

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2570>
<https://elibrary.ru/WGNMAY>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Влияние обработки моркови и капусты электромагнитным полем крайне низкой частоты перед сушкой на показатели продукции



Г. А. Купин^{ORCID}, Т. В. Першакова*^{ORCID},
А. А. Тягушева^{ORCID}, Е. С. Семиряжко^{ORCID}

Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки
сельскохозяйственной продукции^{ORCID}, Краснодар, Россия

Поступила в редакцию: 10.06.2024

Принята после рецензирования: 16.09.2024

Принята к публикации: 01.04.2025

*Т. В. Першакова: 7999997@inbox.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-8528-0966>

Г. А. Купин: <https://orcid.org/0000-0002-7780-3333>

А. А. Тягушева: <https://orcid.org/0000-0003-1236-1148>

Е. С. Семиряжко: <https://orcid.org/0000-0003-2750-5749>

© Г. А. Купин, Т. В. Першакова, А. А. Тягушева,
Е. С. Семиряжко, 2025



Аннотация.

Корнеплоды и кочанная капуста – важные овощные культуры. Однако увеличение объема производства овощей ограничено небольшим сроком хранения и уязвимостью урожая к порче. Сушка сочного растительного сырья позволяет продлить период его потребления, но, чтобы предотвратить чрезмерное ухудшение качества, необходимо тщательно выбирать способ (включая предварительную обработку) и параметры процесса. Цель исследования – изучить влияние обработки моркови столовой и капусты белокочанной электромагнитным полем крайне низкой частоты перед конвективной сушкой на интенсивность процесса и микробиологические показатели полученной продукции.

Объекты исследования – морковь столовая гибридов Ред Кор F1, Борец F1 и капуста белокочанная гибридов Олимп F1, Агрессор F1. Их обработку проводили электромагнитным полем крайне низкой частоты (25 Гц, 1 мТл, 15 мин), резали на тонкие бруски: морковь – толщиной 0,3–0,5 мм, капусту – 0,5–0,7 мм. Сушили горячим воздухом в дегидраторе Oberhof Fruchttrockner D-47. После сушки образцы хранили в пластиковых пакетах с ziplock застежкой в течение 3 месяцев при температуре 25 ± 2 °C и относительной влажности воздуха 75 %. Уровни КМАФАнМ перед закладкой образцов на хранение, а также через 1 и 3 месяца изучали в соответствии с ТР ТС 021/2011.

Предварительная обработка электромагнитным полем крайне низкой частоты способствовала более быстрому высушиванию – моркови (выход сухого продукта на 0,4–0,9 % меньше, чем в контрольных образцах) и менее интенсивному – капусты белокочанной (выход сухого продукта на 2,8–3,9 % больше, чем в контрольных образцах). При этом оба исследованных варианта сушки моркови (55 °C в течение 7 ч и 65 °C в течение 5 ч) позволили получить допустимые значения микробиальной обсемененности на протяжении всего времени хранения. Предварительная обработка электромагнитным полем крайне низкой частоты снизила КМАФАнМ на 10,7–34,5 % по сравнению с контролем. Образцы капусты, высушенные при 65 °C в течение 3 ч, имели допустимые значения микробиальной обсемененности (хотя обработка электромагнитным полем крайне низкой частоты привела к увеличению КМАФАнМ на 9,5–12,5 % по сравнению с контролем). Образцы капусты, высушенные при 55 °C в течение 4 ч, имели превышение норм микробиальной обсемененности по всем исследуемым показателям.

Полученные данные могут быть использованы при разработке новых методов сушки моркови и капусты с использованием электромагнитного поля крайне низкой частоты.

Ключевые слова. Морковь, капуста белокочанная, сушка, электромагнитные поля, крайне низкая частота, микробиологическая обсемененность

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда и Кубанского научного фонда (проект № 24-26-20051).

Для цитирования: Купин Г. А., Першакова Т. В., Тягушева А. А., Семиряжко Е. С. Влияние обработки моркови и капусты электромагнитным полем крайне низкой частоты перед сушкой на показатели продукции. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 272–283. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2570>

Pre-Drying Treatment of Carrots and Cabbage with Extremely Low Frequency Electromagnetic Field



Grigory A. Kupin^{ORCID}, Tatiana V. Pershakova*^{ORCID},
Anna A. Tyagusheva^{ORCID}, Elizaveta S. Semiryazhko^{ORCID}

Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products^{ORCID}, Krasnodar, Russia

Received: 10.06.2024
Revised: 16.09.2024
Accepted: 01.04.2025

*Tatiana V. Pershakova: 7999997@inbox.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-8528-0966>
Grigory A. Kupin: <https://orcid.org/0000-0002-7780-3333>
Anna A. Tyagusheva: <https://orcid.org/0000-0003-1236-1148>
Elizaveta S. Semiryazhko: <https://orcid.org/0000-0003-2750-5749>

© G.A. Kupin, T.V. Pershakova, A.A. Tyagusheva, E.S. Semiryazhko, 2025



Abstract.

Tubers and cabbage are strategically important crops. However, their volume production is limited by their short shelf-life and vulnerability to spoilage. Drying makes it possible to extend the shelf-life but often damages the quality. As a result, the processing and pre-treatment should be calibrated for optimal parameters. In this research, carrots and white cabbage were treated with an extremely low-frequency electromagnetic field before convective drying to study the effect of various modes on the microbiological profile of the vegetables.

The research featured carrots of the Red Core F1 and Borets F1 hybrids and white cabbage of the Olimp F1 and Agressor F1 hybrids. The carrots and cabbage were treated with an extremely low-frequency electromagnetic field (25 Hz, 1 mT, 15 min) and cut into thin bars (0.3–0.5 mm and 0.5–0.7 mm, respectively). After being dried in an Oberhof Fruchttrockner D-47 hot-air dehydrator, the samples were stored in plastic ziplock bags at $25 \pm 2^\circ\text{C}$ and a relative air humidity of 75% for 3 months. The QMAFAnM levels were studied in line with Technical Regulation of Customs Union TR CU 021/2011 before storage and after 1 and 3 months. As for the carrot samples, the preliminary treatment with an extremely low-frequency electromagnetic field accelerated the drying process: the dry product yield was 0.4–0.9% lower than in the control samples. The experimental drying process was less intense for cabbage, with the dry product yield being 2.8–3.9% higher than the control. For the carrots, the drying options were 55°C for 7 h and 65°C for 5 h. Both modes provided permissible values of microbial contamination throughout the entire storage period. The preliminary treatment with an extremely low-frequency electromagnetic field reduced the QMAFAnM by 10.7–34.5%. The cabbage samples dried at 65°C for 3 h had permissible values of microbial contamination. However, the experimental pretreatment led to an increase in QMAFAnM by 9.5–12.5% compared to the control. The cabbage samples dried at 55°C for 4 h exceeded the microbial contamination standards for all parameters.

The data obtained may help to develop new methods for drying carrots and cabbage using an extremely low-frequency electromagnetic field.

Keywords. Carrots, white cabbage, drying, electromagnetic field, extremely low frequency, microbiological contamination

Funding. The project was supported by the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation (project No. 24-26-20051).

For citation: Kupin GA, Pershakova TV, Tyagusheva AA, Semiryazhko ES. Pre-Drying Treatment of Carrots and Cabbage with Extremely Low Frequency Electromagnetic Field. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):272–283. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2570>

Введение

Кочанная капуста и корнеплоды являются важными овощными культурами. По данным ФАО, доля корнеплодов от сборов основных овощных культур в мире в 2022 г. составила 3,60 %, а доля кочанной капусты – 6,19 %. В Российской Федерации эти доли представляют 10,30 и 17,37 % соответственно. Производство данных культур в мире, как и другого сочного растительного сырья, постепенно возрастает, что является следствием

увеличения численности населения и стремления людей к здоровому питанию. Так, объемы сбора кочанной капусты за период 2002–2022 гг. в мире возросли на 6,14 % (с 68,40 до 72,60 млн т), а корнеплодов – на 82,84 % (с 23,10 до 42,23 млн т).

Однако с увеличением объема производства овощей встает вопрос сокращения потерь урожая, поскольку срок хранения ограничен и потери могут превышать 30–50 % [1, 2]. Многократно продлить период потребления

сочного растительного сырья позволяет такой способ консервации, как сушка. В высушенном материале снижается содержание влаги, что приводит к остановке процессов жизнедеятельности, а микроорганизмы на его поверхности в большинстве случаев погибают или прекращают развиваться [3]. К недостаткам сушки относят ухудшение органолептических показателей и снижение содержания биологически активных веществ под действием высоких температур [4, 5]. А также увеличение себестоимости получаемого продукта в случае использования неоптимальных параметров процесса (избыточная продолжительность или температура) или сложного оборудования (например, при сублимационной сушке) [6, 7].

Таким образом, чтобы сохранить качество продукции на достаточном уровне, необходимо тщательно подбирать способ и параметры сушки [8]. При этом параметры процесса могут существенно различаться для сельскохозяйственных культур, что объясняется неодинаковым химическим составом, влияющим на органолептические показатели конечного продукта [9]. Дополнительно сократить время сушки, а также улучшить органолептические характеристики (например, предотвратить потемнение) можно за счет предварительной обработки растительного сырья [10, 11].

При производстве сушеных фруктов и овощей особое значение имеет контроль микробиологической обсемененности. Производство сушеных фруктов и овощей значительно выросло за последнее десятилетие в результате высокого спроса как со стороны розничных потребителей, так и промышленности. Но по-прежнему происходят инциденты, связанные с загрязнением продукции бактериями и вирусами, вызывающими пищевые отравления. Проблема микробиологической безопасности не решена в полной мере, и одного только процесса сушки бывает недостаточно, чтобы контролировать эту угрозу. Более того, некоторые исследователи, занимающиеся вопросами дезинфекции растительного сырья, заявляют, что в ряде случаев сушка лишь усложняет им задачу. В частности, Н. Yarabbi *et al.* изучили возможность снижения микробальной популяции на поверхности свежих овощей и сушеных фруктов с помощью холодной атмосферной плазмы. С этой целью объекты исследования были намеренно обсеменены микроорганизмами *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* и *Aspergillus niger*. В результате холодная плазма позволила сократить численность этих микроорганизмов, тем не менее их устойчивость на поверхности сушеного сырья увеличивалась из-за пониженной влажности среды [12]. В этом случае дополнительная обработка сырья перед сушкой или после нее – эффективное решение [13].

Интерес представляют исследования, изучающие влияние различных способов предварительной обработки сочного растительного сырья на эффективность процесса сушки и характеристики продукции. В работах [14, 15] рассмотрен такой способ предвари-

тельной обработки фруктов и овощей перед сушкой, как воздействие импульсного электрического поля. Данный способ обработки позволил улучшить кинетику сушки (повысить интенсивность потери влаги сырьем, сократить продолжительность процесса, снизить энергоемкость), что позитивно сказалось на физико-химических и органолептических характеристиках продукта, а также уменьшило микробиологическую обсемененность за счет инактивации микроорганизмов на поверхности сырья.

Р. Rani и Р. Р. Tripathy перед сушкой провели предварительную обработку нарезанных ананасов горячим воздухом с использованием ультразвука в течение 20 и 30 мин, а также раствора пиросульфита калия. Эти виды обработки привели к сокращению времени сушки на 19,0; 14,3 и 23,8 % соответственно, а также позитивно сказались на таких показателях качества, как твердость и цвет [16]. Изучение влияния бланширования горячей водой (30 с), ультразвука и их сочетания на процесс сушки капусты белокочанной и ее конечного качества показало, что данные методы воздействия сокращают время сушки. При этом бланширование более эффективно, чем ультразвуковая обработка, и позволило получить продукт лучшего качества (зеленый цвет, высокое содержание витамина С). Наибольшее же сокращение времени сушки было достигнуто за счет комплексной (последовательной) обработки горячей водой и ультразвуком [17].

Помимо горячей воды для бланширования растительного сырья применяются и другие способы, например в работе [18]. Так, нарезанную морковь подвергали инфракрасному бланшированию перед сушкой горячим воздухом. Бланширование при температурах 60, 70 и 80 °С сократило время сушки на 32,3; 41,1 и 45,0 % соответственно. Полученный продукт, по сравнению с образцом без предварительной обработки, отличался более красным цветом и хрустящей структурой, повышенным содержанием витамина С, а также сниженной активностью фермента пероксидаза. L. Z. Deng *et al.* [19] рассматривали влияние бланширования горячим воздухом высокой влажности перед сушкой абрикосов на характеристики процесса и качество продукции. Обработка привела к сокращению времени сушки на 20,7–34,5 % и твердости на 46,57–71,89 %, что вызвало изменения структуры клеточных стенок и состава пектина (возросла доля водорастворимой фракции и сократились другие).

Холодная плазма может использоваться не только для дезинфекции различных поверхностей, но и как способ предварительной обработки растительного сырья перед сушкой. Согласно исследованию [20], умеренное по продолжительности воздействие холодной плазмы на плоды унаби позволяло значительно сократить время последующей конвективной сушки. При этом, по сравнению с контролем, в обработанном образце возрастало содержание ряда биологически активных фенольных веществ. Однако более продол-

жительное воздействие холодной плазмы сопровождалось нежелательными изменениями в цвете из-за перегрева поверхности сырья. С. С. Huang *et al.* использовали холодную плазму для предварительной обработки винограда, что повреждало восковое покрытие на поверхности ягод и приводило к увеличению ее гидрофильности на 40 %. Это облегчало испарение влаги, в итоге продолжительность сушки сократилась более чем на 20 %, к тому же содержание фенольных веществ оказалось в два раза выше, чем в контроле [21].

К достаточно эффективным способам обработки растительного сырья перед сушкой также относят воздействие высокого давления и осмотическое дегидрирование. Так, по данным ряда исследований, применение высокого давления улучшает взаимодействие между ковалентными и нековалентными связями в материале в процессе обезвоживания, что способствует инактивации ферментов и гибели микроорганизмов при сохранении запаха, вкуса и биологически активных веществ. А осмотическое дегидрирование, проводимое за счет погружения сырья в специальный раствор, позволяет повысить интенсивность последующей сушки и лучше сохранить пищевую ценность и органолептические показатели в получаемом продукте [22].

Одним из видов физической обработки является воздействие электромагнитными полями крайне низкой (диапазон 3–30 Гц) и сверх низкой (диапазон 30–300 Гц) частоты (ЭМП КНЧ/СНЧ). Согласно данным Международной комиссии по защите от неионизирующего излучения, характерной особенностью электромагнитных полей КНЧ и СНЧ является то, что они не вызывают нагрев тканей биологических объектов (в отличие от электромагнитного излучения с более высокой частотой). Вместо этого в обрабатываемых объектах возникает электрический ток, что влияет на протекание различных биохимических процессов, таких как транспортирование ионов через клеточные мембраны или действие ферментов.

Ранние исследования авторов показали, что такая обработка фруктов и овощей стала причиной изменения их биохимических показателей. Было изучено влияние предварительной обработки ЭМП КНЧ с частотой 25 Гц и индукцией магнитного поля 10 мТл в течение 30 мин на массовую долю полифенолов и активность фермента пероксидазы в белокочанной и цветной капусте при хранении (3 недели, температура 4 ± 1 °С, относительная влажность воздуха 75 ± 3 %). Активность пероксидазы в образцах белокочанной капусты через 1 неделю хранения была на 70 % выше, чем в контроле, а через 3 недели – на 25 %. Массовая доля полифенольных веществ снизилась на 5,29–16,09 мг%. В цветной капусте активность пероксидазы возросла через 1 неделю на 54 %, через 2 недели – на 62 %; массовая доля полифенолов увеличилась на 8,81–10,71 мг% [23]. Изучено влияние ЭМП КНЧ и СНЧ на изменение активности пероксидазы и содержание полифенольных веществ в яблоках сорта Айдаред.

Объекты исследования были обработаны перед закладкой на хранение при температуре 2 ± 1 °С и относительной влажности воздуха 75 ± 3 %. Активность пероксидазы в контрольных образцах через 1 неделю хранения при охлаждении снизилась на 27,7 %. В образцах, обработанных ЭМП КНЧ (22 Гц, 8 мТл, 40 мин) и ЭМП СНЧ (35 Гц, 12,5 мТл, 30 мин), этот показатель возрос на 30,8 и 126,4 % соответственно. Обработки ЭМП КНЧ и СНЧ привели к увеличению содержания полифенольных соединений в яблоках через 1 неделю хранения на 10,6 и 219,7 мг/100 г соответственно [24].

Помимо биохимических показателей воздействие низкочастотных электромагнитных полей на растительное сырье выражается в увеличении его устойчивости к микробиологической порче. Идентичные экспериментальные данные были получены как авторами, так и другими исследователями. Например, авторами изучено влияние нескольких типов обработки на показатели товарного качества и срок хранения ягод земляники садовой. Ягоды были обработаны ЭМП КНЧ (30 Гц, 6 мТл, 30 мин). Обработка ягод привела к отсутствию микробиологической порчи в течение 7 суток хранения при температуре 5 ± 1 °С и относительной влажности воздуха 75 ± 3 %. Хотя в то же время наблюдалось увеличение потерь от естественной убыли массы до 17–19 % по сравнению с 13–14 % в контрольных образцах [25]. В исследовании [24] показано, что предварительная обработка яблок ЭМП КНЧ и СНЧ снижает степень их поражения фитопатогенным микроорганизмом *Aspergillus niger* в процессе хранения. Диаметр поражения сократился с 4,6 см в образцах без обработки (контроль) до 4,0 см (ЭМП КНЧ с частотой 22 Гц) и 2,7 см (ЭМП СНЧ – 35 Гц) при температуре 25 ± 1 °С, а также с 2,2 см до 1,1 см и 0,4 см соответственно при температуре 2 ± 1 °С. М. Д. Назарько с соавторами предложили способ повышения лежкости яблок за счет их обработки перед хранением биопрепаратом и ЭМП с частотой 38 Гц. На плодах без обработки (контроль) количество микроорганизмов со временем возрастало в 5–6 раз, что приводило к значительным потерям. На обработанных образцах яблок в первые три месяца хранения количество бактерий и микромицетов снизилось. При дальнейшем хранении количество микроорганизмов снова начинало расти, но выход качественного продукта в обработанной партии в итоге повысился [26].

Цель данной работы – изучить влияние обработки моркови столовой и капусты белокочанной электромагнитным полем крайне низкой частоты перед конвективной сушкой на интенсивность процесса и микробиологические показатели полученной продукции.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись морковь столовая гибридов Ред Кор F1 и Борец F1, а также капуста белокочанная гибридов Олимп F1 и Агрессор F1. Овощи были приобретены на рынках г. Краснодар.

Обработку электромагнитным полем крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ) проводили с использованием экспериментальной лабораторной установки. Принцип работы установки заключается в следующем: синусоидальный сигнал из универсального генератора сигналов (RIGOL DG1022, Китай) модулируется низкочастотным сигналом с помощью осциллографа (LeCroy WA202, США), позволяющего регулировать амплитуду электромагнитных колебаний. После осциллографа сигнал в виде электромагнитных колебаний подается в усилитель мощности (MMF LV102, Германия), через который он поступает в соленоид (длина – 802 мм, диаметр – 204 мм, 533 витка на 1 ряд). Исследуемый растительный материал был помещен в соленоид, где подвергался воздействию электромагнитных колебаний с заданной частотой и индукцией.

Морковь столовую обрабатывали по следующим вариантам:

- № 1 – без предварительной обработки ЭМП КНЧ, сушка при $t = 65^\circ\text{C}$ в течение 5 ч;
- № 2 – обработка ЭМП КНЧ (25 Гц, 1 мТл, 15 мин), сушка при $t = 65^\circ\text{C}$ в течение 5 ч;
- № 3 – без предварительной обработки ЭМП КНЧ, сушка при $t = 55^\circ\text{C}$ в течение 7 ч;
- № 4 – обработка ЭМП КНЧ (25 Гц, 1 мТл, 15 мин), сушка при $t = 55^\circ\text{C}$ в течение 7 ч.

Капусту белокочанную обрабатывали по следующим вариантам:

- № 1 – без предварительной обработки ЭМП КНЧ, сушка при $t = 65^\circ\text{C}$ в течение 3 ч;
- № 2 – обработка ЭМП КНЧ (25 Гц, 1 мТл, 15 мин), сушка при $t = 65^\circ\text{C}$ в течение 3 ч;
- № 3 – без предварительной обработки ЭМП КНЧ, сушка при $t = 55^\circ\text{C}$ в течение 4 ч;
- № 4 – обработка ЭМП КНЧ (25 Гц, 1 мТл, 15 мин), сушка при $t = 55^\circ\text{C}$ в течение 4 ч.

После обработки овощи подвергали мойке и обсушке, измельчали: морковь столовую – на тонкие бруски толщиной 0,3–0,5 мм; капусту белокочанную – на тонкие бруски толщиной 0,5–0,7 мм.

Далее все образцы сушили в дегидраторе Oberhof Fruchttrockner D-47 (конвективная сушилка с принудительным горизонтальным обдувом и вращением поддонов).

После сушки образцы упаковывали в пищевые пластиковые пакеты с ziplock застежкой и хранили при температуре $25 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 75 % в течение 3 месяцев.

Микробиологические исследования были проведены в соответствии с требованиями и рекомендациями ГОСТ ISO 7218-2015. Пробы отбирали в соответствии с ГОСТ 31904-2012. Подготовку проб для микробиологических анализов проводили в соответствии с ГОСТ 26669-85. Культивирование, выявление и подсчет количества микроорганизмов осуществляли по ГОСТ 26670-91, ГОСТ 10444.12-2013 и ГОСТ 10444.15-94. Посев микроорганизмов, содержащихся в изучаемом материале, проводили на питательные среды: сухой питательный агар (для культивирования мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов) и Сабуро (для культивирования плесневых грибов). Уровни микробиологической обсемененности (КМАФАнМ и плесени) сушеной продукции изучали в соответствии с ТР ТС 021/2011. Количество микроорганизмов определяли сразу после сушки перед закладкой образцов на хранение, а также через 1 и 3 месяца хранения.

Исследования проводили в трехкратной повторности. Полученные данные обрабатывали в программах Microsoft Excel и Statistica с использованием однофакторного дисперсионного анализа ($\gamma = 95\%$).

Результаты и их обсуждение

Для того чтобы оценить влияние предварительной обработки электромагнитным полем крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ) на интенсивность процесса сушки, сравнивали выход готового продукта из различных образцов. В таблице 1 показано, как изменилась масса исследуемых образцов моркови в результате сушки при выбранных параметрах.

Таблица 1. Изменение массы образцов моркови в результате сушки (средние значения)

Table 1. Carrot mass after drying, mean values

Вариант обработки			Вес, г	
			до сушки	после сушки
Ред Кор F1				
Сушка при температуре 65°C в течение 5 ч	№1	Контроль (без предварительной обработки)	860,3	81,8
	№2	Предварительная обработка ЭМП КНЧ	830,1	71,5
Сушка при температуре 55°C в течение 7 ч	№3	Контроль (без предварительной обработки)	879,8	88,5
	№4	Предварительная обработка ЭМП КНЧ	810,9	78,2
Борец F1				
Сушка при температуре 65°C в течение 5 ч	№1	Контроль (без предварительной обработки)	927,3	86,6
	№2	Предварительная обработка ЭМП КНЧ	800,8	67,3
Сушка при температуре 55°C в течение 7 ч	№3	Контроль (без предварительной обработки)	830,1	85,7
	№4	Предварительная обработка ЭМП КНЧ	852,6	83,3

Образцы моркови, предварительно обработанные электромагнитным полем, имели тенденцию к более быстрому высушиванию, чем контрольные образцы – в среднем на 30 мин быстрее выбранного времени.

Выход готового сухого продукта в зависимости от параметров процесса составлял: 8,61–10,06 % для гибрида Ред Кор F1 и 8,40–10,32 % для гибрида Борец F1. На рисунках 1 и 2 представлены сравнительные данные весовых показателей исследуемых образцов моркови столовой, условно доведенные до равного исходного веса.

В процессе сушки в дегидраторе при температуре 65 °С в течение 5 ч образцы моркови Ред Кор F1, обработанные ЭМП КНЧ (рис. 1, № 2), теряли массу интенсивнее, чем контрольные образцы (рис. 1, № 1). Итоговая масса образца моркови Ред Кор F1, обработан-

ного по варианту № 2, были ниже в среднем на 9,0 г (0,9 %). Образцы, обработанные ЭМП КНЧ (рис. 1, № 4), во время сушки в дегидраторе при температуре 55 °С в течение 7 ч также теряли массу интенсивнее, чем контрольные образцы (рис. 1, № 3). Масса образца моркови Ред Кор F1, обработанного по варианту № 4, ниже в среднем на 4,2 г (0,4 %).

Динамика процесса сушки образцов моркови Борец F1 (рис. 2) была аналогичной: масса продукта после обработки ЭМП КНЧ была ниже в среднем на 9,4 г (0,9 %) в случае сушки при температуре 65 °С и ниже на 5,5 г (0,5 %) – при 55 °С.

Далее все исследуемые образцы моркови закладывались на хранение на 3 месяца в пищевых пластиковых пакетах с ziplock застежкой. В таблице 2 представлены данные изменения микробиологических

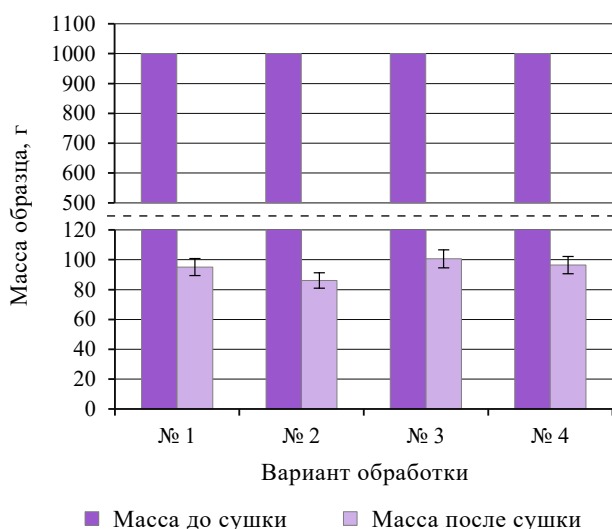


Рисунок 1. Выход сушеной моркови Ред Кор F1 в зависимости от параметров процесса

Figure 1. Effect of processing modes on the yield of Red Core F1 dried carrots

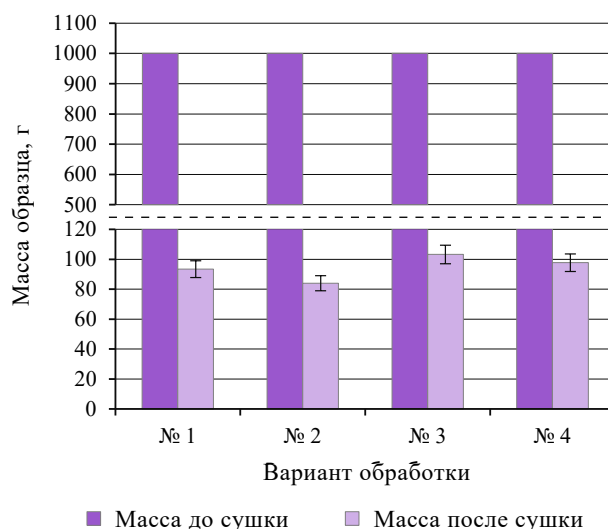


Рисунок 2. Выход сушеной моркови Борец F1 в зависимости от параметров процесса

Figure 2. Effect of processing modes on the yield of Borets F1 dried carrots

Таблица 2. Изменение микробной обсемененности в процессе хранения моркови сушеной при температуре 25 ± 2 °С (средние значения)

Table 2. Microbial contamination of dried carrots during storage at 25 ± 2 °С, mean values

Вариант обработки	КМАФАнМ, КОЕ/г			Количество плесеней, КОЕ/г		
	перед закладкой на хранение	1 месяц хранения	3 месяц хранения	перед закладкой на хранение	1 месяц хранения	3 месяц хранения
Ред Кор F1						
№ 1	9,3×10 ³	8,2×10 ³	7,7×10 ³	2,3×10 ²	1,6×10 ²	1,4×10 ²
№ 2	8,3×10 ³	7,6×10 ³	7,4×10 ³	2,3×10 ²	1,8×10 ²	1,5×10 ²
№ 3	10,6×10 ³	8,9×10 ³	8,5×10 ³	3,3×10 ²	2,5×10 ²	2,1×10 ²
№ 4	7,1×10 ³	6,6×10 ³	6,3×10 ³	3,0×10 ²	2,5×10 ²	2,0×10 ²
Борец F1						
№ 1	10,0×10 ³	8,9×10 ³	8,2×10 ³	2,4×10 ²	1,8×10 ²	1,6×10 ²
№ 2	8,8×10 ³	8,2×10 ³	7,6×10 ³	2,5×10 ²	2,0×10 ²	1,6×10 ²
№ 3	11,3×10 ³	9,7×10 ³	9,1×10 ³	3,5×10 ²	2,7×10 ²	2,4×10 ²
№ 4	7,4×10 ³	6,9×10 ³	6,5×10 ³	3,2×10 ²	2,6×10 ²	2,2×10 ²

показателей (КМАФАнМ и плесеней) моркови сушеной, нарезанной перед закладкой на хранение, через 1 и 3 месяца хранения.

Таким образом, все исследуемые варианты сушки моркови позволили получить допустимые значения микробной обсемененности по всем исследуемым показателям на протяжении всего времени хранения (в соответствии с ТР ТС 021/2011 – не более 5×10^5 КОЕ/г КМАФАнМ и не более 500 КОЕ/г плесеней).

При этом в обоих вариантах сушки (55 и 65 °C) образцы, предварительно обработанные ЭМП КНЧ, были обсеменены КМАФАнМ меньше, чем контрольные. На образцах без предварительной обработки (контроль, 65 °C) КМАФАнМ после сушки (перед закладкой на хранение) было выше на 10,7–12,0 %, чем на образцах, обработанных ЭМП КНЧ; при температуре 55 °C – выше на 33,0–34,5 %. При хранении

в течение 3 месяцев выявляемое КМАФАнМ имело тенденцию к постепенному снижению во всех образцах.

Обработка ЭМП КНЧ не оказала ярко выраженного влияния на количество плесеней в образцах моркови. На снижение данного показателя более эффективно повлияло увеличение температуры сушки. При последующем хранении количество выявляемых плесеней также постепенно снижалось во всех образцах.

Эти данные свидетельствуют об эффективности всех выбранных режимов сушки и обработки моркови.

В таблице 3 показано, как изменялась масса исследуемых образцов капусты белокочанной в результате сушки при выбранных параметрах.

Выход готового сушеного продукта в зависимости от параметров процесса составлял: 4,67–8,61 % для гибрида Олимп F1 и 5,05–8,82 % для гибрида Агрессор F1. На рисунках 3 и 4 представлены срав-

Таблица 3. Изменение массы образцов капусты в результате сушки (средние значения)

Table 3. Cabbage mass after drying, mean values

Вариант обработки			Вес, г	
			до сушки	после сушки
Олимп F1				
Сушка при температуре 65 °C в течение 3 ч	№ 1	Контроль (без предварительной обработки)	1101,2	54,7
	№ 2	Предварительная обработка ЭМП КНЧ	580,1	46,3
Сушка при температуре 55 °C в течение 4 ч	№ 3	Контроль (без предварительной обработки)	1060,4	49,5
	№ 4	Предварительная обработка ЭМП КНЧ	780,3	67,2
Агрессор F1				
Сушка при температуре 65 °C в течение 3 ч	№ 1	Контроль (без предварительной обработки)	984,6	51,3
	№ 2	Предварительная обработка ЭМП КНЧ	722,7	58,2
Сушка при температуре 55 °C в течение 4 ч	№ 3	Контроль (без предварительной обработки)	1069,5	54,0
	№ 4	Предварительная обработка ЭМП КНЧ	811,2	71,5

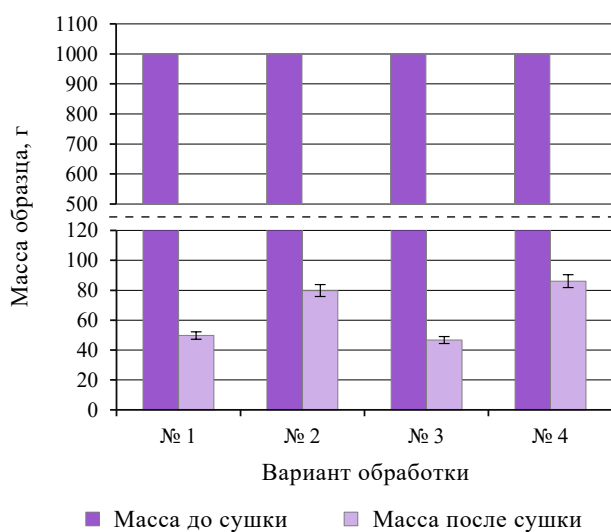


Рисунок 3. Выход сушеной капусты Олимп F1 в зависимости от параметров процесса

Figure 3. Effect of processing modes on the yield of Olympus F1 dried cabbage depending

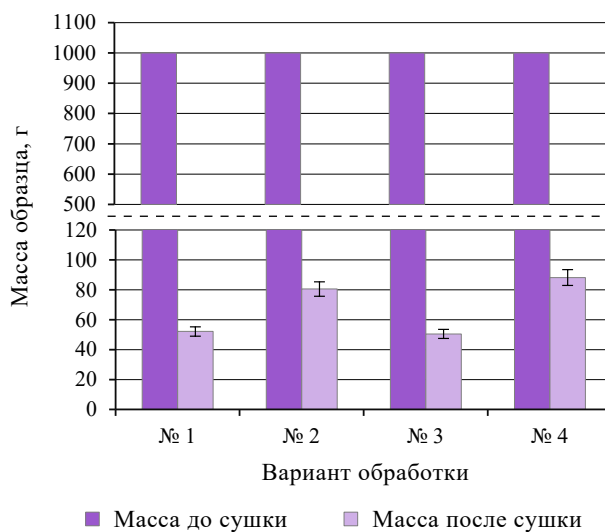


Рисунок 4. Выход сушеной капусты Агрессор F1 в зависимости от параметров процесса

Figure 4. Effect of processing modes on the yield of Aggressor F1 dried cabbage

нительные данные весовых показателей исследуемых образцов капусты белокочанной, условно доведенные до равного исходного веса.

Во время сушки в дегидрататоре при температуре 65 °С в течение 3 ч образцы капусты Олимп F1, обработанные ЭМП КНЧ (рис. 3, № 2), теряли массу менее интенсивно, чем контрольные (рис. 3, № 1) – итоговая масса выше в среднем на 30,1 г (~ 3,0 %). При сушке при температуре 55 °С в течение 4 ч образцы капусты Олимп F1, обработанные ЭМП КНЧ (рис. 3, № 4), также теряли меньше массы, чем контрольные (рис. 3, № 3) – итоговая масса была выше в среднем на 39,4 г (~ 3,9 %).

Из рисунка 4 видно, что динамика процесса сушки образцов капусты гибрида Агрессор F1 не имела принципиальных отличий: масса продукта после обработки ЭМП КНЧ была выше в среднем на 28,4 г (2,8 %) в случае сушки при температуре 65 °С и выше на 37,7 г (3,7 %) в случае сушки при 55 °С.

Все исследуемые образцы капусты белокочанной закладывались на хранение в пищевых пластиковых пакетах с ziplock застежкой. В таблице 4 представлены данные, иллюстрирующие изменение микробиологических показателей (КМАФАнМ и плесеней) капусты сушеной, нарезанной перед закладкой на хранение, а также через 1 и 3 месяца хранения.

В вариантах обработки № 3 и 4, высушенных при температуре 55 °С в течение 4 ч, наблюдалось превышение норм микробной обсемененности по всем исследуемым показателям (табл. 4). В варианте № 4 (предварительная обработка ЭМП КНЧ) КМАФАнМ оказалось в среднем почти в 4 раза выше, чем допускается в соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011 (5×10^5 КОЕ/г), количество плесневых микроорганизмов превышало допустимые нормы (500 КОЕ/г) более чем в 100 раз.

Обработка ЭМП КНЧ не позволила компенсировать невысокий стерилизационный эффект сушки при 55 °С и оказала дополнительное негативное влияние на показатели микробиологической безопасности сушеной продукции. Это может являться результатом менее интенсивной потери влаги в процессе сушки и, как следствие, более высокой итоговой влажности полученных образцов. Данные проведенного исследования свидетельствуют о нежелательности применения предварительной обработки ЭМП КНЧ при сушке капусты.

Сушка при температуре 65 °С в течение 3 ч обеспечивала допустимые значения микробной обсемененности у обоих исследуемых гибридов капусты. Образцы, обработанные ЭМП КНЧ (варианты № 2), имели несколько более высокие (на 9,5–12,5 %) уровни КМАФАнМ. При этом полностью отсутствовал рост колоний плесневых и дрожжевых грибов. При хранении в течение 3 месяцев количество выявляемых микроорганизмов постепенно снижалось во всех образцах (табл. 4).

Таким образом, авторами установлено, что предварительная обработка ЭМП КНЧ может по-разному влиять на кинетику процесса сушки различного сырья, что, по-видимому, связано с особенностями строения тканей и вариативными реакциями на внешнее воздействие. Похожие результаты были получены и в работах других исследователей, изучающих эффекты физического воздействия на процесс сушки растительного сочного сырья. Например, F. Salehi *et al.* рассмотрели влияние обработки нарезанных баклажанов электромагнитным полем сверхвысокой частоты и ультразвуком перед сушкой горячим воздухом (70 °С). Ультразвуковая обработка интенсифицировала процесс удаления влаги из сырья (по сравнению с контролем), в то время как электромагнитное воздействие сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ), напротив,

Таблица 4. Изменение микробной обсемененности в процессе хранения капусты сушеной при температуре 25 ± 2 °С (средние значения)

Table 4. Microbial contamination of dried cabbage during storage at 25 ± 2 °C, mean values

Вариант обработки	КМАФАнМ, КОЕ/г			Количество плесеней, КОЕ/г		
	перед закладкой на хранение	1 месяц хранения	3 месяц хранения	перед закладкой на хранение	1 месяц хранения	3 месяц хранения
Олимп F1						
№ 1	$4,2 \times 10^5$	$3,4 \times 10^5$	$3,3 \times 10^5$	–	–	–
№ 2	$4,6 \times 10^5$	$4,2 \times 10^5$	$4,0 \times 10^5$	–	–	–
№ 3	$7,7 \times 10^5$	$7,3 \times 10^5$	$7,0 \times 10^5$	$0,8 \times 10^4$	$0,4 \times 10^4$	$0,3 \times 10^4$
№ 4	$19,7 \times 10^5$	$16,7 \times 10^5$	$16,1 \times 10^5$	$6,5 \times 10^4$	$4,9 \times 10^4$	$4,6 \times 10^4$
Агрессор F1						
№ 1	$4,0 \times 10^5$	$3,4 \times 10^5$	$3,2 \times 10^5$	–	–	–
№ 2	$4,5 \times 10^5$	$4,1 \times 10^5$	$3,8 \times 10^5$	–	–	–
№ 3	$7,5 \times 10^5$	$7,2 \times 10^5$	$6,8 \times 10^5$	$0,7 \times 10^4$	$0,4 \times 10^4$	$0,3 \times 10^4$
№ 4	$19,2 \times 10^5$	$16,3 \times 10^5$	$15,9 \times 10^5$	$6,1 \times 10^4$	$4,6 \times 10^4$	$4,2 \times 10^4$

Примечание: «–» – рост колоний отсутствует.

Note: “–” – no colony growth detected.

значительно увеличило продолжительность сушки, что негативно сказалось на характеристиках полученного продукта. Среднее время высушивания образцов без обработки, а также обработанных ЭМП СВЧ и ультразвуком, составило 155,0; 197,5 и 102,5 мин соответственно. При этом увеличение времени ЭМП СВЧ обработки с 15 до 60 с приводило к увеличению продолжительности сушки с 180 до 230 мин; а ультразвуковой обработки с 5 до 20 мин сокращало продолжительность сушки с 125 до 80 мин [27]. В исследовании [28] те же виды обработки применялись перед сушкой нарезанной моркови. В этом случае отмечено сокращение продолжительности процесса: среднее время высушивания образцов моркови без обработки, а также обработанных ЭМП СВЧ и ультразвуком составило 225,0; 158,8 и 193,8 мин соответственно. Увеличение продолжительности обработок обоих типов сокращало время сушки моркови. Полученные данные указывают на то, что при выборе того или иного типа предварительной физической обработки важно учитывать конкретный вид растительного сырья, т. к. итоговый результат может противоречить ожиданиям. Что касается дальнейших исследований влияния ЭМП КНЧ на кинетику процесса сушки, то одним из возможных направлений является изучение различного времени воздействия.

Следует отметить, что выявленные в представленной работе изменения в процессе сушки нарезанной моркови после предварительной обработки ЭМП КНЧ на практике могут иметь два эффекта. Если сушка проводится в течение определенного периода времени, то это позволяет получить продукт с более низкими показателями влажности и микробиологической обсемененности (КМАФАнМ). Если же сушка проводится до определенного значения влажности, то это позволяет сократить продолжительность процесса высушивания примерно на 30 мин, то есть на 7–1 % (в зависимости от температуры). Это приведет к снижению потребления электроэнергии, поскольку, например, в случае конвективной сушки именно продолжительность процесса является основным фактором, определяющим общие затраты энергии (в отличие от некоторых других видов сушки) [29].

Более подробного рассмотрения заслуживает также зафиксированный факт изменения микробиологической обсемененности сушеной моркови и белокочанной капусты после предварительной обработки ЭМП КНЧ. С одной стороны, это можно объяснить разным уровнем влажности получаемого продукта: образцы моркови с меньшей влажностью (после обработки) имеют меньший уровень обсемененности, в то время как обработанные образцы капусты отличаются большей влажностью и уровнем обсемененности. Но возможно, в данном случае имеет место и другой механизм (хотя бы частично) – индукция резистентности в растительном сырье – то есть активизация его собственных защитных свойств под действием тех или иных факторов. Этот прием вызывает большой интерес и активно

изучается в последние годы, т. к. теоретически позволяет сократить применение синтетических пестицидов. Их использование становится все менее желательным из-за загрязнения окружающей среды, угрозы для здоровья людей и животных, а также из-за возникновения у фитопатогенных микроорганизмов устойчивости к этим веществам.

Изучение возможности индуцировать резистентность как в растениях в период вегетации, так и во фруктах и овощах в послеуборочный период при помощи целого ряда химических, биологических и физических агентов является популярной темой научных исследований. Общим действием является то, что они вызывают у растения ощущение стресса, сравнимого с тем, что возникает в случае поражения вредителями или болезнями, но не оказывают никакого серьезного вреда. В результате в растениях запускаются защитные процессы, которые обычно включают в себя активизацию ряда определенных ферментов и накопление антимикробных веществ [30].

Обработка горячей водой (обычно в районе 45–60 °С), пониженным давлением, ультрафиолетовым излучением, электромагнитными полями относится к типам физического воздействия, способным индуцировать резистентность в растительном сырье. Преимуществом физического воздействия является то, что оно не загрязняет поверхность обрабатываемого материала, в отличие от обработки химическими и биологическими препаратами. Так, T. Sun *et al.* изучили влияние ультрафиолетового излучения (UV-C) на уязвимость груш сорта Korla к микробиологической порче во время хранения. С этой целью плоды были искусственно заражены фитопатогеном *Alternaria alternata* и обработаны UV-C с различной интенсивностью (от 0,12 до 1,08 кДж/м²). Даже низкая доза UV-C излучения (0,36 кДж/м²) позволила эффективно контролировать развитие заболевания. При этом было отмечено увеличение активности таких защитных ферментов, как хитиназа, β -1,3-глюканаза, пероксидаза, супероксиддисмутаза, каталаза, аскорбатпероксидаза, фенилаланин-аммиак-лиаза, а также увеличение содержания фенольных веществ [31].

В исследовании [32] для борьбы с плодовой гнилью (монилиозом) в процессе хранения персики и нектарины были обработаны ЭМП СВЧ (20 кВт) при погружении в воду. Обработка проводилась для плодов как искусственно, так и естественно зараженных фитопатогеном *Monilinia* spp., время воздействия составляло 50 или 60 с. В случае 50-секундной обработки развитие порчи снизилось только для плодов мелкого размера, но эффективность падала при увеличении времени между инокуляцией и обработкой ЭМП СВЧ от 0 до 48 ч, а также при повышении концентрации фитопатогенов от 10³ до 10⁵ КОЕ/мл. Обработка в течение 60 с обеспечивала большую устойчивость плодов к порче, при этом все вышеперечисленные факторы не оказывали заметного влияния. Обработка персиков

и нектаринов с естественной обсемененностью в течение 50 с привела к сокращению случаев возникновения порчи до 43 %, а 60-секундная обработка – до 7 %.

М. Sisquella *et al.* [33] рассматривали похожее явление: погруженные в воду персики и нектарины обрабатывали электромагнитным излучением радиочастотного диапазона (радиоволнами). При искусственном заражении такая обработка значительно сокращала распространение монилиоза вне зависимости от степени зрелости плодов, концентрации фитопатогенных микроорганизмов или времени между инокулированием и обработкой. У плодов с естественной обсемененностью частота возникновения порчи была снижена с 92 % в контроле до 26 % у персиков и до 0 % у нектаринов. Негативного влияния на органолептические показатели плодов при этом не наблюдалось. В работе [34] было изучено влияние на яблоки импульсного электрического поля разной мощности. Обработка высокой мощности (1,8 и 7,3 кДж/кг) приводила к снижению общего количества фенольных веществ и к ухудшению качества плодов (обесцвечиванию и потере твердости). Обработка низкой мощности (0,01 кДж/кг) сопровождалась увеличением содержания полифенолов на 26–35 % без каких-либо негативных побочных эффектов.

Ранее в проведенных авторами исследованиях по изучению влияния ЭМП КНЧ и СНЧ на фрукты и овощи при хранении [23–25] было установлено в том числе, что такая обработка вызывает изменение содержания полифенольных веществ. В корнеплодах моркови столовой она обуславливает увеличение этого показателя, а в капусте белокочанной, напротив, некоторое его снижение. Таким образом, существует вероятность, что уменьшение микробиальной обсемененности в образцах моркови сушеной и ее увеличение в образцах капусты белокочанной является следствием изменения содержания антимикробных полифенольных веществ.

Выводы

В ходе проведенного исследования изучено влияние обработки моркови столовой гибридов Ред Кор F1 и Борец F1, а также капусты белокочанной гибридов Олимп F1 и Агрессор F1 электромагнитным полем крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ) при 25 Гц с индукцией магнитного поля 1 мТл в течение 15 мин перед сушкой горячим воздухом на интенсивность процесса и микробиологические показатели получаемой продукции.

Установлено, что предварительная обработка ЭМП КНЧ по-разному влияет на кинетику процесса сушки моркови и капусты белокочанной. Такая обработка способствует более быстрому высушиванию в случае моркови (выход сухого продукта из сырья, обработанного ЭМП КНЧ, составлял на 0,4–0,9 % меньше, чем в контрольных образцах), но менее интенсивному в случае капусты белокочанной (выход сухого продукта из сырья, обработанного ЭМП КНЧ, был на 2,8–3,9 % больше, чем в контрольных образцах). Можно предположить, что такой эффект оказывают особенности строения тканей и различные реакции на внешнее воздействие.

Исследованные варианты сушки моркови (при 55 °С в течение 7 ч и 65 °С в течение 5 ч) позволили получить допустимые значения микробиальной обсемененности по всем показателям на протяжении всего времени хранения (при этом на контрольных образцах КМАФАнМ было выше на 10,7–34,5 %, чем на образцах, предварительно обработанных ЭМП КНЧ). Образцы капусты, высушенные при 65 °С в течение 3 ч, имели допустимые значения микробиальной обсемененности (хотя на контрольных образцах КМАФАнМ было ниже на 9,5–12,5 %, чем на образцах, предварительно обработанных ЭМП КНЧ). При этом у образцов, высушенных при 55 °С в течение 4 ч, отмечено превышение норм микробиальной обсемененности по всем исследуемым показателям.

Полученные данные могут быть использованы при разработке новых методов сушки моркови и капусты белокочанной с использованием ЭМП КНЧ.

Критерии авторства

Все авторы внесли равный вклад в исследование и несут равную ответственность за информацию, опубликованную в данной статье.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors have contributed equally to the study and are equally responsible for the information published in this article.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. dos Santos SF, de Cassia Vieira Cardoso R, Borges ÍMP, Costal e Almeida A, Andrade ES, *et al.* Post-harvest losses of fruits and vegetables in supply centers in Salvador, Brazil: Analysis of determinants, volumes and reduction strategies. Waste Management. 2020;101:161–170. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.007>

2. Asiamah E, Arthur W, Kyei-Barfour V, Sarpong F, Ketemepi HK. Enhancing the functional and physicochemical properties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit through polysaccharides edible dipping technique coating under various storage conditions. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2023;30:100373. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2023.100373>
3. Reis FR, Marques C, de Moraes ACS, Masson ML. Trends in quality assessment and drying methods used for fruits and vegetables. *Food Control*. 2022;142:109254. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109254>
4. Pashazadeh H, Ali Redha A, Koca I. Effect of convective drying on phenolic acid, flavonoid and anthocyanin content, texture and microstructure of black rosehip fruit. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2024;125:105738. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105738>
5. Ma Q, Bi J, Yi J, Wu X, Li X, et al. Stability of phenolic compounds and drying characteristics of apple peel as affected by three drying treatments. *Food Science and Human Wellness*. 2021;10(2):174–182. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.02.006>
6. Гулин А. В., Мачулкина В. А., Кигашпаева О. П., Каракаджиев А. С., Володина С. А. Энергосберегающая сушка перца сладкого. Хранение и переработка сельхозсырья. 2022. № 2. С. 41–51. [Gulin AV, Machulkina VA, Kigashpaeva OP, Karakadzhiev AS, Volodina SA. Energy-saving drying of sweet pepper. Storage and Processing of Farm Products. 2022;(2):41–51. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.251>
7. Titov EI, Krasnova IS, Ganina VI, Semenova EG. Freeze-dried food in the diet of temporary residents of the Far North. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(1):170–178. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-170-178>
8. Xu H, Lei M, Li J, Zou S, Yin W, et al. Effects of different drying methods on the physicochemical and functional properties of *Pyracantha fortuneana* (Maxim.) Li fruit. *LWT*. 2023;187:115383. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115383>
9. Li Y, Zhao H, Xiang K, Li D, Liu C, et al. Factors affecting chemical and textural properties of dried tuber, fruit and vegetable. *Journal of Food Engineering*. 2024;365:111828. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111828>
10. Navina B, Keshav Huthaash K, Velmurugan NK, Korumilli T. Insights into recent innovations in anti browning strategies for fruit and vegetable preservation. *Trends in Food Science & Technology*. 2023;139:104128. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104128>
11. Akter J, Hassan J, Rahman MM, Biswas MdS, Khan HI, et al. Colour, nutritional composition and antioxidant properties of dehydrated carrot (*Daucus carota* var. *sativus*) using solar drying techniques and pretreatments. *Heliyon*. 2024;10(2):e24165. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24165>
12. Yarabbi H, Soltani K, Sangatash MM, Yavarmanesh M, Shafafi Zenoozian M. Reduction of microbial population of fresh vegetables (carrot, white radish) and dried fruits (dried fig, dried peach) using atmospheric cold plasma and its effect on physicochemical properties. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023;14:100789. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100789>
13. Sheng L, Wang L. Approaches for a more microbiologically and chemically safe dried fruit supply chain. *Current Opinion in Biotechnology*. 2023;80:102912. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2023.102912>
14. Бурак Л. Ч., Сапач А. Н. Влияние предварительной обработки импульсным электрическим полем на процесс сушки: обзор предметного поля. Хранение и переработка сельхозсырья. 2023. № 2. С. 44–71. [Burak LCh, Sapach AN. Influence of pre-treatment by a pulsed electric field on the drying process: Scoping review. Storage and Processing of Farm Products. 2023;(2):44–71. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.418>
15. Arshad RN, Abdul-Malek Z, Munir A, Buntat Z, Ahmad MH, et al. Electrical systems for pulsed electric field applications in the food industry: An engineering perspective. *Trends in Food Science & Technology*. 2020;104:1–13. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.008>
16. Rani P, Tripathy PP. Effect of ultrasound and chemical pretreatment on drying characteristics and quality attributes of hot air dried pineapple slices. *Journal of Food Science and Technology*. 2019;56:4911–4924. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03961-w>
17. Tao Y, Han M, Gao X, Han Y, Show P-L, et al. Applications of water blanching, surface contacting ultrasound-assisted air drying, and their combination for dehydration of white cabbage: Drying mechanism, bioactive profile, color and rehydration property. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2019;53:192–201. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.01.003>
18. Chen J, Venkatasamy C, Shen Q, McHugh TH, Zhang R, et al. Development of healthy crispy carrot snacks using sequential infrared blanching and hot air drying method. *LWT*. 2018;97:469–475. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.026>
19. Deng L-Z, Mujumdar AS, Yang X-H, Wang J, Zhang Q, et al. High humidity hot air impingement blanching (HHAIB) enhances drying rate and softens texture of apricot via cell wall pectin polysaccharides degradation and ultrastructure modification. *Food Chemistry*. 2018;261:292–300. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.062>
20. Bao T, Hao X, Shishir MRI, Karim N, Chen W. Cold plasma: An emerging pretreatment technology for the drying of jujube slices. *Food Chemistry*. 2021;337:127783. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127783>
21. Huang C-C, Wu JS-B, Wu J-S, Ting Y. Effect of novel atmospheric-pressure jet pretreatment on the drying kinetics and quality of white grapes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2019;99(11):5102–5111. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9754>

22. Osaе R, Essilfie G, Alolga RN, Akaba S, Song X, *et al.* Application of non-thermal pretreatment techniques on agricultural products prior to drying: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020;100(6):2585–2599. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10284>
23. Першакова Т. В., Купин Г. А., Тягушева А. А., Алёшин В. Н. Влияние обработки электромагнитными полями на активность пероксидазы и содержание полифенолов в капусте при хранении. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2021. № 5–6. С. 21–25. [Pershakova TV, Kupin GA, Tyagushcheva AA, Aleshin VN. Effect of electromagnetic fields treatment on peroxidase activity and polyphenol content in cabbage during storage. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2021;(5–6):21–25. (In Russ.)] <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2021.5-6.4>
24. Pershakova TV, Gorlov SM, Lisovoy VV, Mikhaylyuta LV, Babakina MV, *et al.* Influence of electromagnetic fields and microbial pesticide Vitaplan on stability of apples during storage. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;640:022053. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022053>
25. Першакова Т. В., Купин Г. А., Бабакина М. В., Горлов С. М., Алёшин В. Н. Влияние вида обработки на показатели товарного качества и срок хранения ягод земляники. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*. 2022. № 4. С. 51–55. [Pershakova TV, Kupin GA, Babakina MV, Gorlov SM, Aleshin VN. Influence of the type of processing on the indicators of strawberry commercial quality and shelf life. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2022;(4):51–55. (In Russ.)] <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2022.4.9>
26. Назарько М. Д., Лобанов В. Г., Касьянов Г. И., Усатиков С. В., Иночкина Е. В. и др. Разработка физико-биологических методов защиты для повышения сохранности и качества яблок. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*. 2019. № 5–6. С. 53–57. [Nazarko MD, Lobanov VG, Kasyanov GI, Usatikov SV, Inochkina EV, *et al.* Development of physical and biological methods of protection to improve preservation and quality of apples. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2019;(5–6):53–57. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/YMBXGO>
27. Salehi F, Goharpour K, Razavi Kamran H. Effects of different pretreatment techniques on the color indexes, drying characteristics and rehydration ratio of eggplant slices. *Results in Engineering*. 2024;21:101690. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101690>
28. Salehi F, Goharpour K, Razavi Kamran H. Effects of ultrasound and microwave pretreatments of carrot slices before drying on the color indexes and drying rate. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2023;101:106671. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106671>
29. Luka BS, Vihikwagh QM, Ngabea SA, Mactony MJ, Zakka R, *et al.* Convective and microwave drying kinetics of white cabbage (*Brassica oleraceae* var *capitata* L.): Mathematical modelling, thermodynamic properties, energy consumption and reconstitution kinetics. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023;12:100605. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100605>
30. Romanazzi G, Sanzani SM, Bi Y, Tian S, Gutiérrez Martínez P, *et al.* Induced resistance to control postharvest decay of fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 2016;122:82–94. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.08.003>
31. Sun T, Ouyang H, Sun P, Zhang W, Wang Y, *et al.* Postharvest UV-C irradiation inhibits blackhead disease by inducing disease resistance and reducing mycotoxin production in ‘Korla’ fragrant pear (*Pyrus sinkiangensis*). *International Journal of Food Microbiology*. 2022;362:109485. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109485>
32. Sisquella M, Picouet P, Viñas I, Teixidó N, Segarra J, *et al.* Improvement of microwave treatment with immersion of fruit in water to control brown rot in stone fruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2014;26:168–175. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.06.010>
33. Sisquella M, Viñas I, Picouet P, Torres R, Usall J. Effect of host and *Monilinia* spp. variables on the efficacy of radio frequency treatment on peaches. *Postharvest Biology and Technology*. 2014;87:6–12. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.07.042>
34. Ribas-Agustí A, Martín-Belloso O, Soliva-Fortuny R, Elez-Martínez P. Enhancing hydroxycinnamic acids and flavan-3-ol contents by pulsed electric fields without affecting quality attributes of apple. *Food Research International*. 2019;121:433–440. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.11.057>