

УДК 581.192.2:581.6

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ВИТАМИНОВ В МИКРОЗЕЛЕНИ НЕСКОЛЬКИХ ВИДОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

© *М.Н. Шаклеина**, *А.А. Алалыкин*, *М.С. Соловьева*

Вятский государственный университет, ул. Московская, 36, Киров, 610000 (Россия), e-mail: mariyashakleina@mail.ru

В ходе исследования проведена оценка содержания жирорастворимых витаминов в микрозелени пяти видов культурных растений на разных этапах ее развития. Для анализа выращивали микрозелень в пластиковых контейнерах на подложке из нетканого вискозного материала. После закладки семенного материала их помещали в климатическую камеру с программой, моделирующей естественные условия суточных циклов. Сбор образцов начинали после массового раскрытия семядольных листьев и повторяли через день до достижения коммерческой зрелости продукта. Затем их замораживали при температуре около $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и хранили в таком состоянии до проведения исследования. Перед анализом растительный материал оттаивали и, не подвергая высушиванию, измельчали до фрагментов с размерами 1–3 мм. Анализу подвергали водные и изопропанольные экстракты, получаемые из точных навесок исследуемого растительного материала. Определение содержания жирорастворимых витаминов проводили методом жидкостной тандемной хроматомасс-спектрометрии на приборе с системой трех квадруполов. В ходе исследования установлено достаточно высокое содержание некоторых витаминов в составе образцов микрозелени. С ходом ее развития изменяется и концентрация определяемых компонентов: наблюдается как накопление, так и их расходование, а в некоторых случаях – колебание. Дальнейшие исследования позволят подобрать наиболее оптимальные параметры для выращивания микрозелени и разработать рекомендации по срокам ее употребления, когда концентрация витаминов максимальна.

Ключевые слова: микрозелень, жирорастворимые витамины, водорастворимые витамины, продовольственная безопасность, функциональные продукты питания.

Введение

По некоторым прогнозам, к 2050 году численность населения мира может превысить 9 млрд человек. При этом уже сейчас более 14% населения мира страдают от недоедания [1]. Дальнейший рост численности населения представляет собой серьезную угрозу продовольственной безопасности мира. Удовлетворение потребностей растущего населения, устранение недостатков в производстве продовольствия и обеспечение в нем нуждающихся – основные задачи мирового сельского хозяйства [2]. Основой для их решения является растущее разнообразие сельскохозяйственных систем [3]. Одним из подходов к решению данной проблемы является увеличение посевных площадей без сокращения естественных территорий, например, за счет выращивания зеленных культур в условиях города [4]. Перспективным объектом в данном направлении является микрозелень, представляющая собой молодые нежные проростки растений различных видов овощных, пряно-ароматических, злаковых, бобовых культур, а также дикорастущих трав. Их съедобная часть представлена стеблем, семядольными листьями и зачатками первых настоящих листьев. В зависимости от тем-

Шаклеина Мария Николаевна – младший научный сотрудник центра компетенций «Использование биологических ресурсов», e-mail: usr20018@vyatsu.ru; mariyashakleina@mail.ru

Алалыкин Александр Алексеевич – кандидат химических наук, научный сотрудник центра превосходства «Фармацевтическая биотехнология», e-mail: al-wood@list.ru

Соловьева Маргарита Сергеевна – младший научный сотрудник кафедры биотехнологии, e-mail: rita-owl@yandex.ru

пов развития они могут быть собраны через 7–21 дней после посадки [5]. Несмотря на свой небольшой размер микрозелень обеспечивает широкий спектр вкусов и ароматов, разнообразной цветовой гаммы и разной текстуры [6, 7]. Микрозелень представляет собой новую категорию овощей с отличающимися от уже известных проростков и обычных свежесрезанных листовых овощей характеристиками. Более того, их не следует путать с

* Автор, с которым следует вести переписку.

мини-овощами, также известными как миниатюрные и лилипутские овощи, которые производят с использованием определенных методов выращивания, например, высокой плотности размещения растений [8]. Впервые микрозелень стала широко применяться шеф-поварами ресторанов г. Сан-Франциско в начале 1980-х годов, а к середине 1990-х ее использовали уже по всей Южной Калифорнии [8]. На сегодняшний день микрозелень выращивают и используют в кулинарии по всему миру, а ассортимент насчитывает десятки различных культур. Главными причинами такого быстрого развития отрасли и распространения продукта стали: полезные свойства молодых побегов растений и простота их выращивания [9].

Преимущество микрозелени, в отличие, например, от листовых овощей («baby leaf»), которые состоят только из настоящих листьев и обязательно срезаются перед продажей, состоит в том, что ее можно продавать неповрежденной, со всем субстратом на котором она произрастает. Это позволяет потребителю срезать продукт всего за несколько минут до употребления. Этот инновационный маркетинговый ход гарантирует более длительный срок годности продукта и обеспечивает высокое качество как с точки зрения свежести, так и с точки зрения питательной ценности [10].

Рядом исследователей [7, 11–13] была проведена оценка содержания витаминов и минеральных веществ в микрозелени различных видов на этапе ее коммерческой зрелости. Однако динамика изменения содержания витаминов в процессе роста ранее не изучалась.

Цель нашего исследования – оценить содержание витаминов в микрозелени нескольких видов на разных этапах ее развития.

Экспериментальная часть

Получение материала для исследования. Для исследования отобраны виды семейств Brassicaceae (*Lepidium sativum* L. cv. сорт «Кудрявый» (Аэлита), *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. cv. сорт «18 дней» (Ависта) и *Sinapis alba* L. без сорта (Садовник)), Fabaceae (*Pisum sativum* L. cv. сорт «Лучезарный» (Садовник)), и Apiaceae (*Daucus carota* subsp. *sativus* (Hoffm.) Arcang. cv. сорт «Алтайская сахарная» (Марс)). Для получения их микрозелени семена помещали в пластиковые контейнеры объемом 125 мл на подложку из нетканого вискозного материала. Опыт закладывали в четырехкратной повторности. В зависимости от размера семени высевалось от 3–4 до 8–9 г семян на контейнер. Выращивали микрозелень в климатической камере «КК 350» (Pol-Еко-Аparatura sp.j., Польша) со следующими основными техническими характеристиками: диапазон температур с включенным освещением от 10 до 50 °С; контроль влажности от 30 до 85%, максимальная освещенность 10000 лк. Программа моделировала естественные условия суточных циклов, включающих световой день и ночь, с поддержанием постоянной влажности. Она была разделена на 6 сегментов (S₁–S₆), каждый из которых имел свои характеристики, представленные в таблице 1.

Сбор растений начинали после массового раскрытия семядольных листьев. Надземную часть проростков отделяли от корневой системы с помощью ножниц. В зависимости от стадии развития собранный материал представлял собой только семядольные листья, либо семядольные вместе с настоящими листьями в зачаточном или развитом состоянии.

Собранный материал объединяли в общий смешанный образец из всех повторностей опыта. Образец помещали в пакеты «ZIP-LOCK», взвешивали на весах Acom JW-1-300, маркировали и замораживали при температуре около -18 °С. Дальнейший сбор растений повторяли через день до достижения коммерческой зрелости продукта.

Определение содержания жирорастворимых витаминов проводили на тандемном жидкостном хромато-масс-спектрометре LCMS-8040 («Шимадзу», Япония) с системой трех квадруплей.

Подготовка проб к анализу. До проведения исследования образцы микрозелени хранились в замороженном состоянии при температуре около -18 °С. После оттаивания растительный материал, не подвергая высушиванию, измельчали с помощью ножниц до фрагментов с размерами 1–3 мм.

С целью определения жирорастворимых витаминов точную навеску исследуемого растительного материала (около 1 г) помещали в центрифужную полипропиленовую пробирку, добавляли 1 мл изопропилового спирта и герметично закрывали крышкой. Экстракцию осуществляли в течение 30 мин при комнатной температуре и тщательном перемешивании на вортексе. Затем смесь в пробирках центрифугировали при 3.5 тыс. оборотов в мин в течение 10 мин. Надосадочную жидкость отделяли и после фильтрования через шприцевой полиамидный фильтр «Chromafil Xtra PA-20/13» с диаметром пор 0.2 мкм подвергали анализу.

Таблица 1. Основные характеристики сегментов программы климатической камеры

Параметры	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆
Освещение (%)	80	50	20	0	50	80
Температура (°C)	23	23	20	20	22	23
Влажность (%)	70	70	70	70	70	70
Длительность сегмента (ч.)	7	4	2	5	3	3
Суточное время перехода к сегменту, ч : мин	10:00	17:00	21:00	23:00	04:00	07:00

С целью определения водорастворимых витаминов точную навеску исследуемого растительного материала (около 0.1 г) помещали в центрифужную полипропиленовую пробирку, добавляли 10 мл воды и герметично закрывали крышкой. Экстракцию осуществляли в течение 30 мин при комнатной температуре и тщательном перемешивании на вортексе. Затем смесь в пробирках центрифугировали при 3.5 тыс. оборотов в мин в течение 10 мин. Надосадочную жидкость отделяли и после фильтрования через шприцевой полиамидный фильтр «Chromafil Xtra PA-20/13» с диаметром пор 0.2 мкм, подвергали анализу.

Условия проведения анализа. При определении жирорастворимых витаминов регистрировали сигналы m/z соответствующих протонированных молекулярных ионов $[M+H]^+$ в режиме детектирования извлеченных m/z (SIM) при положительной полярности ионизации.

При определении водорастворимых витаминов регистрировали сигналы m/z ионов-продуктов, образующихся при фрагментации протонированных молекулярных ионов-прекурсоров $[M+H]^+$ в режиме детектирования переходов m/z (MRM) при положительной полярности ионизации.

При определении аскорбиновой кислоты регистрировали сигналы m/z соответствующих депротонированных молекулярных ионов $[M-H]^-$ в режиме детектирования извлеченных m/z (SIM) при отрицательной полярности ионизации.

Ниже представлены параметры прибора и основные условия проведения анализа.

Для определения жирорастворимых витаминов: Колонка «Dr. Maisch Reprospher 100 CN» 100×3 мм с размером зерен неподвижной фазы 1.8 мкм. Режим элюирования: Фаза А – очищенная вода I типа (Milli-Q) с добавкой 0.1% муравьиной кислоты; Фаза Б – метанол: начальное содержание 20% с 0 до 0.2 мин, увеличение до 90% с 0.2 по 8 мин, выдержка при 90% с 8 по 20 мин. Режим сбора данных: SIM.

Для определения водорастворимых витаминов: Колонка «Dr. Maisch Reprosil-Pur Basic C18» 100×2 мм с размером зерен неподвижной фазы 3 мкм. Режим элюирования: Фаза А – очищенная вода I типа (Milli-Q) с добавкой 0.1% муравьиной кислоты и 0.04% формиата аммония; Фаза Б – ацетонитрил: начальное содержание 0% с 0 до 0.2 мин, увеличение до 80% с 0.2 по 8 мин; выдержка при 80% с 8 по 12 мин. Режим сбора данных: MRM.

Общие параметры: дозируемый объем пробы 3–5 мкл; температура термостата колонок 35 °C; расход подвижной фазы 0.25 мл/мин; тип ионизации – электроспрей; ионизирующее напряжение 3.5 кВ; температура интерфейса 400 °C; температура линии десольватации 250 °C; расход газа – распылителя (азот) 3 л/мин; расход газа – осушителя (азот) 15 л/мин.

Обработку данных проводили с помощью программного обеспечения LabSolutions LCMS 5.86. Количественное определение компонентов, осуществляли по методу внешнего стандарта с использованием эталонных веществ с предварительным построением градуировочных зависимостей.

Важнейшие аналитические параметры определяемых компонентов представлены в таблице 2.

Результаты и их обсуждение

Результаты определения содержания витаминов в составе образцов микрозелени приведены в таблице 3.

Содержание жирорастворимых витаминов. Витамин Е (токоферол) представляет собой цепочку органических соединений, содержащих метилированные фенолы [14]. У растений он синтезируется преимущественно в пластидах [15]. Накопление токоферола сильно различается у разных видов растений, а также их разных частей [16–18]. В микрозелени исследованных видов динамика накопления витамина Е на разных стадиях развития различается. Так, в микрозелени кресс-салата происходит его постепенное накопление, тогда как у гороха количество витамина резко снижается после появления настоящих листьев и усиков. Неравномерные колебания содержания токоферола наблюдаются в микрозелени редиса и горчицы. У последней это может быть связано с сильным стрессом от небольшого водного дефицита, который привел к потере токоферола в хлоропластах, как это было показано в экспериментах с рисом [19].

Таблица 2. Определяемые компоненты и некоторые аналитические параметры

Компонент	Молекулярная масса	Регистрируемое значение или переход m/z	Режим сбора данных и полярность	Время удерживания, мин
Жирорастворимые витамины				
Альфа-токоферол (Е)	430.71	431.45	SIM (+)	10.18
Филлохинон (К1)	450.70	451.40		10.66
Бета-каротин + ликопин	536.90	538.00		10.24
Лютеин	568.90	569.00		10.05
Водорастворимые витамины				
Тиамин (В1)	265.40	265.00 → 122.00	MRM (+)	1.51
Рибофлавин (В2)	376.37	377.20 → 243.20		4.28
Никотинамид (РР, В3)	122.12	123.10 → 80.10		3.23
Пантотеновая кислота (В5)	219.23	220.00 → 90.15		3.56
Пиридоксин (В6)	169.18	170.00 → 134.15		3.13
Фолиевая кислота (В9)	441.40	442.20 → 295.15		3.92
Аскорбиновая кислота (С)	176.12	175.00	SIM (-)	1.62

Таблица 3. Содержание жиро- и водорастворимых витаминов в образцах микрозелени

Образец (Вид/образец)	День*	Жирорастворимые витамины				Водорастворимые витамины							
		Содержание витаминов, мкг/1 г свежего веса											
		Витамин Е	Витамин К1	β-каротин + ликопин	Лютеин	Витамин В1	Витамин В2	Витамин В3 (РР)	Витамин В5	Витамин В6	Витамин В9	Витамин С	
Кресс-салат/1	1	47.575	0.003	0.869	76.727	–	10.90	5.40	7.50	0.10	–	19.20	
Кресс-салат/2	3	51.147	0.047	3.972	201.654	–	8.50	–	6.20	Следы	–	–	
Кресс-салат/3	5	56.202	0.086	3.682	309.905	2.60	8.90	–	8.30	0.30	–	–	
Кресс-салат/4	7	61.251	0.089	2.868	314.578	3.80	8.20	–	7.70	0.30	0.100	–	
Горох/1	1	6.702	0.201	17.682	141.899	2.70	16.20	1.30	24.40	1.90	0.50	–	
Горох/2	3	6.597	0.184	3.686	217.795	–	14.00	7.60	3.70	0.30	0.20	–	
Горох/3	5	6.581	0.067	2.782	201.019	1.40	11.70	3.50	3.40	Следы	0.30	–	
Горох/4	7	16.201	0.065	4.270	151.463	2.00	9.30	2.60	5.20	Следы	0.20	–	
Горох/5	10	36.537	0.057	1.886	196.599	1.60	9.70	1.40	8.00	0.20	0.30	–	
Редис/1	1	42.507	0.016	5.107	136.755	2.40	16.40	3.10	–	Следы	–	–	
Редис/2	3	67.158	0.072	4.210	133.912	5.10	14.30	3.80	4.40	0.20	–	–	
Редис/4	7	40.557	0.156	1.979	149.434	1.80	14.9	1.30	6.00	Следы	–	–	
Редис/5	10	30.055	0.141	2.211	194.669	4.80	21.70	4.00	11.3	Следы	–	–	
Редис/6	12	36.402	0.169	2.058	199.362	4.10	20.90	7.10	11.40	Следы	–	–	
Морковь/1	1	–**	–	10.295	418.724	1.60	8.60	–	7.10	0.10	–	–	
Морковь/2	3	–	–	11.740	397.325	0.70	5.60	–	6.10	Следы	0.30	–	
Морковь/3	5	–	–	–	436.500	0.60	5.40	–	9.70	Следы	–	–	
Морковь/4	7	–	0.132	9.638	372.644	0.60	5.20	–	9.70	Следы	–	–	
Морковь/5	10	–	0.137	5.272	335.196	0.60	5.20	–	7.10	–	0.50	–	
Горчица/1	1	64.753	0.138	–	200.549	–	5.40	5.30	8.10	–	–	–	
Горчица/2	3	84.543	0.038	–	67.076	0.90	6.90	8.90	12.80	Следы	–	–	
Горчица/3	5	126.441	0.088	–	88.811	–	8.90	10.6	20.6	0.20	–	–	
Горчица/4	7	29.128	0.087	4.680	154.396	1.00	5.40	10.9	10.2	Следы	–	–	
Горчица/5	10	34.285	0.199	3.563	161.768	1.00	5.40	7.60	7.10	Следы	–	–	

*Отмечен день развития после массового появления семядольных листьев.

**Отмечено отсутствие компонента в составе микрозелени.

Витамин К1 (филлохинон) синтезируется исключительно в пластидах фотосинтезирующих организмов и играет важнейшую роль в организме человека и других позвоночных животных как компонент, необходимый для свертывания крови. Основным источником его для человека являются зеленые листовые овощи. В качестве альтернативного источника филлохинона может выступать микрозелень. У большинства исследованных видов – кресс-салата, редиса и моркови, – происходит постепенное накопление витамина в ходе их развития. В то время как у гороха наблюдается снижение содержания филлохинона в 3 раза после появления усиков и разворачивания настоящих листьев. Это может быть связано с его использованием в процессе фотосинтеза в качестве переносчика электронов в фотосистеме I [20–23].

Содержание β -каротина и ликопина в составе микрозелени различно у всех исследованных видов, а динамика изменения не имеет общих закономерностей. Поэтому полученные результаты сложно интерпретировать.

Что касается лютеина, то он постепенно накапливается в зеленой массе кресс-салата и редиса; у горчицы содержание витамина снижается до образования первых настоящих листьев, после чего происходит его накопление. В микрозелени моркови содержание лютеина наибольшее из всех исследованных видов. Во время разворачивания семядольных листьев показатели содержания компонента высокие, затем они несколько снижаются, с началом появления первых настоящих листьев – вновь возрастают и достигают максимальных значений, а с дальнейшим развитием вновь снижается.

Таким образом, содержание жирорастворимых витаминов в составе микрозелени различно у разных видов и на разных стадиях развития, что определяется как внешними факторами (стрессовыми воздействиями), так и расходом компонентов на обеспечение жизнедеятельности самого растительного организма.

Содержание водорастворимых витаминов. Содержание витамина В1 (тиамина) в исследованных образцах микрозелени не имеет общей динамики у разных видов. Так, у кресс-салата и горчицы отмечена общая тенденция к накоплению компонента после появления ассимилирующих листьев, тогда как в пробах моркови происходит постепенное снижение содержания витамина, а с началом формирования настоящих листьев остается на постоянном уровне. У проб гороха и редиса не отмечены какие-либо закономерности в содержании компонента.

У большинства исследованных видов микрозелени максимальное содержание витамина В2 (рибофлавина) в проростках установлено на первых этапах массового развития семядольных листьев, а затем происходит постепенное снижение концентрации компонента. У редиса содержание витамина снижается до фазы образования ассимилирующих листьев, после чего происходит резкое повышение концентрации, которое сменяет спад. В то же время у горчицы пик концентрации наблюдается перед образованием настоящих листьев, после чего происходит снижение и стабилизация содержания компонента.

Витамин В3 (никотинамид) полностью отсутствует в микрозелени моркови, отмечается только на стадии начала формирования семядольных листьев у кресс-салата. Содержание витамина снижается по мере развития проростков гороха и в основном накапливается у редиса и горчицы.

Витамин В5 (пантотеновая кислота) накапливается в микрозелени редиса и моркови. У гороха содержание компонента снижается до стадии формирования настоящих листьев, а затем начинается его накопление, причем во время массового развития семядольных листьев (образец 1) показатель максимальный. У горчицы и кресс-салата наблюдается обратная динамика, то есть до начала развития ассимилирующих листьев происходит накопление витамина и максимальное его содержание отмечено в пробах либо перед разворачиванием ассимилирующих листьев, либо при сформированных, а затем происходит спад концентрации.

В содержании витамина В6 (пиридоксина) отмечено несколько динамик: у кресс-салата максимальная концентрация компонента отмечена в пробе с развитыми ассимилирующими листьями и в последующих остается стабильной; у гороха и моркови содержание витамина снижается с ходом развития проростка, а у горчицы концентрация компонента повышается перед формированием настоящих листьев.

Витамин В9 (фолиевая кислота) накапливается в микрозелени кресс-салата и моркови, и ее максимальные концентрации отмечены на стадии коммерческой зрелости в последней пробе. Компонент отсутствует в составе зеленой массы редиса и горчицы, и имеет тенденцию к снижению концентрации у гороха. В то же время витамин С (аскорбиновая кислота) отмечен лишь в первом образце микрозелени кресс-салата, и отсутствует у других исследованных видов.

Таким образом, содержание водорастворимых витаминов в составе микрозелени отличается у всех изученных видов и не имеет общих закономерностей. Пики концентрации и снижение концентрации отдельных компонентов у разных видов сложно обосновать поскольку их роль в растительном организме не до конца определена, а у некоторых и вовсе не описана.

Выводы

В ходе проведенного исследования было установлено достаточно высокое содержание ряда важнейших жиро- и водорастворимых витаминов в составе образцов микрозелени различных видов, что подтверждает возможность ее эффективного использования в качестве альтернативного источника биологически активных веществ. Показано, что содержание определяемых компонентов микрозелени изменяется в ходе ее развития: наблюдается как увеличение, так и уменьшение содержания, а в некоторых случаях – его колебания. При этом не во всех случаях удается объяснить причину такого характера изменений. Если накопление витамина растением – закономерный процесс развития, то снижение или различные колебания его содержания требуют дальнейших исследований.

Список литературы

1. The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress. Rome, 2015. 56 p.
2. The State of the Food Insecurity in the World. Addressing food insecurity in protracted crises. Rome, 2010. 57 p.
3. Kahane R., Hodgkin T., Jaenicke H., Hoogendoorn C., Hermann M., Keatinge J.D.H., d'Arros Hughes J., Padulosi S., Looney N. Agrobiodiversity for food security, health and income // *Agronomy for Sustainable Development*. 2013. Vol. 33. N4. Pp. 671–693. DOI: 10.1007/s13593-013-0147-8.
4. Orsini F., Kahane R., Nono-Womdim R., Gianquinto G. Urban agriculture in the developing world: a review // *Agronomy for Sustainable Development*. 2013. Vol. 33. N4. Pp. 695–720. DOI: 10.1007/s13593-013-0143-z.
5. Xiao Z. Nutrition, sensory, quality and safety evaluation of a new specialty produce: microgreens: Doctoral dissertation. Maryland, 2013. 145 p.
6. Treadwell D.D., Hochmuth R., Landrum L., Laughlin W. Microgreens: A new specialty crop // *University of Florida IFAS Extension HS1164*. 2010. Vol. 3. Pp. 1–3.
7. Xiao Z., Lester G.E., Luo Y., Wang Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012. Vol. 60. N31. Pp. 7644–7651. DOI: 10.1021/jf300459b.
8. *Microgreens* / ed. F. Di Gioia, P. Santamaria. Bari, 2015. 116 p.
9. Luo Y., Lester G.E. Specialty Greens Pack a Nutritional Punch // *Agricultural Research*. 2014. Vol. 62. N1. Pp. 10–11.
10. Di Gioia F., Mininni C., Santamaria P. Ortaggi di Puglia, tra biodiversità e innovazione: il caso dei micro-ortaggi // *Il Giardino Mediterraneo*. Bari, 2015. Vol. II. Pp. 158–164.
11. Xiao Z., Lester G.E., Park E., Saftner R.A., Luo Y., Wang Q. Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: Microgreens // *Postharvest Biology and Technology*. 2015. Vol. 110. Pp. 140–148. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2015.07.021.
12. Xiao Z., Codling E.E., Luo Y., Nou X., Lester G.E., Wang Q. Microgreens of Brassicaceae: Mineral composition and content of 30 varieties // *Journal of Food Composition and Analysis*. 2016. Vol. 49. N6. Pp. 87–93. DOI: 10.1016/j.jfca.2016.04.006.
13. Polash M.A.S., Sakil M.A., Sazia S., Hossain M.A. Selection of suitable growing media and nutritional assessment of microgreens // *Agricultural Research Journal*. 2019. Vol. 56. N4. Pp. 752–756. DOI: 10.5958/2395-146X.2019.00116.9.
14. Hasanuzzaman M., Nahar K., Fujita M. Role of Tocopherol (Vitamin E) in Plants // *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance*. Academic Press, 2014. Vol. 2. Pp. 267–289. DOI: 10.1016/B978-0-12-800875-1.00012-0.
15. Mendes P., Kell D. Making cells work—metabolic engineering for everyone // *Trends Biotechnol.* 1997. Vol. 15. N1. Pp. 6–7.
16. Smirnov N. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation // *New Phytol.* 1993. Vol. 125. N1. Pp. 27–58. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1993.tb03863.x.
17. Munne-Bosch S., Alegre L. The function of tocopherols and tocotrienols in plants // *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2002. Vol. 21. N1. Pp. 31–57.
18. Munne-Bosch S. The role of α -tocopherol in plant stress tolerance // *Journal of Plant Physiology*. 2005. Vol. 162. N7. Pp. 743–748. DOI: 10.1016/j.jplph.2005.04.022.
19. Boo Y.C., Jung J. Water deficit-induced oxidative stress and antioxidative defenses in rice plants // *Journal of Plant Physiology*. 1999. Vol. 155. N2. Pp. 255–261.
20. Petersen J., Stehlik D., Gast P., Thurnauer M. Comparison of the electron spin polarized spectrum found in plant photosystem I and in iron-depleted bacterial reaction centers with time-resolved K-band EPR; evidence that the photosystem I acceptor A1 is a quinone // *Photosynthesis Research*. 1987. Vol. 14. N1. Pp. 15–29. DOI: 10.1007/BF00019589.
21. Sigfridsson K., Hansson O., Brzezinski P. Electrogenic light reactions in photosystem I: Resolution of electron-transfer rates between the iron-sulfur centers // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 1995. Vol. 92. Pp. 3458–3462. DOI: 10.1073/pnas.92.8.3458.
22. Oostende C., Widhalm J.R., Basset G.J. Detection and quantification of vitamin K(1) quinol in leaf tissues // *Phytochemistry*. 2008. Vol. 69. N13. Pp. 2457–2462. DOI: 10.1016/j.phytochem.2008.07.006.
23. Basset G.J., Latimer S., Fatihi A., Soubeyrand E., Block A. Phylloquinone (Vitamin K1): Occurrence, Biosynthesis and Functions // *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*. 2017. Vol. 17. N12. Pp. 1028–1038. DOI: 10.2174/1389557516666160623082714.

Поступила в редакцию 20 августа 2021 г.

После переработки 17 сентября 2021 г.

Принята к публикации 12 февраля 2022 г.

Для цитирования: Шаклеина М.Н., Алалыкин А.А., Соловьева М.С. Оценка содержания витаминов в микрозелени нескольких видов культурных растений // *Химия растительного сырья*. 2022. №2. С. 165–171. DOI: 10.14258/jcrpm.2022029988.

*Shakleina M.N.**, *Alalykin A.A.*, *Solovyova M.S.* EVALUATION OF THE CONTENT OF VITAMINS IN MICROGREENS OF SEVERAL SPECIES OF CULTIVATED PLANTS

Vyatka State University, ul. Moskovskaya, 36, Kirov, 610000 (Russia), e-mail: mariyashakleina@mail.ru

In the course of the study, the assessment of the content of fat-and water-soluble vitamins in microgreens of five species of cultivated plants at different stages of its development was carried out. For analysis, microgreens were grown in plastic containers on a nonwoven viscose support. After the seed was laid, they were placed in a climatic chamber with a program that simulates the natural conditions of daily cycles. Collection of samples was started after massive cotyledonous leaf opening and repeated every other day until commercial maturity of the product was reached. Then they were frozen at a temperature of about -18 °C and kept in this state until the study. Before analysis, the plant material was thawed and, without drying, was ground to fragments with sizes of 1–3 mm. Aqueous and isopropanol extracts obtained from precise weighed portions of the studied plant material were analyzed. Determination of the content of fat- and water-soluble vitamins was carried out by the method of liquid tandem chromatomass spectrometry on a device with a system of three quadrupoles. In the course of the study, a fairly high content of some vitamins was found in the composition of microgreen samples. With the course of its development, the concentration of the determined components also changes: both accumulation and their consumption are observed, and in some cases – fluctuation. Further research will allow you to select the most optimal parameters for growing microgreens and develop recommendations for the timing of its use when the concentration of vitamins is maximum.

Keywords: microgreens, fat-soluble vitamins, water-soluble vitamins, food safety, nutraceuticals.

References

1. *The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress.* Rome, 2015, 56 p.
2. *The State of the Food Insecurity in the World. Addressing food insecurity in protracted crises.* Rome, 2010, 57 p.
3. Kahane R., Hodgkin T., Jaenicke H., Hoogendoorn C., Hermann M., Keatinge J.D.H., d'Arros Hughes J., Padulosi S., Looney N. *Agronomy for Sustainable Development*, 2013, vol. 33, no. 4, pp. 671–693. DOI: 10.1007/s13593-013-0147-8.
4. Orsini F., Kahane R., Nono-Womdim R., Gianquinto G. *Agronomy for Sustainable Development*, 2013, vol. 33, no. 4, pp. 695–720. DOI: 10.1007/s13593-013-0143-z.
5. Xiao Z. *Nutrition, sensory, quality and safety evaluation of a new specialty produce: microgreens: Doctoral dissertation.* Maryland, 2013, 145 p.
6. Treadwell D.D., Hochmuth R., Landrum L., Laughlin W. *University of Florida IFAS Extension HS1164*, 2010, vol. 3, pp. 1–3.
7. Xiao Z., Lester G.E., Luo Y., Wang Q. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, vol. 60, no. 31, pp. 7644–7651. DOI: 10.1021/jf300459b.
8. *Microgreens*, ed. F. Di Gioia, P. Santamaria. Bari, 2015, 116 p.
9. Luo Y., Lester G.E. *Agricultural Research*, 2014, vol. 62, no. 1, pp. 10–11.
10. Di Gioia F., Mininni C., Santamaria P. *II Giardino Mediterraneo*. Bari, 2015, vol. II, pp. 158–164.
11. Xiao Z., Lester G.E., Park E., Saftner R.A., Luo Y., Wang Q. *Postharvest Biology and Technology*, 2015, vol. 110, pp. 140–148. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2015.07.021.
12. Xiao Z., Codling E.E., Luo Y., Nou X., Lester G.E., Wang Q. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2016, vol. 49, no. 6, pp. 87–93. DOI: 10.1016/j.jfca.2016.04.006.
13. Polash M.A.S., Sakil M.A., Sazia S., Hossain M.A. *Agricultural Research Journal*, 2019, vol. 56, no. 4, pp. 752–756. DOI: 10.5958/2395-146X.2019.00116.9.
14. Hasanuzzaman M., Nahar K., Fujita M. *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance*. Academic Press, 2014, vol. 2, pp. 267–289. DOI: 10.1016/B978-0-12-800875-1.00012-0.
15. Mendes P., Kell D. *Trends Biotechnol*, 1997, vol. 15, no. 1, pp. 6–7.
16. Smirnov N. *New Phytol.*, 1993, vol. 125, no. 1, pp. 27–58. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1993.tb03863.x.
17. Munne-Bosch S., Alegre L. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2002, vol. 21, no. 1, pp. 31–57.
18. Munne-Bosch S. *Journal of Plant Physiology*, 2005, vol. 162, no. 7, pp. 743–748. DOI: 10.1016/j.jplph.2005.04.022.
19. Boo Y.C., Jung J. *Journal of Plant Physiology*, 1999, vol. 155, no. 2, pp. 255–261.
20. Petersen J., Stehlik D., Gast P., Thurnauer M. *Photosynthesis Research*, 1987, vol. 14, no. 1, pp. 15–29. DOI: 10.1007/BF00019589.
21. Sigfridsson K., Hansson O., Brzezinski P. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1995, vol. 92, pp. 3458–3462. DOI: 10.1073/pnas.92.8.3458.
22. Oostende C., Widhalm J.R., Basset G.J. *Phytochemistry*, 2008, vol. 69, no. 13, pp. 2457–2462. DOI: 10.1016/j.phytochem.2008.07.006.
23. Basset G.J., Latimer S., Fatihi A., Soubeyrand E., Block A. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 2017, vol. 17, no. 12, pp. 1028–1038. DOI: 10.2174/1389557516666160623082714.

Received August 20, 2021

Revised September 17, 2021

Accepted February 12, 2022

For citing: Shakleina M.N., Alalykin A.A., Solovyova M.S. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 2, pp. 165–171. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2022029988.

* Corresponding author.

