

УДК 631: 635.1

Разработка алгоритмов повышения лёжкоспособности корнеплодных овощей: обзор предметного поля

Краснодарский
научно-исследовательский
институт хранения и переработки
сельскохозяйственной продукции –
филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский
федеральный научный центр
садоводства, виноградарства,
виноделия», г. Краснодар, Российская

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:
Купин Григорий Анатольевич
E-mail: griga_77@mail.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:
данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:
Купин, Г.А., Першакова, Т.В., Але-
шин, В.Н., Семиряжко, Е.С., & Яковлева,
Т.В. (2023). Разработка алгоритмов
повышения лёжкоспособности корне-
плодных овощей: обзор предметного
поля. *Хранение и переработка сельхоз-
сырья*, (3), 28–42.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2023.462>

ПОСТУПИЛА: 03.03.2023
ПРИНЯТА: 15.09.2023
ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:
авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.



Г. А. Купин, Т. В. Першакова, В. Н. Алешин, Е. С. Семиряжко,
Т. В. Яковлева

АННОТАЦИЯ

Введение: Потери и снижение качества продукции растениеводства происходит на этапах производства, транспортирования, хранения, реализации и зависят от множества факторов: вид и сорт, степень зрелости, физиологические, физико-химические, микробиологические показатели, параметры транспортирования и хранения. Несмотря на активную работу учёных во всём мире, ограниченным остаётся количество исследований, рассматривающих проблему повышения лёжкоспособности сельскохозяйственной продукции как комплексную, когда снижение потерь и сохранение показателей качества предусматривает реализацию алгоритмов, обеспечивающих лёжкоспособность продукции растениеводства на всех этапах, начиная от подбора семенного материала и заканчивая реализацией на предприятиях торговли и общественного питания.

Цель: Анализ и систематизация результатов исследований, посвящённых повышению лёжкоспособности продукции растениеводства, и разработка на их основе алгоритмов повышения лёжкоспособности корнеплодных овощей на примере свёклы столовой.

Материалы и методы: В обзор были включены статьи на русском и английском языках из баз данных WoS, Scopus и РИНЦ. В обзор были включены статьи, опубликованные на русском и английском языках. Поиск был ограничен периодом с 2003 по 2022 год. В центре внимания были статьи, опубликованные в научных журналах, прошедшие процедуру рецензирования, подтверждающую ее качество. При этом статьи должны иметь заданный индекс цитирования (процитированы в базах данных не менее 50-ти раз). Статьи из тематических конференций отбирались исходя из количества их цитирований и в случае их обнаружения по следующим ключевым словам хранение, реализация, корнеплоды, свёкла столовая, сорт, лёжкоспособность, электромагнитные поля крайне низких частот, биопрепараты.

Результаты: В ходе исследования были определены инструменты управления лёжкоспособностью: ботанический сорт, степень зрелости, биохимический состав, микробиологические показатели, параметры обработки, параметры хранения (температура, относительная влажность воздуха, состав газовой среды). При этом обработка может проводиться электромагнитными полями крайне низких частот (варьируемые параметры: величина электромагнитной индукции, частота, время обработки) и биопрепаратами (варьируемые параметры: вид и дозировка препарата).

Выводы: Проведённый систематический обзор позволил создать алгоритмы повышения лёжкоспособности свёклы столовой для долгосрочного и краткосрочного хранения, включающие такие этапы, как выбор сорта с генетически обусловленной лёжкостью, выращивание, уборка, транспортирование, подготовка к хранению, реализация на предприятиях оптовой и розничной торговли. Реализация разработанных алгоритмов может способствовать снижению потерь при хранении, стабилизации качественных характеристик и увеличению срока хранения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

хранение, реализация, корнеплоды, свёкла столовая, сорт, лёжкоспособность, электромагнитные поля крайне низких частот, биопрепараты

Development of Algorithms for Increasing the Keeping Quality of Root Vegetables: A Scoping Review

Krasnodar Research Institute of Storing and Processing of Agricultural Products – branch of FSBI 'North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture and Winemaking, Krasnodar, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Grigory A. Kupin

E-mail: : griga_77@mail.ru

FOR CITATIONS:

Kupin, G.A., Pershakova, T.V., Aleshin, V.N., Semiryazhko, E.S., & Yakovleva, T.V. (2023). Development of Algorithms for increasing the keeping quality of root vegetables: A Scoping review. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 28-42. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.462>

RECEIVED: 03.03.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Grigory A. Kupin, Tatiana V. Pershakova, Vladimir N. Aleshin, Elizaveta S. Semiryazhko, Tatiana V. Yakovleva

ABSTRACT

Background: Losses and reductions in the quality of crop products occur at the stages of production, transportation, storage, sales and depend on many factors: type and variety, degree of maturity, physiological, physicochemical, microbiological indicators, transportation and storage parameters. Despite the active work of scientists around the world, the number of studies remains limited that consider the problem of increasing the keeping quality of agricultural products as a complex one, when reducing losses and maintaining quality indicators involves the implementation of algorithms that ensure the keeping quality of crop products at all stages, from the selection of seed material to sales at trade and catering establishments.

Purpose: Analysis and systematization of research results devoted to increasing the shelf life of crop products, and on their basis, developing algorithms for increasing the shelf life of root vegetables using the example of red beets.

Materials and Methods: The review included articles in Russian and English from the WoS, Scopus and RSCI databases, as well as the results of our previous studies.

The review included articles published in Russian and English. The search was limited to the period from 2003 to 2022. The focus was on articles published in scientific journals that had undergone a peer review process to confirm their quality. In this case, articles must have a given citation index (cited in databases at least 50 times). Articles from thematic conferences were selected based on the number of their citations and, if found, using the following keywords: storage, sales, root crops, table beets, variety, shelf life, electromagnetic fields of extremely low frequencies, biological products.

Generalization of results was used as a research method.

Results: During the study, tools for managing shelf life were identified: botanical variety, degree of maturity, biochemical composition, microbiological indicators, processing parameters, storage parameters (temperature, relative humidity, gas composition). In this case, treatment can be carried out with electromagnetic fields of extremely low frequencies (variable parameters: the magnitude of electromagnetic induction, frequency, treatment time) and biological products (variable parameters: type and dosage of the drug).

Conclusion: The conducted systematic review made it possible to create algorithms for increasing the shelf life of table beets for long-term and short-term storage, including such stages as selection of a variety with genetically determined shelf life, cultivation, harvesting, transportation, preparation for storage, and sale at wholesale and retail trade enterprises. The implementation of the developed algorithms can help reduce storage losses, stabilize quality characteristics and increase shelf life.

KEYWORDS

storage, root crops, beets, algorithm, extremely low frequency electromagnetic fields, biopreparations

ВВЕДЕНИЕ

Важнейший приоритет государственной политики — обеспечение населения качественными и безопасными продуктами питания¹. При этом одним из путей его реализации является снижения потерь и сохранение качества продукции растениеводства. Потери и снижение качества продукции растениеводства образуются на этапах производства, транспортирования, хранения, реализации и зависят от множества факторов: вид и сорт, степень зрелости, физиологические, физико-химические, микробиологические показатели, параметры транспортирования и хранения, инструменты управления процессами хранения. Определяющим фактором при этом является лёжкоспособность — способность храниться в течение определённого времени без значительных потерь и снижения качества — важнейшая хозяйственно-биологическая характеристика растительного сырья (Лысоченко, 2015; Першакова и соавт., 2022; Natarajan et al., 2019; Hoffmann et al., 2018).

Корнеплоды свёклы столовой по хозяйственному назначению широко используются как для пищевых целей, так и для технической переработки (Глебова и соавт., 2017; Cui et al., 2022; Mikołajczyk-Bator, 2022). Они являются источником витамина B₉ и марганца (Ravichandran et al., 2020). Помимо этого, особенностью свёклы столовой является содержание беталаинов — пигментов красного или жёлтого цвета, применяемых в качестве пищевых красителей (Chhikara et al., 2019; Nirmal et al., 2021). Беталаины представляют интерес также как биологически активные вещества из-за своих антиоксидантных свойств (Fu et al., 2020; Nadipour et al., 2020; Park et al., 2021; Yi et al., 2017). Химический состав позволяет свёкле столовой оказывать благотворное влияние на здоровье человека и косвенно — за счёт избирательного стимулирующего воздействие на полезные группы кишечных бактерий, что позволяет рассматривать её корнеплоды в качестве пребиотических ингредиентов (de Oliveira et al., 2023). Однако корнеплоды могут повредиться во время возделывания, сбора урожая, при транспортировке и хранении, что может привести к большому количеству потерь. Снижение качества продукции до момента ее потребления может составлять 20–40%, что значительно сокращает рентабельность ее производства (Chakwizira

et al., 2016; Kleuker & Hoffmann, 2022). Вследствие этого, необходимо проводить комплекс мероприятий по оптимизации процесса хранения на основе мониторинга состояния объектов хранения, а также выполнения послеуборочной обработки (Zavrashnov et al., 2020; Eslami et al., 2021).

В России и за рубежом активно ведётся поиск и разработка технологических приёмов для повышения качества хранения сельскохозяйственной продукции, часть которых уже широко используется — применение регулируемых и модифицированных газовых сред, озонирование, активное вентилирование, обработка различными препаратами и другие (Akan et al., 2022; Asgar, 2020; Awasthi et al., 2019; Barba-Espin et al., 2018; Dzakhmisheva et al., 2021; Pershakova et al., 2021; Tang et al., 2020). Доказано, что применение физических и биотехнологических приёмов при хранении сельскохозяйственной продукции позволяет продлить срок хранения сырья, а также минимизировать потери (Devgan et al., 2019; Ibragimov et al., 2022; Jiang et al., 2021; Sudhakar et al., 2021). При этом наибольшего эффекта можно достичь, реализуя комплексный подход к снижению потерь и поддержанию качества продукции растениеводства в системе «Производство — Транспортирование — Хранение — Реализация» с учётом различных технологических факторов и сортовых особенностей. В связи с этим актуальна разработка новых или совершенствование существующих алгоритмов повышения лёжкоспособности.

Целью данного исследования является анализ и систематизация результатов работ, посвящённых повышению лёжкоспособности продукции растениеводства, и разработка на их основе алгоритмов повышения лёжкоспособности корнеплодных овощей на примере свёклы столовой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Базы данных и временные рамки

Был проведён анализ отечественной и зарубежной научной литературы по вопросам обеспечения лёжкоспособности корнеплодных овощей. Материалами для исследования послужили 60 работ, опубликованные в период с 2003 по 2023 гг., в том

¹ Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия. Утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. №717.

числе 11 источников на русском и 49 источников на английском языках, опубликованные в научных журналах и монографиях. Поиск проводили в международных базах данных WoS, Scopus, а также отечественной электронной библиотеке eLibrary.Ru (РИНЦ).

Критерии включения и исключения источников

Для поисковых запросов в отечественной электронной библиотеке были использованы следующие ключевые слова и словосочетания: корнеплоды, свёкла столовая, лёжкоспособность, хранение, реализация, электромагнитные поля крайне низких частот, биопрепараты.

Для поисковых запросов в иностранных базах данных использовали термины: beetroot, red beet, root crops, storability, postharvest, extremely low frequency electromagnetic fields, biopreparations.

Критерии включения:

- (1) Статья написана в период 2003–2023 год;
- (2) Статья соответствует теме исследования;
- (3) Типы анализируемых статей — оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи, монографии, диссертации и ГОСТы.

Критерии исключения:

- (1) Статья не соответствует теме данного обзора;
- (2) Статья написана не на русском или английском языках;
- (3) Содержание статьи дублируется (повторяющиеся источники классифицировали только один раз).

Анализ и систематизация данных

С целью визуализации данных результаты анализа были представлены в виде таблиц и диаграмм. Схема проведения исследования была составлена в соответствии с протоколом PRISMA (Рисунок 1).

Извлечение и анализ данных

В рамках поиска ответов на поставленные вопросы исследования были изучены 60 отобранных работ. Из них были извлечены данные (касающиеся таких тем, как свойства и особенности корнеплодов свёклы столовой, факторы, влияющие на лёжкоспособность, способы обработки перед хранением и параметры хранения, процессы, протекающие после снятия с хранения) и подвергнуты последующему анализу. Примеры извлечения данных из статей, включённых в обзор, представлены в Таблице 1.

Рисунок 1

Блок-схема, описывающая процесс выбора материалов для исследования, в соответствии с протоколом PRISMA

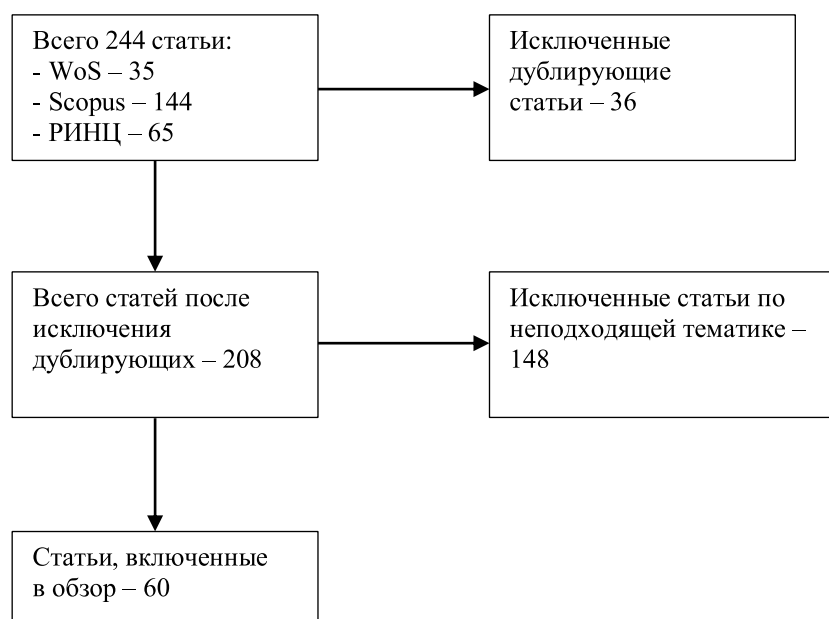


Таблица 1

Примеры извлечения данных из статей, включённых в обзор

№	Заглавие	Автор и год	Свойства и особенности корнеплодов свёклы столовой	Способы и параметры обработки перед хранением и хранения	Процессы, протекающие после снятия с хранения
1	Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables	Ravichandran et al., 2020	Red beet gets its distinctive color due to the presence of nitrogen-containing water-soluble pigments betalains. It is widely used as a natural food colorant and labeled as E-162. Red beet is a rich source of vitamins, such as vitamin C and vitamin B6, folate, minerals, dietary fiber, and also possesses has high antioxidant capacity.	—	—
2	Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce	Edelenbos et al.,	—	Beetroots are relatively resistant to decay in storage. They can tolerate around 10% O ₂ and 10% CO ₂ for 1 month. Lower O ₂ concentration (3%) reduces respiration rate while elevated CO ₂ concentrations (5%–14% CO ₂ in 6%–15% O ₂) increase respiration rate. Elevated CO ₂ (≥3%) prevents sprouting and postpones microbial decay, while reduced O ₂ (3%) increases decay.	—
3	Environmental conditions encountered during typical consumer retail display affect fruit and vegetable quality and waste.	Nunes et al., 2009	—	—	Temperatures measured inside retail displays showed a wide variation, depending on the store and location inside the display, ranging from –1.2 °C to 19.2 °C in refrigerated displays and from 7.6 °C to 27.7 °C in non-refrigerated displays. RH ranged from 55.9% to 92.9% in refrigerated displays and from 29.7% to 86.6% in non-refrigerated displays.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выбор сорта и условия выращивания

Для долгосрочного хранения свёклы столовой рекомендуются сорта среднего и позднего срока созревания; для краткосрочного хранения и реализации в виде пучковой продукции рекомендуются сорта раннего срока созревания. Связано это, в том числе, с химическим составом корнеплодов: к завершению вегетационного периода корнеплоды свёклы среднего и позднего сроков созревания характеризуются достаточно высоким содержанием сухих веществ (15–20%), в том числе углеводов (10–15%), а также бетанина (90–250 мг% и более), что обуславливает потенциально высокую лёжкоспособность (Ravichandran et al., 2020). Объяснить это можно тем, что, например, бетанин (соединение из группы беталаинов), по данным ряда исследователей, обладает помимо прочего ещё и антибактериальной активностью (Manohar et al., 2017). Корнеплоды свёклы раннего срока созревания характеризуются меньшим содержанием сухих веществ (от 10 до 15%), в том числе углеводов от 7 до 10%; содержание бетанина у сортов раннего срока созревания — от 60 до 85 мг%. Потенциальная лёжкоспособность этих корнеплодов достаточно низкая (Ravichandran et al., 2020; Tanumihardjo et al., 2016). При этом содержание бетанина и других веществ в корнеплодах может значительно отличаться в зависимости от сорта (Sawicki et al., 2016). Таким образом, для успешной организации хранения необходим выбор сорта с генетически обусловленной лёжкостью.

Влияние на химический состав корнеплодов также оказывают условия выращивания. Так, для увеличения содержания в корнеплодах сухих веществ, возможно применение специальных приёмов в процессе вегетации, направленных, например, на противодействие засухе за счёт внесения в почву биоугля (Lebrun et al., 2022). А повышенную массовую долю фенольных веществ и беталаинов в свёкле столовой можно получить благодаря органическому земледелию (минимизации использования синтетических пестицидов и удобрений) (Carrillo et al., 2019; Heimler et al., 2017).

Важным этапом возделывания любого растительного сырья является контроль заболеваний, так

как они приводят к снижению качества или даже потере части урожая. Перспективным направлением в последние годы считается применение биологических фунгицидов — препаратов на основе безвредных микроорганизмов (например, *Bacillus subtilis*), которые способны повысить устойчивость растений к патогенным микроорганизмам за счёт индукции резистентности (активизации их естественных защитных свойств) (Choudhary & Johri, 2009; Kristoffersen et al., 2018). Среди биологических фунгицидов отечественного производства можно отметить такие препараты на основе различных штаммов *Bacillus subtilis*, как, например, Фитоспорин-М, Бактофит, Витаплан.

Уборка и транспортирование

На качество и лёжкоспособность растительного сырья также влияет выбор даты сбора урожая (Alami et al., 2021). Конкретное значение зависит от условий окружающей среды и сорта, но, в общем, считается, что оптимальные сроки сбора урожая свёклы столовой ранней — на 50–60 день от первых всходов. При этом в пищу могут употребляться не только корнеплоды, но и листья, которые на данном этапе имеют наилучшие пищевые и вкусовые качества. Сбор урожая свёклы столовой среднего срока созревания проводят на 80–100 день от момента первых всходов, поздние сорта убирают на 100–130 день (Edelenbos et al., 2020; Takács-Hájosa & Vargas-Rubóczki, 2022).

Сбор ранней свёклы проводят вручную в сухую, солнечную погоду; выкопанную свёклу очищают мокрым способом, просушивают. Сбор корнеплодов среднего и позднего сроков созревания может быть осуществлён механизированным способом, но в этом случае следует учитывать, что часть урожая получит механические повреждения, снижающие лёжкость. Ведутся разработки технологий, автоматизирующих идентификацию повреждений продукции при механизированной уборке (Osipov et al., 2022). После сбора, корнеплоды свёклы просушивают на открытом воздухе и очищают сухим способом от земли, срезают ботву, оставляя черешки до 2 сантиметров. Далее корнеплоды подаются на сортировку, где убирают больные и повреждённые экземпляры. На следующем этапе проводится калибровка, где корнеплоды отбираются по форме и размеру: размер поперечного диаметра свёклы

столовой ранней (пучковая продукция) может варьироваться от 1,5 до 5 см (Першакова и соавт., 2022). Поперечный диаметр корнеплодов среднего и позднего сроков созревания должен составлять от 5 до 14 см (ГОСТ 1722, ГОСТ 32285).

После сбора желательно как можно скорее (особенно в случае пучковой продукции) провести предварительное охлаждение корнеплодов до температуры 5...10 °С, что позволяет снизить интенсивность дыхания и связанных с ним биохимических процессов, предотвратить потерю массы и развитие фитопатогенных микроорганизмов (Akan et al., 2022; Barbosa et al., 2011; Singla et al., 2020).

Для закладки на хранение корнеплоды свёклы транспортируют до места хранения транспортом с защитой от атмосферных осадков и отрицательных температур в соответствии с правилами перевозки скоропортящихся грузов. Транспортную упаковку маркируют с нанесением манипуляционных знаков: «Скоропортящийся груз», «Ограничение температуры». Для сохранения качества сырья при транспортировке рекомендуется соблюдать температурно-влажностный режим: 1–10 °С, относительная влажность воздуха 90±5 %. При этом транспортирование может осуществляться в условиях модифицированной атмосферы, что позволяет дополнительно снизить интенсивность дыхания и подавить развитие микроорганизмов. В этом случае параметры газовой среды для корнеплодов свёклы могут составлять O₂ 5–10 % и CO₂ < 5 % (Першакова и соавт., 2022; Bodbodak & Moshfeghifar, 2016; Rama & Narasimham, 2003).

Способы обработки перед хранением и хранения

В проведённых нами ранее исследованиях были изучены закономерности влияния параметров обработки корнеплодов, в том числе свёклы столовой, электромагнитными полями крайне низких частот (частота, электромагнитная индукция, время обработки) и биопрепаратами (вид, концентрация), а также влияние параметров хранения на их товарное качество (Купин и соавт., 2020а), органолептические показатели (Купин и соавт., 2020б), величину потерь (Купин и соавт., 2020с) и биохимические показатели (Панасенко и соавт., 2019). На основе установленных закономерностей были выявлены,

к примеру, оптимальные параметры обработки корнеплодов перед последующим краткосрочным хранением. При этом было показано, что лёжкость корнеплодов может быть увеличена путем обработки перед закладкой на хранение электромагнитными полями крайне низких частот с параметрами 15–30 Гц, 10–30 мин, 1–12 мТл (Купин и соавт., 2020d).

Следует заметить, что изучением влияния электромагнитных полей на устойчивость растительного сырья при хранении занимаются и другие исследователи. Например, в работах (Касьянов и соавт., 2019; Назарько и соавт., 2019; Nazarko et al., 2021) было установлено, что обработка яблок электромагнитным полем с частотой 18...100 Гц приводит к снижению микробиологической обсеменённости и сохранению витамина С при хранении.

В дальнейшем хранение свёклы столовой рекомендуется осуществлять в закрытых вентилируемых помещениях при температуре 0...1 °С, относительной влажности воздуха 90–95 % (ГОСТ 1722). При краткосрочном хранении свёклы столовой ранней в таких условиях срок хранения составляет 10–14 дней. При долгосрочном хранении корнеплодов средних и поздних сроков созревания срок хранения может достигать 4–10 месяцев (Edelenbos et al., 2020).

При этом возможно хранение свёклы в условиях регулируемой атмосферы. Увеличенная концентрация CO₂ и пониженная O₂ предотвращают прорастание и подавляют развитие микробиологической порчи. Однако изменять концентрации этих газов можно лишь до определённых уровней: корнеплоды свёклы столовой чувствительны к избытку CO₂, так что его концентрация в хранилище не должна превышать 5 %; также не следует допускать падения O₂ ниже 3 %. Иначе вместо предотвращения возникновения порчи можно получить её усиленное развитие. Таким образом, рекомендуемыми параметрами газовой среды при хранении свёклы столовой являются: CO₂ 3...5 %, O₂ 5...10 %. Впрочем, хранение корнеплодов свёклы столовой в регулируемой атмосфере не позволяет существенно повысить их лёжкость, так что практикуется нечасто (Першакова и соавт., 2022; Edelenbos et al., 2020; Rama & Narasimham, 2003).

Подготовка к реализации и реализация

После снятия с длительного хранения и перед отправкой на реализацию корнеплоды сортируют. При наличии потребности корнеплоды промывают, обрабатывают раствором биопрепарата (например, Бактофит, 0,2 % водный раствор, 2–3 л/т) для предотвращения развития микробиологической порчи, просушивают при температуре 5–10 °С (Купин и соавт., 2020d).

Затем свёклу упаковывают и наносят маркировку. При этом корнеплоды могут быть расфасованы по 0,5–5 кг в тканевые мешки, мешки из полимерных плёнок, пакеты из полимерных и комбинированных материалов. Далее фасованные или нефасованные корнеплоды упаковывают в транспортную тару и перевозят к месту реализации при температуре 1–10 °С. На предприятии розничной торговли хранят в закрытых вентилируемых помещениях с относительной влажностью воздуха 85–90 % при температуре воздуха от 0 до 10 °С включительно — не более 3 суток, при температуре воздуха выше 10 °С — не более 2 суток (ГОСТ 32285).

При хранении, транспортировке и реализации корнеплодов, как и любого растительного сырья, важно помнить, что несоблюдение температурно-влажностного режима может стать причиной значительных потерь (Porat et al., 2018). Усложняет ситуацию тот факт, что цепь поставок от производителя продукции до её потребителя может быть сложной и включать до 10 и более участников, а условия хранения могут отличаться на всех этапах (Emond, 2022).

Причём этапу пребывания продукции на предприятиях розничной торговой сети («на полке») следует уделять не меньше внимания, чем остальным этапам. Так, в работе (Nunes et al., 2009) было установлено, что температуры внутри витрин ряда изученных торговых точек сильно различались в зависимости от магазина и расположения внутри витрины и варьировались от –1,2 °С до 19,2 °С в охлаждаемых витринах и от 7,6 °С до 27,7 °С в неохлаждаемых витринах. Относительная влажность воздуха при этом колебалась от 55,9 % до 92,9 % в охлаждаемых витринах и от 29,7 % до 86,6 % в неохлаждаемых витринах. В результате именно несоблюдение температурно-влажностного режима было основной причиной (55 %) потерь продукции.

Чтобы это предотвратить, в последние годы разрабатывается ряд технических решений, таких как, к примеру, беспроводные сенсоры для дистанционного контроля условий хранения и качества продукции, датчики для определения этилена, наличие которого в атмосфере хранилища может приводить к перезреванию и порче сырья, или летучих соединений, образующихся при появлении плесневой инфекции (Jedermann et al., 2014). Но, помимо использования современного оборудования на отдельных этапах, ключевую роль в сокращении потерь может сыграть углубление сотрудничества и координация действий между участниками цепи поставок продукции растениеводства (Filimonau & Ermolaev, 2021).

Разработка алгоритмов, обеспечивающих повышение лёжкоспособности продукции растениеводства, должна предусматривать учёт факторов, влияющих на формирование качества продукции в системе «Производство — Транспортирование — Хранение — Реализация». Главными контролирующими факторами должны являться: оценка качества продукции, закладываемой на хранение; выбор методов, способов и инструментов управления процессами хранения; выбор способов транспортирования, подготовки помещений и оборудования; размещение в хранилище; комплекс мероприятий по оптимизации процесса хранения на основе мониторинга состояния объектов хранения; снятие с хранения; оценка качества; товарная и предпродажная подготовка и обработка; транспортировка к месту реализации; предпродажная подготовка (Edelenbos et al., 2020; Finch et al., 2014; Sudhakar et al., 2021).

В результате изучения работ, посвящённых повышению лёжкоспособности продукции растениеводства, и проведённых нами ранее исследований по обработке растительного сырья электромагнитными полями крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ) и биопрепаратами, была составлена структурная схема системы «Производство — Транспортировка — Хранение — Реализация» корнеплодов (представлена на Рисунке 2). Также был разработан алгоритм управления лёжкоспособностью свёклы столовой при долгосрочном (Рисунок 3) и краткосрочном (Рисунок 4) хранении, включая варьируемые показатели, особо влияющие на качество сохранности сырья: температуру, относительную влажность воздуха (ОВВ), состав атмосферы.

Рисунок 2

Структурная схема системы «Производство – Транспортировка – Хранение – Реализация» корнеплодов

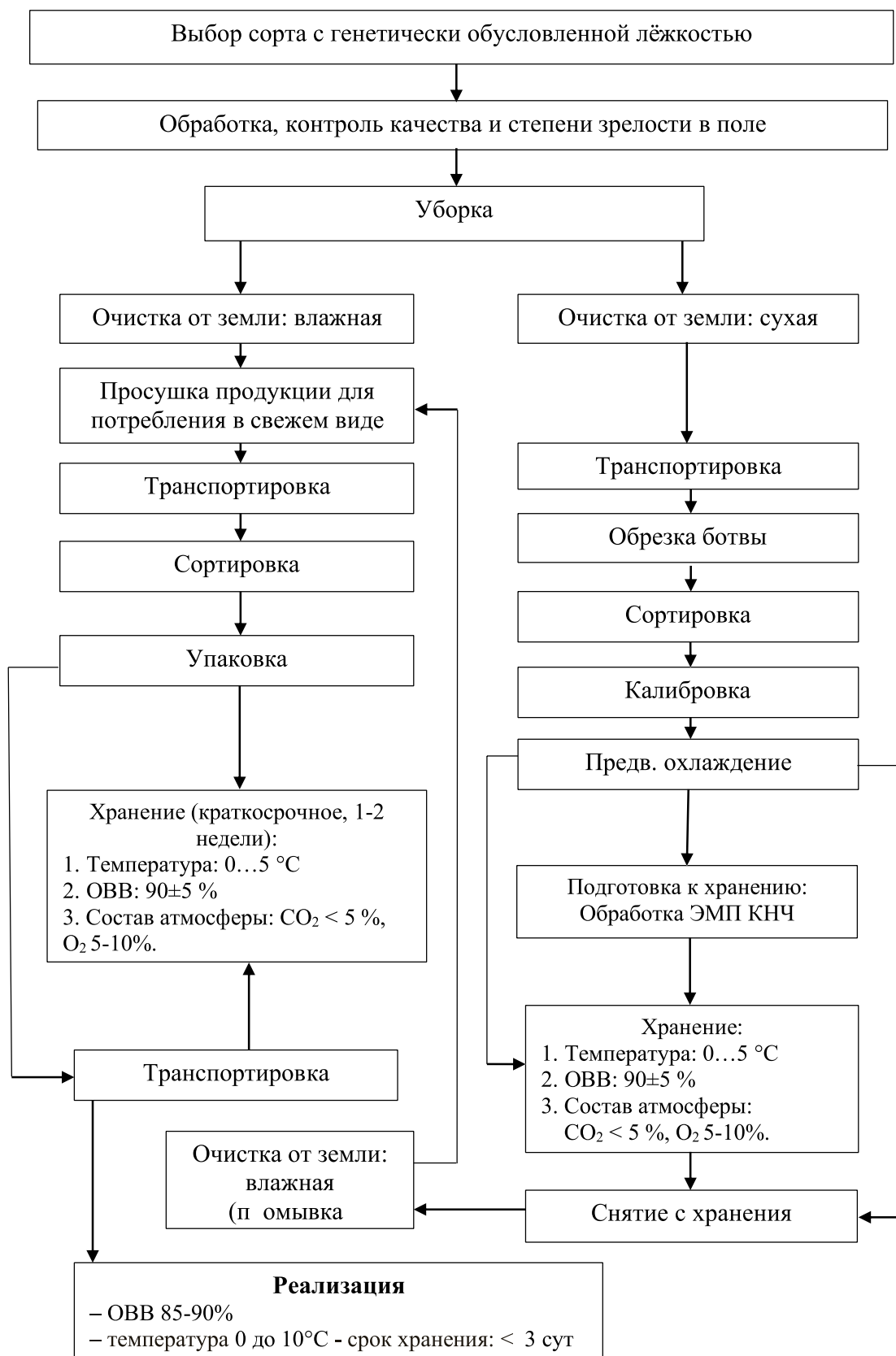
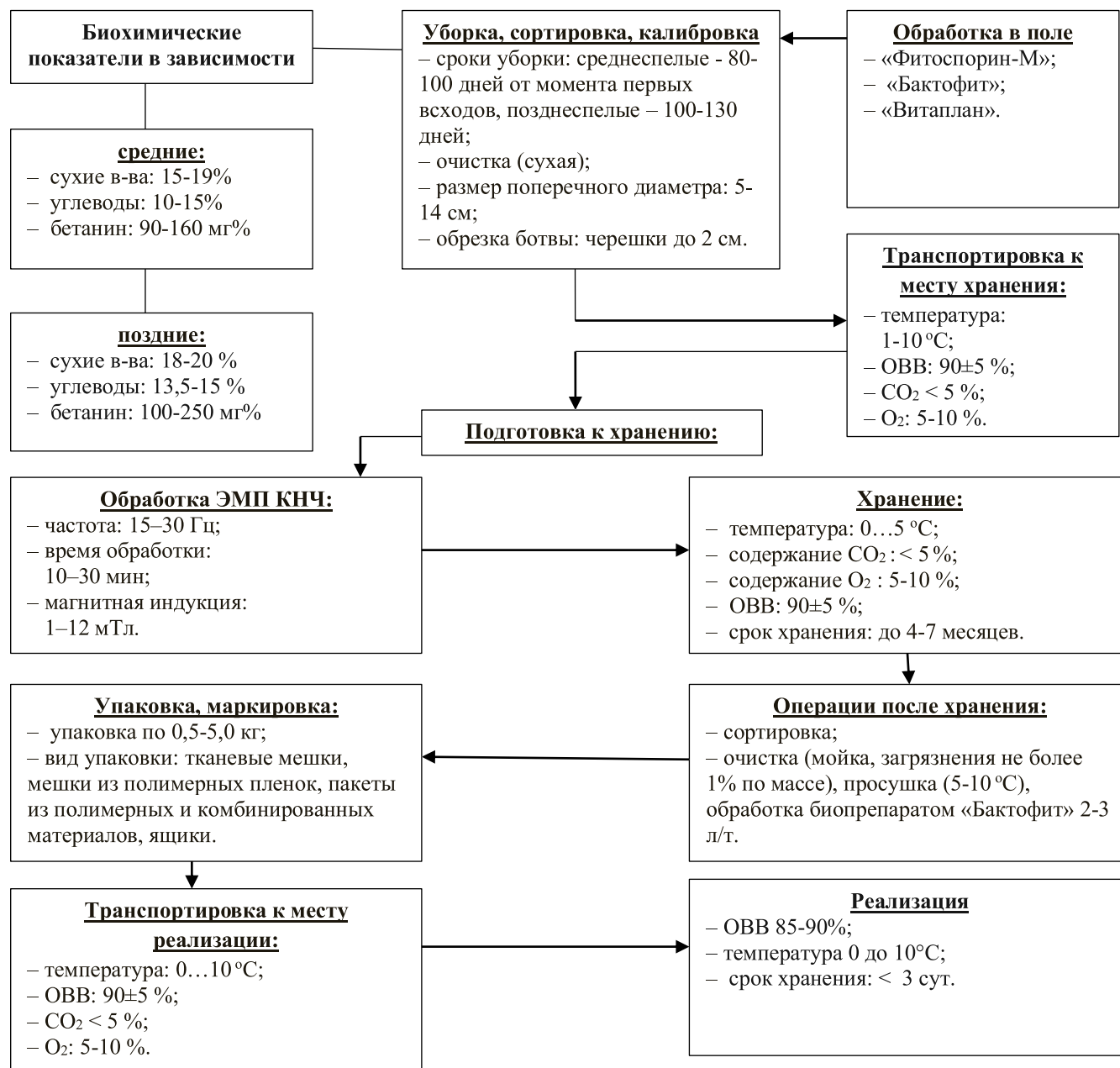


Рисунок 3

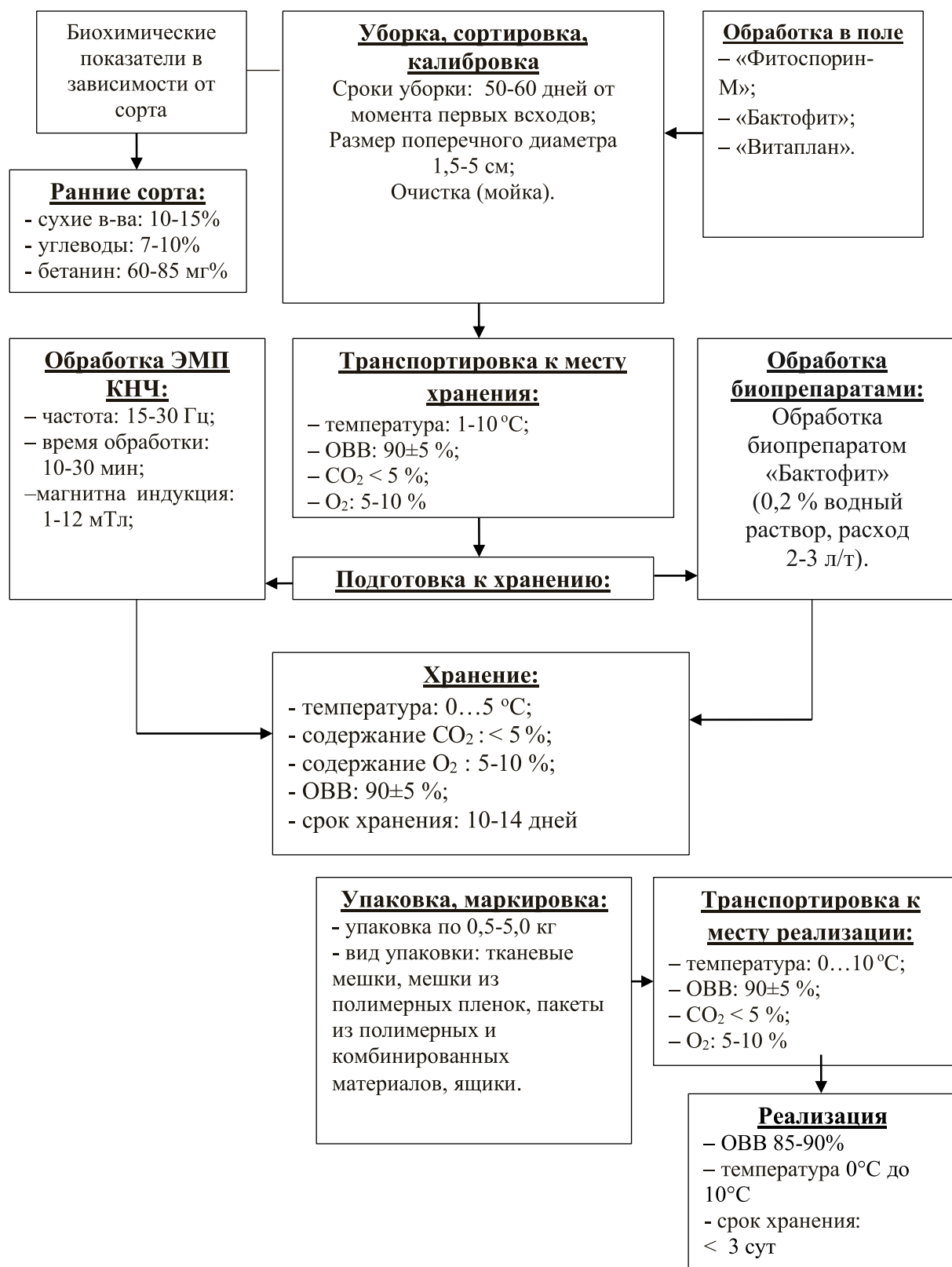
Структура данных алгоритма управления лёжкоспособностью свёклы столовой при долгосрочном хранении (варьируемые показатели)



Примечание. Составлено авторами.

Рисунок 4

Структура данных алгоритма управления лёжкоспособностью свёклы столовой ранней при краткосрочном хранении (варьируемые показатели)



Примечание. Составлено авторами.

ВЫВОДЫ

В представленном обзоре проведен анализ литературных источников и систематизированы результаты исследований, посвящённых повышению лёжкоспособности продукции растениеводства. На основе полученных систематизированных данных были сформированы алгоритмы управления лёжкоспособностью корнеплодных овощей на примере свёклы столовой; определены инструменты управления лёжкоспособностью: ботанический сорт, степень зрелости, биохимический состав, микробиологические показатели, параметры обработки, параметры хранения (варьируемые параметры — температура, влажность, состав газовой среды). Отмечено, что обработка может проводиться электромагнитными полями крайне низких частот (варьируемые параметры — величина электромагнитной индукции, частота, время обработки) и биопрепаратами (варьируемые параметры — вид и дозировка препарата).

Применение разработанных алгоритмов повышения лёжкоспособности свёклы столовой может

позволить снизить потери при хранении и обеспечить стабилизацию качественных характеристик, что, в свою очередь, позволит увеличить сроки реализации.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Купин Григорий Анатольевич: концептуализация; разработка методологии исследования; администрирование проекта; редактирование рукописи.

Першакова Татьяна Викторовна: концептуализация; проведение исследования; валидация данных; редактирование рукописи.

Алешин Владимир Николаевич: проведение исследования; администрирование данных.

Семиряжко Елизавета Сергеевна: проведение исследования; подготовка черновика рукописи.

Яковлева Татьяна Викторовна: проведение исследования; визуализация.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Глебова, С. Ю., Голуб, О. В., & Мотовилов, О. К. (2017). Использование свеклы столовой при производстве соусов для общественного питания. *Пищевая промышленность*, (10), 40–42.
- Glebova, S. Yu., Golub, O. V., & Motovilov, O. K. (2017). The use of beetroot in the production of sauces for public catering. *Food Industry*, (10), 40–42. (In Russ.)
- Касьянов, Г. И., Кириченко, А. В., Лобанов, В. Г., Назарько, М. Д., & Романец, И. И. (2019). Электрофизические и биотехнологические подходы к хранению яблок органического сада. *АгроФорум*, (7), 30–35.
- Kas'yanov, G. I., Kirichenko, A. V., Lobanov, V. G., Nazar'ko, M. D., & Romanets, I. I. (2019). Electrophysical and biotechnological approaches to the storage of organic garden apples. *AgroForum*, (7), 30–35. (In Russ.)
- Купин, Г. А., Горлов, С. М., Першакова, Т. В., & Алёшин, В. Н. (2020a). Влияние комплексной обработки электромагнитными полями крайне низкой частоты и биопрепаратами на товарное качество корнеплодов моркови и свёклы столовой при хранении. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*, 3–1(42), 208–211. <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10239>
- Kupin, G. A., Gorlov, S. M., Pershakova, T. V., & Aleshin, V. N. (2020a). The effect of complex treatment with extremely low frequency electromagnetic fields and biological products on the marketable quality of carrot and beet root crops during storage. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 3–1(42), 208–211. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10239>
- Купин, Г. А., Першакова, Т. В., Лисовой, В. В., Михайлюта, Л. В., & Алёшин, В. Н. (2020b). Влияние обработки электромагнитными полями крайне низкой частоты и биопрепаратами на органолептические показатели качества корнеплодов моркови и свёклы столовой при хранении. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*, 4–2, 50–55. <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10344>
- Kupin, G. A., Pershakova, T. V., Lisovoi, V. V., Mikhailyuta, L. V., & Aleshin, V. N. (2020b). The effect of treatment with extremely low frequency electromagnetic fields and biological preparations on the organoleptic quality indicators of carrot and beet root crops during storage. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 4–2, 50–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10344>
- Купин, Г. А., Першакова, Т. В., Лисовой, В. В., Михайлюта, Л. В., & Алёшин, В. Н. (2020c). Исследование величины потерь корнеплодов моркови и свёклы столовой в зависимости от температуры хранения и способа предварительной обработки. *Международный журнал*

- гуманитарных и естественных наук, 3–1(42), 203–207. <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10238>
- Kupin, G. A., Pershakova, T. V., Lisovoi, V. V., Mikhailyuta, L. V., & Aleshin, V. N. (2020c). Investigation of the amount of losses of carrot and beet root crops in the dining room, depending on the storage temperature and the method of pretreatment. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 3–1(42), 203–207. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10238>
- Купин, Г.А., Лисовой, В.В., Першакова, Т.В., & Михайлюта, Л.В. (2020d). Разработка технологий краткосрочного хранения корнеплодных овощей. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — Продукты здорового питания*, (2), 108–114. <https://doi.org/10.24411/2311-6447-2020-10049>
- Kupin, G. A., Lisovoi, V. V., Pershakova, T. V., & Mikhailyuta, L. V. (2020d). Development of technologies for short-term storage of root vegetables. *Technologies of The Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex — Healthy Food Products*, (2), 108–114. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2311-6447-2020-10049>
- Лысоченко, А.А. (2015). Стратегическое управление в отраслях агропромышленного комплекса и природопользования. *Journal of Economic Regulation*, 6(4), 64–78. <https://doi.org/10.17835/2078-5429.2015.6.4.064-078>
- Lysochenko, A. A. (2015). Strategic management in the fields of agro-industrial complex and environmental management. *Journal of Economic Regulation*, 6(4), 64–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.17835/2078-5429.2015.6.4.064-078>
- Назарько, М. Д., Лобанов, В. Г., Касьянов, Г. И., Усатиков, С. В., Иночкина, Е. В., & Кириченко, А. В. (2019). Разработка физико-биологических методов защиты для повышения сохранности и качества яблок. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*, 5–6(371–372), 53–57. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.5-6.14>
- Nazar'ko, M. D., Lobanov, V. G., Kas'yanov, G. I., Usatikov, S. V., Inochkina, E. V., & Kirichenko, A. V. (2019). Development of physico-biological methods of protection to improve the safety and quality of apples. *News of Universities. Food Technology*, 5–6(371–372), 53–57. (In Russ.) <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.5-6.14>
- Панасенко, Е. Ю., Першакова, Т. В., Кудинов, П. И., & Купин, Г. А. (2019). Влияние обработки биопрепаратами и электромагнитным полем на биохимический состав корнеплодных овощей при хранении. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 2–3(368–369), 75–78. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.2-3.20>
- Panasenko, E. Yu., Pershakova, T. V., Kudinov, P. I., & Kupin, G. A. (2019). The effect of treatment with biological products and electromagnetic field on the biochemical composition of root vegetables during storage. *News of Higher Educational Institutions. Food Technology*, 2–3(368–369), 75–78. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.2-3.20>
- Першакова Т.В., Купин Г.А., Алёшин В.Н., Яковлева Т.В., Бабакина М.В., Семиряжко Е.С., Тягушева А.А., & Самойленко М.В. (2022). Корнеплоды: Выращивание-Хранение-Реализация. Краснодар: КНИИХП — филиал ФГБНУ СКФНЦСВВ.
- Pershakova, T. V., Kupin, G. A., Aleshin V. N., Yakovleva T. V., Babakina M. V., Semiryazhko E.S., Tyagushcheva A.A., & Samoylenko M.V. (2022). *Root vegetables: Cultivation-Storage-Sale*. Krasnodar: KNIKhP — filial FGBNU SKFNTsSVV. (In Russ.)
- Akan, S., Horzum, Ö., & Ceren, A. (2022). The prevention of physicochemical and microbial quality losses in fresh-cut red beets using different packaging under cold storage conditions. *LWT — Food Science and Technology*, 155, Article 112877. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112877>
- Alami, L., Terouzi, W., Otmani, M., Abdelkhalek, O., Salmaoui, S., & Mbarki, M. (2021). Effect of sugar beet harvest date on its technological quality parameters by exploratory analysis. *Journal of Food Quality*, 2021, Article 6639612. <https://doi.org/10.1155/2021/6639612>
- Asgar, A. (2020). Effect of storage temperature and type of packaging on physical and chemical quality of carrot. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 443, Article 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/443/1/012002>
- Awasthi, R., Chattopadhyay, S., & Ghosh, S. (2019). Integration of solar charged PCM storage with VAR system for low capacity vegetable cold storage. *Journal of Physics: Conference Series*, 1240, Article 012070. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1240/1/012070>
- Barba-Espin, G., Glied-Olsen, S., Dzhanfezova, T., Joernsgaard, B., Lütken, H., & Müller, R. (2018). Preharvest application of ethephon and postharvest UV-B radiation improve quality traits of beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) as source of colourant. *BMC Plant Biology*, 18, Article 316. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1556-2>
- Barbosa, L.D.N., Carciofi, B.A.M., Dannenhauer, C.E., & Monteiro, A. R. (2011). Influence of temperature on the respiration rate of minimally processed organic carrots (*Daucus carota* L. cv. *Brasília*). *Food Science and Technology*, 31(1), 78–85. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000100010>
- Bodbodak, S., & Moshfeghifar, M. (2016). Advances in controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. In *Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality* (pp. 39–76). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804313-4.00002-5>
- Carrillo, C., Wilches-Pérez, D., Hallmann, E., Kazimierczak, R., & Rembiałkowska, E. (2019). Organic versus conventional beetroot. Bioactive compounds and antioxidant properties. *LWT — Food Science and Technology*, 116, Article 108552. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108552>
- Chakwizira, E., Ruiter, J. M., Maley, S., & Teixeira, E. (2016). Evaluating the critical nitrogen dilution curve for storage root crops. *Field Crops Research*, 199, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.012>
- Chhikara, N., Kushwaha, K., Sharma, P., Gat, Y., & Panghal, A. (2019). Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review. *Food Chemistry*, 272, 192–200. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.022>
- Choudhary, D. K., & Johri, B. N. (2009). Interactions of *Bacillus* spp. and plants — With special reference to induced

- systemic resistance (ISR). *Microbiological Research*, 164, 493–513. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2008.08.007>
- Cui, R., Fei, Y., & Zhu, Z. (2022). Physicochemical, structural and nutritional properties of steamed bread fortified with red beetroot powder and their changes during breadmaking process. *Food Chemistry*, 383, Article 132547. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132547>
- de Oliveira, S. P. A., de Albuquerque T. M. R., Massa N. M. L., Rodrigues N. P. A., Sampaio K. B., do Nascimento H. M. A., Lima M. S., da Conceição M. L., de Souza E. L. (2023). Investigating the effects of conventional and unconventional edible parts of red beet (*Beta vulgaris* L.) on target bacterial groups and metabolic activity of human colonic microbiota to produce novel and sustainable prebiotic ingredients. *Food Research International*, 171, Article 112998. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112998>
- Devgan, K., Kaur, P., Kumar, N., & Kaur, A. (2019). Physicochemical, microbial and sensory quality of fresh-cut red beetroots in relation to sanitization method and storage duration. *Journal of Food Science & Technology*, 56(2), 878–888. <https://doi.org/10.14674/1120-1770/ijfs.v188>
- Dzakhmisheva, I., Tamakhina, A., & Akbasheva, A. (2021). Study of the influence of electromagnetic processing on the physiological state and duration of storage of tomato fruits. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 640, Article 022054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022054>
- Edelenbos, M., Wold, A.-B., Wiczyńska, J., & Luca, A. (2020). Roots: Beetroots. In *Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce* (pp. 587–591). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804599-2.00054-5>
- Emond, J.-P. (2022). Managing product flow through postharvest systems. In *Postharvest Handling (Fourth Edition). A Systems Approach*, 363–375. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822845-6.00012-9>
- Eslami, A. S., Safaie, N., Mahmoudi, S. B., & Mojerlou, Sh. (2021). Sugar beet root rot loss: ANN and Regression models. *European Journal of Agronomy*, 131, Article 126392. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126392>
- Filimonau, V., & Ermolaev, V. A. (2021). Mitigation of food loss and waste in primary production of a transition economy via stakeholder collaboration: A perspective of independent farmers in Russia. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 359–370. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.06.002>
- Finch, H. J. S., Samuel, A. M., & Lane G. P. F. (2014). Root crops. In *Lockhart & Wiseman's Crop Husbandry Including Grassland (Ninth Edition). Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition* (pp. 362–386). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781782423928.3.362>
- Fu, Y., Shi, J., Xie, S.-Y., Zhang, T.-Y., Soladoye, O. P., & Aluko, R. E. (2020). Red beetroot betalains: Perspectives on extraction, processing, and potential health benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(42), 11595–11611. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c04241>
- Hadipour, E., Taleghani, A., Tayarani-Najaran, N., & Tayarani-Najaran, Z. (2020). Biological effects of red beetroot and betalains: A review. *Phytotherapy Research*, 34, 1847–1867. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1072-6>
- Heimler, D., Romani, A., & Ieri, F. (2017). Plant polyphenol content, soil fertilization and agricultural management: A review. *European Food Research and Technology*, 243(7), 1107–1115. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2826-6>
- Hoffmann, K., Leijdekkers, M., Ekelöf, J. & Vancutsem, F. (2018). Patterns for improved storability of sugar beet — importance of marc content and damage susceptibility of varieties in different environments. *European Journal of Agronomy*, 101, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.08.004>
- Ibragimov, M., Rakhmatov, A., & Tadjibekova, I. (2020). Electrotechnological approach for effective storage of fruits and vegetables in farms. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 614, Article 012020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/614/1/012020>
- Jedermann, R., Nicometo, M., Uysal, I., & Lang, W. (2014). Reducing food losses by intelligent food logistics. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 372, Article 20130302. <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0302>
- Jiang, H., Zhang, W., Xu, Y., Zhang, Y., Pu, Y., Cao, J., & Jiang, W. (2021). Applications of plant-derived food by-products to maintain quality of postharvest fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 1105–1119. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.010>
- Kleuker, G., & Hoffmann, C. (2022). Causes of different tissue strength, changes during storage and effect on the storability of sugar beet genotypes. *Postharvest Biology and Technology*, 183, Article 111744. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111744>
- Kristoffersen, R., Hansen, A. L., Munk, L., Cedergreen, N., & Jørgensen, L. N. (2018). Management of beet rust in accordance with IPM principles. *Crop Protection*, 111, 6–16. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.04.013>
- Lebrun, M., Bouček, J., Bímová, K.B., Kraus, K., Haisel, D., Kulhánek, M., Omara-Ojunga, C., Seyedsadr, S., Beesley, L., Soudek, P., Petrová, S., Pohořelý, M., & Trakal, L. (2022). Biochar in manure can suppress water stress of sugar beet (*Beta vulgaris*) and increase sucrose content in tubers. *Science of The Total Environment*, 814, Article 152772. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152772>
- Manohar, C. M., Kundgar, S. D., & Doble, M. (2017). Betanin immobilized LDPE as antimicrobial food wrapper. *LWT — Food Science and Technology*, 80, 131–135. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.020>
- Mikołajczyk-Bator, K. (2022). The significance of saponins in shaping the quality of food products from red beet. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 21(1), 81–90. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2022.1012>
- Natarajan, B., Kondhare, K., Hannapel, D., & Banerjee, A. (2019). Mobile RNAs and proteins: Prospects in storage organ development of tuber and root crops. *Plant Science*, 284, 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.03.019>
- Nazarko, M. D., Kasyanov, G. I., Zaporozhsky, A. A., & Kirichenko, A. V. (2021). Environmentally friendly technology for storing organically grown apples. *IOP Conference Series:*

- Earth and Environmental Science*, 689, Article 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/689/1/012038>
- Nirmal, N. P., Mereddy, R., & Maqsood, S. (2021). Recent developments in emerging technologies for beetroot pigment extraction and its food applications. *Food Chemistry*, 356, Article 129611. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129611>
- Nunes, M. C. N., Emond, J. P., Rauth, M., Dea, S., & Chau, K. V. (2009). Environmental conditions encountered during typical consumer retail display affect fruit and vegetable quality and waste. *Postharvest Biology and Technology*, 51(2), 232–241. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.07.016>
- Osipov, A., Shumaev, V., Ekielski, A., Gataullin, T., Suvorov, S., Mishurov, S., & Gataullin, S. (2022). Identification and classification of mechanical damage during continuous harvesting of root crops using computer vision methods. *IEEE Access*, 10, 28885–28894. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3157619>
- Park, S.-Y., Lee, S. H., & Nam, J.-S., (2021). Comparison of the antioxidant properties and phenolic compositions of different varieties of beets (*Beta vulgaris* L.) cultivated in Korea. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 50(10), 1058–1064. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2021.50.10.1058>
- Pershakova, T. V., Gorlov, S. M., Lisovoy, V. V., Mikhaylyuta, L. V., Babakina, M. V., & Aleshin, V. N. (2021). Influence of electromagnetic fields and microbial pesticide Vitaplan on stability of apples during storage. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 640, Article 022053. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022053>
- Porat, R., Lichter, A., Terry, L. A., Harker, R., & Buzby, J. (2018). Postharvest losses of fruit and vegetables during retail and in consumers' homes: Quantifications, causes, and means of prevention. *Postharvest Biology and Technology*, 139, 135–149. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.019>
- Rama, M. V., & Narasimham, P. (2003). Controlled-atmosphere storage. *Effects on Fruit and Vegetables. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 139, 1607–1615. <https://doi.org/10.1016/b0-12-227055-x/00292-3>
- Ravichandran, K., Smetanska, I., & Antony, U. (2020). Red beet. In *Nutritional composition and antioxidant properties of fruits and vegetables* (pp. 315–321). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00019-2>
- Sawicki, T., Bączek, N., & Wiczowski, W. (2016). Betalain profile, content and antioxidant capacity of red beetroot dependent on the genotype and root part. *Journal of Functional Foods*, 27, 249–261. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.09.004>
- Singla, M., Kumar, A., Kaur, P., & Goraya, R. K. (2020). Respiratory properties of fresh black carrot (*Dacus carota* L.) based upon non-linear enzyme kinetics approach. *Journal of Food Science & Technology*, 57, 3903–3912. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04422-5>
- Sudhakar, N., Karthikeyan, G., RajhaViknesh, M., Saranya, A. S., & Shurya, R. (2020). Technological advances in agronomic practices of seed processing, storage, and pest management: An Update. In A. K. Tiwari (Ed.) *Advances in Seed Production and Management*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4198-8_17
- Takács-Hájosa, M., & Vargas-Rubóczki, V. (2022). Evaluation of bioactive compounds in leaf and root of five beetroot varieties. *Journal of Agriculture and Food Research*, 7, Article 100280. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100280>
- Tang, X., Tan, C., Chen, A., Li, Z., & Shuai, R. (2020). Design and implementation of temperature and humidity monitoring system for small cold storage of fruit and vegetable based on Arduino. *Journal of Physics: Conference Series*, 1601, Article 062010. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1601/6/062010>
- Tanumihardjo, S. A., Suri, D., Simon, P., & Goldman, I. L. (2016). Vegetables of Temperate Climates: Carrot, parsnip, and beetroot. In *Encyclopedia of Food and Health*, 2016, 387–392. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00714-5>
- Yi, M.-R., Chang-Hee, K., & Bu, H.-J. (2017). Antioxidant and anti-inflammatory activity of extracts from red beet (*Beta vulgaris*) root. *Korean Journal of Food Preservation*, 24(3), 413–420. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2017.24.3.413>
- Zavrazhnov, A., Zuglenok, N., Zavrazhnov, A., Tolstoshein, S., & Koltsov, S. (2020). Mathematical modeling of the temperature regime in a ventilated pile of sugar beet. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 919, Article 062067. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/919/6/062067>