УДК 631; 635.1

**Разработка алгоритмов повышения лёжкоспособности корнеплодных овощей**

**Введение**. Проведение комплексных исследований в области хранения сельскохозяйственной продукции является одним из приоритетных направлений государственной политики в сфере агропромышленного комплекса, что позволяет обеспечить рынок высококачественной и конкурентоспособной продукцией отечественного производства.

**Цель**. Несмотря на активную работу учёных во всём мире, ограниченным остаётся количество исследований, рассматривающих проблему повышения лёжкоспособности сельскохозяйственной продукции как комплексную, решение которой обеспечивается на всех этапах производства продукции, начиная от подбора семенного материала и заканчивая реализаций на предприятиях торговли и общественного питания. В связи с этими целью этой работы является 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, а также результаты проведённых нами ранее исследований.

**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 анализ литературы, и систематизация результатов исследований позволили создать алгоритмы повышения лёжкоспособности свёклы столовой для долгосрочного и краткосрочного хранения, включающие такие этапы, как выбор сорта с генетически обусловленной лёжкостью, выращивание, уборка, транспортировка, подготовка к хранению, реализация на предприятиях оптовой и розничной торговли. Реализация разработанных алгоритмов может обеспечить снижение потерь при хранении, стабилизацию качественных характеристик и увеличить сроки хранения.

***Ключевые слова:*** хранение, корнеплоды, свёкла столовая, алгоритм, электромагнитные поля крайне низких частот, биопрепараты

**Введение**

Одним из важнейших приоритетов государственной политики в сфере агропромышленного производства является обеспечение населения качественными и безопасными продуктами питания.[[1]](#footnote-1) Достижению данной цели способствует проведение комплексных исследований в области хранения сельскохозяйственной продукции, отвечающей современным требованиям, что позволит не только снизить зависимость от импортных поставок, но также и обеспечить рынок высококачественной и конкурентоспособной продукцией отечественного производства.

В связи с этим, существует необходимость разработки комплексной модульной системы хранения сельскохозяйственного сырья, ориентированной на сохранение качества продукции растениеводства, а также обеспечение её безопасности. Достичь этого можно за счёт разработки новых или усовершенствования существующих алгоритмов повышения лёжкости (способности храниться в течение определённого времени без значительных потерь и снижения качества) – важнейшей хозяйственно-биологической характеристики растительного сырья. (Лысоченко, A.A. 2015; Першакова, Т. В., и др., 2018; Natarajan, B., et al., 2019; Hoffmann, K., et al., 2018).

Корнеплоды свёклы столовой по хозяйственному назначению широко используются как для пищевых целей, так и для технической переработки (Глебова, С.Ю., Голуб, O.В. & Мотовилов, O.K., 2017; Cui, R., Fei, Y., & Zhu, Z. 2022; Mikołajczyk-Bator, K., 2022). Они являются отличным источником витамина В9 и хорошим – марганца (Ravichandran, K., Smetanska, I., & Antony, U., 2020). Помимо этого, особенностью свёклы столовой является содержание беталаинов – пигментов красного или жёлтого цвета, применяемых в качестве пищевых красителей (Chhikara, N., et al., 2019; Nirmal, N.P., Mereddy, R., & Maqsood, S., 2021). Беталаины представляют интерес также как биологически активные вещества из-за своих антиоксидантных свойств (Fu, Y., et al., 2020; Hadipour, E, et al., 2020; Park, S-Y., Lee, S.H., & Nam, J-S., 2021; Yi, M.-R., Chang-Hee, K., & Bu, H.-J., 2017).

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, E., et al., 2016; Kleuker, G. & Hoffmann, C., 2022). Вследствие этого, необходимо проводить комплекс мероприятий по оптимизации процесса хранения на основе мониторинга состояния объектов хранения, а также выполнения послеуборочной обработки (Zavrazhnov, A., et al., 2020; Eslami, A.S., 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, S., Horzum, Ö., & Ceren, A., 2022; Asgar, A., 2020; Awasthi, R.,  Chattopadhyay, S., &  Ghosh, S., 2019; Barba-Espin, G.,  et al., 2018; Dzakhmisheva, I., Tamakhina, A., & Akbasheva, A., 2021; Pershakova, T.V., et al., 2021; Tang, X., et al., 2020). Доказано, что применение физических и биотехнологических приёмов при хранении сельскохозяйственной продукции позволяет продлить срок хранения сырья, а также минимизировать потери. При этом наибольшего эффекта можно достичь при использовании комплексного подхода к повышению лёжкоспособности на всех этапах производства и реализации продукции растениеводства (Devgan, K.,  et al., 2019; Ibragimov, M., Rakhmatov, A., & Tadjibekova, I., 2022; Jiang, H., et al., 2021; Sudhakar, N., et al., 2021).

Таким образом, исследования, направленные на разработку алгоритмов и инструментов повышения лёжкоспособности (снижение потерь массы сырья, а также биологически активных веществ) корнеплодных овощей при хранении, обусловленные технологическими факторами и сортовыми особенностями, являются актуальными.

В связи с этим, целью 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 процедура исследования**

В обзор были включены статьи на русском и английском языках из баз данных WoS, Scopus и РИНЦ, а также результаты проведённых нами ранее исследований. Поиск проводился за период 2000-2022 по следующим ключевым словам: beetroot, red beet, root crops, storability, postharvest, extremely low frequency electromagnetic fields, biopreparations. Максимальное внимание было уделено статьям, прошедшим процедуру рецензирования, подтверждающую их качество. В результате поиска было выделено 60 работ.

**Результаты и их обсуждение**

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, M., et al., 2020; Finch, H.J.S., Samuel, A.M., & Lane G.P.F., 2014; Sudhakar, N., 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 1.1). Также был разработан алгоритм управления лёжкоспособностью свёклы столовой при долгосрочном (рисунок 1.2) и краткосрочном (рисунок 1.3) хранении, включая варьируемые показатели, особо влияющие на качество сохранности сырья: температуру, относительную влажность воздуха (ОВВ), состав атмосферы.

Хранение:

1. Температура: 0…5 °С

2. ОВВ: 90±5 %

3. Состав атмосферы:

СО2 < 5 %, О2 5-10%.

Снятие с хранения

Обработка, контроль качества и степени зрелости в поле

Уборка

Подготовка к хранению:

Обработка ЭМП КНЧ

**Реализация**

– ОВВ 85-90%

– температура 0 до 10°С - срок хранения: < 3 сут

Выбор сорта с генетически обусловленной лёжкостью

Очистка от земли: сухая

Обрезка ботвы

Просушка продукции для потребления в свежем виде

Сортировка

Упаковка

Хранение (краткосрочное, 1-2 недели):

1. Температура: 0…5 °С

2. ОВВ: 90±5 %

3. Состав атмосферы: СО2 < 5 %, О2 5-10%.

Сортировка

Очистка от земли: влажная

(промывка)

Очистка от земли: влажная

Транспортировка

Предв. охлаждение

Транспортировка

Транспортировка

Калибровка

**Для длительного хранения или переработки**

**Для реализации в свежем виде**

*Рисунок 1.1*. Структурная схема системы «Производство – Транспортировка – Хранение – Реализация» корнеплодов [Составлено авторами]

**Биохимические показатели в зависимости от сорта**

**Уборка, сортировка, калибровка**

– сроки уборки: среднеспелые - 80-100 дней от момента первых всходов, позднеспелые – 100-130 дней;

– очистка (сухая);

– размер поперечного диаметра: 5-14 см;

– обрезка ботвы: черешки до 2 см.

**Обработка в поле**

– «Фитоспорин-М»;

– «Бактофит»;

– «Витаплан».

**средние:**

–  сухие в-ва: 15-19%

–  углеводы: 10-15%

–  бетанин: 90-160 мг%

**поздние:**

–  сухие в-ва: 18-20 %

–  углеводы: 13,5-15 %

–  бетанин: 100-250 мг%

**Подготовка к хранению:**

**Транспортировка к месту хранения:**

– температура:

1-10 oC;

– ОВВ: 90±5 %;

– СО2 < 5 %;

– О2: 5-10 %.

**Обработка ЭМП КНЧ:**

– частота: 15–30 Гц;

– время обработки:

10–30 мин;

– магнитная индукция:

1–12 мТл.

**Хранение:**

–  температура: 0…5 oC;

–  содержание СО2 :< 5%;

–  содержание О2 : 5-10 %;

–  ОВВ: 90±5 %;

–  срок хранения: до 4-7 месяцев.

**Упаковка, маркировка:**

– упаковка по 0,5-5,0 кг;

– вид упаковки: тканевые мешки, мешки из полимерных пленок, пакеты из полимерных и комбинированных материалов, ящики.

**Операции после хранения:**

– сортировка;

– очистка (мойка, загрязнения не более 1% по массе), просушка (5-10 oC),

обработка биопрепаратом «Бактофит» 2-3 л/т.

**Транспортировка к месту реализации:**

– температура: 0…10 oC;

– ОВВ: 90±5 %;

– СО2 < 5 %;

– О2: 5-10 %.

**Реализация**

– ОВВ 85-90%;

– температура 0 до 10°С;

–  срок хранения: < 3 сут.

*Рисунок 1.2.* Структура данных алгоритма управления лёжкоспособностью свёклы столовой при долгосрочном хранении (варьируемые показатели) [Составлено авторами]

Биохимические показатели в зависимости от сорта

**Ранние сорта:**

- сухие в-ва: 10-15%

- углеводы: 7-10%

- бетанин: 60-85 мг%

**Уборка, сортировка, калибровка**

* Сроки уборки: 50-60 дней от момента первых всходов;
* Размер поперечного диаметра 1,5-5 см;
* Очистка (мойка).

**Транспортировка к месту хранения:**

– температура: 1-10 oC;

– ОВВ: 90±5 %;

– СО2 < 5 %;

– О2: 5-10 %

**Упаковка, маркировка:**

**-** упаковка по 0,5-5,0 кг

- вид упаковки: тканевые мешки, мешки из полимерных пленок, пакеты из полимерных и комбинированных материалов, ящики.

**Реализация**

– ОВВ 85-90%

– температура 0°С до 10°С

- срок хранения:

< 3 сут

**Хранение:**

- температура: 0…5 oC;

- содержание СО2 :< 5%;

- содержание О2 : 5-10 %;

- ОВВ: 90±5 %;

- срок хранения: 10-14 дней

**Обработка ЭМП КНЧ:**

– частота: 15-30 Гц;

– время обработки:

10-30 мин;

–магнитна  индукция:

1-12 мТл;

**Обработка биопрепаратами:**

Обработка

биопрепаратом

«Бактофит» (0,2 % водный раствор, расход 2-3 л/т).

**Транспортировка к месту реализации:**

– температура: 0…10 oC;

– ОВВ: 90±5 %;

– СО2 < 5 %;

– О2: 5-10 %

**Подготовка к хранению:**

**Обработка в поле**

– «Фитоспорин-М»;

– «Бактофит»;

– «Витаплан».

*Рисунок 1.3*. Структура данных алгоритма управления лёжкоспособностью свёклы столовой ранней при краткосрочном хранении (варьируемые показатели) [Составлено авторами]

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, K., Smetanska, I., & Antony, U., 2020). Объяснить это можно тем, что, например, бетанин (соединение из группы беталаинов), по данным ряда исследователей, обладает помимо прочего ещё и антибактериальной активностью (Manohar, C.M., Kundgar, S.D., & Doble, M., 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, K., Smetanska, I., & Antony, U., 2020; Tanumihardjo, S.A., et al., 2016). При этом содержание бетанина и других веществ в корнеплодах может значительно отличаться в зависимости от сорта (Sawicki, T., Bączek, N., & Wiczkowski, W., 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, M. 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, C., et al., 2019; Heimler, D., Romani, A., & Ieri, F., 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, D.K., & Johri, B.N., 2009; Kristoffersen, R., et al., 2018). Среди биологических фунгицидов отечественного производства можно отметить такие препараты на основе различных штаммов *Bacillus subtilis,* как, например, Фитоспорин-М, Бактофит, Витаплан.

На качество и лёжкоспособность растительного сырья также влияет выбор даты сбора урожая (Alami, L., 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, M., et al., 2020; Takács-Hájosa, M., & Vargas-Rubóczki, V., 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, A., 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 (Алёшин, В.Н., и др., 2018). 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, S., Horzum, Ö. & Ceren, A., 2022; Barbosa, L.D.N.., Dannenhauer, C.E., & Monteiro, A.R., 2011; Singla, M., 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 О2 5-10 % и СО2 < 5 % (Алёшин, В.Н., и др., 2018; Bodbodak, S., & Moshfeghifar, M. 2016; Rama, M.V. & Narasimham, P., 2003).

В проведённых нами ранее исследованиях (Першакова, Т.В., и др., 2018) 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, Г.А., и др., 2020a), органолептические показатели (Купин, Г.А., и др., 2020b), величину потерь (Купин, Г.А., и др., 2020c) и биохимические показатели (Панасенко, Е.Ю., и др., 2019). На основе установленных закономерностей были выявлены, к примеру, оптимальные параметры обработки корнеплодов перед последующим краткосрочным хранением. При этом было показано, что лёжкоспособность 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, Г.А., и др., 2020d).

Следует заметить, что изучением влияния электромагнитных полей на устойчивость растительного сырья при хранении занимаются и другие исследователи. Например, в работах (Касьянов, Г.И., и др., 2019; Назарько, М.Д., и др., 2019; Nazarko, M.D., 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, M., et al., 2020).

При этом возможно хранение свёклы в условиях регулируемой атмосферы. Увеличенная концентрация СО2 и пониженная О2 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 О2 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 %, О2 5…10 %. Впрочем, хранение корнеплодов свёклы столовой в регулируемой атмосфере не позволяет существенно повысить их лёжкость, так что практикуется нечасто (Алёшин, В.Н., и др., 2018; Edelenbos, M., et al., 2020; Rama, M.V. & Narasimham, P., 2003).

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 °C (Купин, Г.А., и др., 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, R., 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, J.-P., 2022).

Причём этапу пребывания продукции на предприятиях розничной торговой сети («на полке») следует уделять не меньше внимания, чем остальным этапам. Так, в работе (Nunes, M.C.N., 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 °C до 19,2 °C в охлаждаемых витринах и от 7,6 °C до 27,7 °C 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, R., 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, V., & Ermolaev, V.A., 2021).

**Выводы**

Таким образом, как в результате проведенных нами ранее исследований, так и обзора других работ были сформулированы 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). 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).

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.

**Список литературы**

Алёшин, В.Н., Першакова, Т.В., Купин, Г.А., Горлов, С.М., Яцушко, Е.С., & Панасенко, Е.Ю. (2018). *Свёкла столовая: Выращивание и хранение в условиях юга России. Методические рекомендации.* Краснодар, Издательский Дом - Юг. https://elibrary.ru/item.asp?id=36268815

Глебова, С.Ю., Голуб, О.В. & Мотовилов, O.K. (2017). Использование свеклы столовой при производстве соусов для общественного питания.*Пищевая промышленность, 10,* 40-42. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30318136

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. https://elibrary.ru/item.asp?id=40640716

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

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

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

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

Лысоченко, A.A. (2015). Стратегическое управление в отраслях агропромышленного комплекса и природопользования. *Journal of Economic Regulation, 4*, 64-78. DOI: 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. DOI: 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*, 75-78. https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.2-3.20

Першакова, Т.В., Купин, Г.А., Алёшин, В.Н., Горлов, С.М., Лисовой, В.В., Михайлюта, Л.В., Яцушко, Е.С., Панасенко, Е.Ю., & Бабакина, М.В. (2018). Выявить закономерности влияния предварительной обработки корнеплодов овощей электромагнитными полями и биопрепаратами на эффективность снижения микробной контаминации, снижение потерь, стабилизацию качества и максимальное сохранение биологически активных веществ в процессе хранения. *Отчет о НИР (Министерство науки и высшего образования РФ).* 144. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37524697

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*, *155*, 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*, 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,* 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*, 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*, p. 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,* 39–76*.* 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, 116*, 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*, 132547. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132547

Devgan, K.,  Kaur, P.,  Kumar, N., &  Kaur, A. (2019). Physicochemical, microbial and sensory quality of fresh-cut red beetroots in relation to sanization 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,* 022054. https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022054

Edelenbos, M., Wold, A.-B., Wieczynska, J., & Luca, A. (2020). Roots: Beetroots. In *Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce*, 587-591. 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*, 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*, 362-386. 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*, 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*, 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*, 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*, 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-Ojungu, 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*, 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, 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*, 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*, 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*, 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,* 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*.* In *Effects on Fruit and Vegetables. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition, 1607–1615.* doi: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*, 315-321. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00019-2

Sawicki, T., Bączek, N., & Wiczkowski, 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: Tiwari, A.K. (eds) *Advances in Seed Production and Management*. Springer, Singapore. 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*, 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,* 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*, 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 vulagaris) root. *Korean JFood Preserv., 24(3)*, 413-420. DOI: 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, 062067. https://doi.org/10.1088/1757-899X/919/6/062067

**Development of algorithms for increasing the keeping quality of root vegetables**

Conducting comprehensive research in the field of storage of agricultural products is one of the priority directions of state policy in the sphere of agroindustrial complex, which allows providing the market with high-quality and competitive products of domestic production. Despite the active work of scientists around the world, the number of studies that consider the problem of increasing the keeping quality of agricultural products as a complex one, the solution of which is provided at all stages of production, from the selection of seed material to sales at trade and catering enterprises, remains limited. In this regard, the purpose of this work is to analyze and systematize the results of research on improving the keeping quality of crop products, and to develop on their basis algorithms for increasing the keeping quality of root vegetables using beetroot as an example. The review included articles in Russian and English from the WoS, Scopus and RSCI databases, as well as the results of our previous studies. In the course of the study, the tools for managing the keeping quality were determined: botanical variety, degree of maturity, biochemical composition, microbiological indicators, treatment parameters, storage parameters (temperature, relative humidity, composition of the gaseous medium). In this case, the treatment can be carried out by electromagnetic fields of extremely low frequencies (variable parameters - the magnitude of electromagnetic induction, frequency, treatment time) and biological preparations (variable parameters - the type and dosage of the drug). The analysis of the literature and the systematization of the research results made it possible to create algorithms for increasing the keeping quality of beetroot for long-term and short-term storage, including such stages as choosing a variety with a genetically determined keeping quality, cultivation, harvesting, transportation, preparation for storage, sale at wholesale and retail enterprises. The implementation of the developed algorithms can provide a reduction in storage losses, stabilization of quality characteristics and increase the shelf life.

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

**References**

Aleshin, V.N., Pershakova, T.V., Kupin, G.A., Gorlov, S.M., Yatsushko, E.S., & Panasenko, E.Yu. (2018). *Svekla stolovaya: Vyrashchivanie i khranenie v usloviyakh yuga Rossii. Metodicheskie rekomendatsii* [*Beetroot: Cultivation and storage in the conditions of the south of Russia. Guidelines*]. Krasnodar, Izdatel'skiy Dom - Yug. https://elibrary.ru/item.asp?id=36268815

Glebova, S.Yu., Golub, O.V. & Motovilov, O.K. (2017). Ispol'zovanie svekly stolovoy pri proizvodstve sousov dlya obshchestvennogo pitaniya [The justification of using beet in the production of sauces for foodservice]. *Pishchevaya promyshlennost, 10*, 40-42. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30318136

Kasyanov, G.I., Kirichenko, A.V., Lobanov, V.G., Nazarko, M.D., & Romanets, I.I. (2019). Elektrofizicheskie i biotekhnologicheskie podkhody k khraneniyu yablok organicheskogo sada [Electrophysical and biotechnological approaches to the storage of organic orchard apples]. *AgroForum, 7*, 30-35. https://elibrary.ru/item.asp?id=40640716

Kupin, G.A., Gorlov, S.M., Pershakova, T.V., & Aleshin, V.N. (2020a). Vliyanie kompleksnoy obrabotki elektromagnitnymi polyami krayne nizkoy chastoty i biopreparatami na tovarnoe kachestvo korneplodov morkovi i svekly stolovoy pri khranenii [Influence of complex treatment with extremely low frequency electromagnetic fields and microbial pesticides of carrot and red beet taproots on commercial quality during storage]. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk, 3-1 (42)*, 208-211. https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10239

Kupin, G.A., Pershakova, T.V., Lisovoy, V.V., Mikhaylyuta, L.V., & Aleshin, V.N. (2020b). Vliyanie obrabotki elektromagnitnymi polyami krayne nizkoy chastoty i biopreparatami na organolepticheskie pokazateli kachestva korneplodov morkovi i svekly stolovoy pri khranenii [Influence of treatment with extremely low frequency electromagnetic fields and microbial pesticides on organoleptic quality indicators of carrot and red beet taproots during storage]. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk, 4-2*, 50-55. https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10344

Kupin, G.A., Pershakova, T.V., Lisovoy, V.V., Mikhaylyuta, L.V., & Aleshin, V.N. (2020c). Issledovanie velichiny poter' korneplodov morkovi i svekly stolovoy v zavisimosti ot temperatury khraneniya i sposoba predvaritel'noy obrabotki [Research of size of losses of carrot and red beet taproots at different storage temperatures depending on method of preliminary treatment]. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk, 3-1 (42)*, 203-207. https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10238

Kupin, G.A., Lisovoy, V.V., Pershakova, T.V., & Mikhaylyuta, L.V. (2020d). Razrabotka tekhnologiy kratkosrochnogo khraneniya korneplodnykh ovoshchey [Development of technologies for short-term storage of root vegetables]. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – Produkty zdorovogo pitaniya, 2*, 108-114. https://doi.org/10.24411/2311-6447-2020-10049

Lysochenko, A.A. (2015). Strategicheskoe upravlenie v otraslyakh agropromyshlennogo kompleksa i prirodopolzovaniya [Strategic management in the agro-industrial complex and environment]. *Journal of Economic Regulation, 4*, 64-78. DOI: 10.17835/2078-5429.2015.6.4.064-078

Nazarko, M.D., Lobanov, V.G., Kasyanov, G.I., Usatikov, S.V., Inochkina, E.V., & Kirichenko A.V. (2019). Razrabotka fiziko-biologicheskikh metodov zashchity dlya povysheniya sokhrannosti i kachestva yablok [Development of physical and biological methods of protection to improve the safety and quality of apples]. *Izvestiya VUZov. Pishchevaya tekhnologiya, 5-6 (371-372)*, 53-57. https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.5-6.14

Panasenko, E.Yu., Pershakova, T.V., Kudinov, P.I., & Kupin, G.A. (2019). Vliyanie obrabotki biopreparatami i elektromagnitnym polem na biokhimicheskiy sostav korneplodnykh ovoshchey pri khranenii [Influence of treatment with biological preparations and electromagnetic field on the biochemical composition of root vegetables during storage]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya, 2-3*, 75-78. https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.2-3.20

Pershakova, T.V., Kupin, G.A., Aleshin, V.N., Gorlov, S.M., Lisovoy, V.V., Mikhaylyuta, L.V., Yatsushko, E.S., Panasenko, E.Yu., & Babakina, M.V. (2018). Vyyavit' zakonomernosti vliyaniya predvaritel'noy obrabotki korneplodov ovoshchey elektromagnitnymi polyami i biopreparatami na effektivnost' snizheniya mikrobnoy kontaminatsii, snizhenie poter', stabilizatsiyu kachestva i maksimal'noe sokhranenie biologicheski aktivnykh veshchestv v protsesse khraneniya [To reveal patterns of influence of pre-treatment of vegetable roots with electromagnetic fields and biological preparations on the effectiveness of reducing microbial contamination, reducing losses, stabilizing quality and maximizing the preservation of biologically active substances during storage]. *Otchet o NIR (Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya RF)*. 144 pp. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37524697

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*, *155*, 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*, 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,* 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*, 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*, p. 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,* 39–76*.* 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, 116*, 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*, 132547. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132547

Devgan, K.,  Kaur, P.,  Kumar, N., &  Kaur, A. (2019). Physicochemical, microbial and sensory quality of fresh-cut red beetroots in relation to sanization 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,* 022054. https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022054

Edelenbos, M., Wold, A.-B., Wieczynska, J., & Luca, A. (2020). Roots: Beetroots. In *Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce*, 587-591. 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*, 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*, 362-386. 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*, 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*, 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*, 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*, 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-Ojungu, 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*, 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, 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*, 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*, 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*, 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,* 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*.* In *Effects on Fruit and Vegetables. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition, 1607–1615.* doi: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*, 315-321. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00019-2

Sawicki, T., Bączek, N., & Wiczkowski, 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: Tiwari, A.K. (eds) *Advances in Seed Production and Management*. Springer, Singapore. 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*, 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,* 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*, 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 vulagaris) root. *Korean JFood Preserv., 24(3)*, 413-420. DOI: 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, 062067. https://doi.org/10.1088/1757-899X/919/6/062067

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 [↑](#footnote-ref-1)