значимой разницы Тьюки (HSD). Символы ns, *, **, ***, **** относятся к $p > 0,05$, $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$, $p \leq 0,001$ и $p \leq 0,0001$, соответственно.

Результаты и обсуждение

Во всем мире растет потребительский спрос на безопасные и естественные способы лечения заболеваний и минимизацию рисков для здоровья, а желание применять синтетические химические вещества значительно снижается [14]. Кейл (*Brassica Oleracea* var. *sabellica*) как нутрицевтика является очень перспективной овощной культурой и может быть использован как пищевой продукт, так и в терапевтических целях, благодаря своему богатому фитохимическому составу.

В наших исследованиях минеральные питательные вещества использовались для изменения состава этих биологически активных соединений. Из графика (рис. 1) видно,

что обработка семян минеральными питательными веществами в некоторой степени влияет на уровень флавоноидов. NPK, энерген, биостим и гумат увеличили содержание флавоноидов в капусте на 6,9%, 5,7%, 7,6% и 13%, соответственно. В образцах, оплодотворенных неодимом, количественное содержание флавоноидов не отличалось от контрольного образца.

Рис. 2. Влияние минеральных удобрений на содержание фенольных соединений в капусте кейл (*Brassica Oleracea* var. *sabellica*)

Примечание: Столбики погрешности обозначают 95%-ные доверительные интервалы. Для множественных попарных сравнений использовался post-hoc-тест честной значимой разницы Тьюки (HSD). Символы ns, *, **, ***, **** относятся к $p > 0,05$, $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$, $p \leq 0,001$ и $p \leq 0,0001$, соответственно.

Обработка семян минеральными питательными веществами оказывала дифференцированное влияние на содержание фенольных соединений. NPK и биостим приводили к незначительному увеличению содержания фенолов (0,2% и 2,2%, соответственно; $p > 0,05$). Неодим, энерген и гумат снижали общее содержание фенола на

4%, 8% и 11%, соответственно.

Рис. 3. Влияние минеральных удобрений на содержание витамина С в капусте кейл (*Brassica Oleracea* var. *sabellica*)

Примечание: Столбики погрешности обозначают 95%-ные доверительные интервалы. Для множественных попарных сравнений использовался post-hoc-тест честной значимой разницы Тьюки (HSD). Символы ns, *, **, ***, **** относятся к $p > 0,05$, $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$, $p \leq 0,001$ и $p \leq 0,0001$, соответственно.

Уровень содержания витамина С изменился после обработки минеральными добавками. NPK, энерген, биостим и гумат увеличили содержание витамина С в капусте на 3%, 11%, 21% и 24%, соответственно. Гумат показал наибольшее положительное влияние на содержание витамина С. В образцах, удобренных неодимом, содержание витамина С незначительно снизилось на 0,5%.

Рис. 4. Влияние минеральных удобрений на содержание каротиноидов в капусте кейл (*Brassica Oleracea* var. *sabellica*)

Примечание: Столбики погрешности обозначают 95%-ные доверительные интервалы. Для множественных попарных сравнений использовался post-hoc-тест честной значимой разницы Тьюки (HSD). Символы ns, *, **, ***, **** относятся к $p > 0,05$, $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$, $p \leq 0,001$ и $p \leq 0,0001$, соответственно.

Все минеральные питательные вещества увеличивали содержание каротиноидов в кейл: NPK, неодим, енерген, биостим и гумат увеличивали содержание каротиноидов в капусте на 59%, 101%, 128%, 66% и 14%, соответственно. У растений, удобренных енергеном, мы наблюдали наибольшее положительное влияние на содержание каротиноидов. Факторами, влияющими на биосинтез каротиноидов, являются определенные ферменты и важнейшие прекурсоры в растениях. Наличие минеральных питательных веществ, являющихся источниками кофакторов, облегчающих эти метаболические реакции, влияет на количество синтезируемых каротиноидов. Это может объяснить высокое содержание каротиноидов, измеренное во всех анализируемых

вариантах в наших исследованиях.

Рис. 5. Влияние минеральных удобрений на антиоксидантную активность в капусте кейл (*Brassica Oleracea* var. *sabellica*)

Примечание: Столбики погрешности обозначают 95%-ные доверительные интервалы. Для множественных попарных сравнений использовался post-hoc-тест честной значимой разницы Тьюки (HSD). Символы ns, *, **, ***, **** относятся к $p > 0,05$, $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$, $p \leq 0,001$ и $p \leq 0,0001$, соответственно.

В растениях, удобренных NPK и гуматом, антиоксидантная активность капусты кейл увеличилась на 5% и 20%, соответственно. А обработка семян неодимом, энергеном и биостимом привела к снижению антиоксидантной активности на 55%, 34% и 84%, соответственно. Научные исследования показывают, что, поскольку фенолы образуются по тому же пути шикимовой кислоты, что и ароматические аминокислоты, наличие азота влияет на концентрацию фенолов. Этот биохимический компромисс между синтезом фенолов и белков был замечен среди многих видов растений. Установлено, что дефицит азота повышает уровень мРНК таких ферментов, участвующих в синтезе флавоноидов,

как синтез халькона и дигидрофлавонолредуктаза. Однако исследований влияния содержания азота на общее содержание фенольных соединений мало, и они весьма противоречивы. В нечетких реакциях фенолов наблюдались изменения уровня азота [15]. Bénard и его коллеги описали тенденцию к увеличению содержания некоторых фенольных соединений при снижении уровня азота [16]. В то же время показано, что положительное влияние дефицита азота на содержание фенолов путем повышения активности фенилаланина аммиачной лиазы происходит только при длительном азотном голодании за счет угнетения первичного метаболизма. В полевых условиях дефицит азота может быть смягчен или усугублен климатическими условиями. По этим причинам результаты по влиянию азота на уровень накопления фенольных соединений могут отличаться в исследованиях разных авторов. В наших исследованиях мы наблюдали увеличение содержания флавоноидов и растворимых фенольных соединений при обработке капусты минеральным питательным веществом NPK. Существует общее мнение, что азотные удобрения снижают содержание витамина С в листовых овощах [15]. В то же время некоторые исследования капусты показали и другие результаты. В зависимости от типа наблюдалось снижение, отсутствие эффекта или даже повышение уровня витамина С при увеличении N. В случае с кейл оптимальная доза для наибольшего количества витамина С была от 0,6 до 1,2 г азота на дм^2 [15]. Содержание азота в нашем удобрении соответствовало 0,6 г/ дм^2 , что соответствует теоретическим данным. В связи с этим представляется, что наблюдалось небольшое стимулирующее влияние этой добавки на содержание витамина С. Другие минеральные добавки, содержащие различные микроэлементы, вероятно, оказывают положительное воздействие, связанное с активацией ферментов, участвующих в синтезе исследуемых соединений.

Антиоксидантная активность, которая в целом характеризует наличие широкого спектра веществ с антиоксидантной активностью, в наших исследованиях повышалась при удобрении NPK и гуматом. Это не согласуется с данными исследований Giorgi и других [17], которые описывают снижение общей антиоксидантной активности с увеличением уровня азота. В то же время описана специфичность сорта общей антиоксидантной активности, которая зависит от содержания соединений с антиоксидантной активностью. Общая антиоксидантная активность сильно коррелирует с содержанием фенольных соединений и особенно флавоноидов. Из полученных данных

=====

следует, что гумат и NPK больше всего увеличивали содержание растворимых фенольных соединений и флавоноидов.

Выводы

Различные используемые минеральные питательные вещества по-разному влияли на содержание изучаемых фитохимических веществ. Несмотря на недавние исследования о том, что редкоземельные элементы являются хорошими стимуляторами накопления вторичных метаболитов, наши результаты показали снижение содержания фенольных соединений в растениях, удобренных неодимом. Общая антиоксидантная активность повышалась под влиянием NPK и гумата. Именно эти удобрения больше всего увеличивали содержание растворимых фенольных соединений и флавоноидов. Низкие дозы азота положительно влияют на эти показатели. Минеральные добавки микроэлементов также оказывали стимулирующее действие на накопление исследуемых веществ. Однако, помимо микроэлементов, значительную роль играет наличие гуминовых кислот (в гумате), которые вместе с микроэлементами оказывают существенное стимулирующее влияние на содержание исследуемых веществ.

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости проведения дальнейших более детальных исследований для определения оптимальных условий выращивания капусты кейл (*Brassica oleracea* var. *Sabellica*) со сбалансированным фитохимическим составом.

Благодарность

Работа была выполнена в рамках программы повышения конкурентоспособности Казанского (Приволжского) федерального университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

Список использованных источников

1. Lefsrud M.G., Kopsell D.A., Sams C.E. Irradiance from distinct wavelength light-emitting diodes affect secondary metabolites in kale // HortScience. – 2008. – Vol. 43. – № 7. –

P. 2243-2244.

2. Redondo-Blanco S., Fernández J., López-Ibáñez S., Miguélez E.M., Villar C.J., Lombó F. Plant Phytochemicals in Food Preservation: Antifungal Bioactivity: A Review // Journal of Food Protection. – 2020. – Vol. 83. – №1. – P. 163-171.

3. Bjørklund G., Chirumbolo S. Role of oxidative stress and antioxidants in daily nutrition and human health // Nutrition. – 2017. – Vol. 33. – P. 311-321.

4. Pandey K.B., Rizvi S.I. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease // Oxidative medicine and cellular longevity. – 2009. – Vol. 2. – P. 9

5. Chu Y.F., Sun J.I. E., Wu X., Liu R. H. Antioxidant and antiproliferative activities of common vegetables // Journal of agricultural and food chemistry. – 2002. – Vol. 50. – №23. – P. 6910-6916.

6. Fiedor J. Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease // Nutrients. – 2014. – Vol. 6. – №2. – P. 466-488.

7. Rana M.K., Mamatha N.C. Kale. In Vegetable Crop Science // CRC Press. – 2017. – P. 383- 392.

8. Guo R., Shi L., Jiao Y., Li M., Zhong X., Gu F., Liu Q., Xia X., Li H. Metabolic responses to drought stress in the tissues of drought-tolerant and drought-sensitive wheat genotype seedlings // AoB Plants. – 2018. – Vol. 10. – №2. – DOI: 10.1093/aobpla/ply016.

9. Veliloglu Y. S., Mazza G., Gao L., Oomah B. D. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products // Journal of agricultural and food chemistry. – 1998. – Vol. 46. – № 10 – P. 4113-4117.

10. Zhishen J., Mengcheng T., Jianming W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals // Food chemistry. – 1999. – Vol. 64. – №4. – P. 555-559.

11. Сирота Т.В. Способ определения антиоксидантной активности супероксидсмутаза и химических соединений // Патент РФ. 2144674. – 2000.

12. Полевой В.В., Максимов Г.Б. Методы биохимического анализа растений. Учебное пособие. Изд-во Ленингр. ун-та. – 1978. – 192 с.

13. Грекова И.В., Чукуриди С.С., Тосунов Я.К. Определение содержания фотосинтетических пигментов у представителей рода *Philadelphus* L. в условиях Краснодар // Аграрная Россия. – 2018. – Vol. 10. – P. 14-16.

14. Brewer M. S. Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications // Comprehensive reviews in food science and food safety. – 2011. – Vol. – 10. – №4. – P. 221-247.

15. Łata B. Variability in enzymatic and non-enzymatic antioxidants in red and green-leafy kale in relation to soil type and N-level // Scientia Horticulturae. – 2014. – Vol. 168. – P. 38-45.

16. Benard C., Gautier H., Bourgaud F., Grasselly D., Navez B., Caris-Veyrat C., Weiss M., Genard M. Effects of low nitrogen supply on tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit yield and

Антех Д.Д., Мостякова А.А., Калимуллин М.И., Тимофеева О.А.

Влияние минеральных удобрений на вариabельность фитохимических веществ в капусте кейл

**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**

quality with special emphasis on sugars, acids, ascorbate, carotenoids, and phenolic compounds
// Journal of agricultural and food chemistry. – 2009. – Vol.57. – №10. – P. 4112-4123.

17. Giorgi A., Mingozi M., Madeo M., Speranza G., Cocucci M. Effect of nitrogen starvation on the phenolic metabolism and antioxidant properties of yarrow (*Achillea collina* Becker ex Rchb.) // Food Chemistry. – 2009. – Vol. 114. – №1. – P. 204-211.

Цитирование:

Антех Д.Д., Мостякова А.А., Калимуллин М.И., Тимофеева О.А. Влияние минеральных удобрений на вариabельность фитохимических веществ в капусте кейл [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/1/st_108.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/20211108>.