

Гидротермическая обработка семян овощных культур от заболеваний

Treatment of vegetable seeds with hot water for disease control

Янченко А.В., Федосов А.Ю., Меньших А.М.,
Азопков М.И., Голубович В.С.

Yanchenko A.V., Fedosov A.Yu., Men'shikh A.M.,
Azopkov M.I., Golubovich V.S.

Аннотация

Гидротермическая обработка семян представляет собой жизнеспособную альтернативу химической обработке для уничтожения патогенов. Задача гидротермической обработки – установить наилучшее сочетание времени и температуры, которое сокращает выживаемость патогенов при минимальном разрушающем воздействии на семена. Основное предположение, оправдывающее гидротермическую обработку к снижению влияния или полному уничтожению патогенов, заключается в том, что патоген-мишень более чувствителен к высокотемпературному стрессу, чем семена. Целевые патогены микроорганизмов – в основном грибы, вирусы и бактерии, находящиеся на поверхности и внутри семян. Цель исследования – провести обзор термотерапии горячей водой для освобождения семян овощных культур от фитопатогенов. В статье проанализирована доступная информация о влиянии гидротермической обработки семян на рост, заболеваемость и урожайность овощных культур. В обзор включены статьи из различных баз данных, таких как Google Scholar, PubMed, Science Direct, SciFinder, Web of Science, PИИЦ и др., использованы онлайн-источники (Research Gate, Национальный центр биотехнологической информации (NCBI), Springer Nature Open Access, Wiley Online Library и др.). Обобщена протестированная гидротермическая обработка для освобождения семян овощных культур от фитопатогенов. Удовлетворительный контроль получен в отношении нескольких бактериальных болезней на овощных культурах, в основном вызываемых родами *Clavibacter*, *Xanthomonas* и *Pseudomonas*. Однако гидротермическую обработку труднее использовать на крупных семенах бобовых культур, таких как горох, фасоль или соя, потому что часто всхожесть значительно снижается еще до того, как бактерии будут полностью уничтожены. Обработка горячей водой эффективна против грибных патогенов *Alternaria*, *Phoma*, *Septoria*, *Stemphylium*, *Verticillium*, *Cladosporium*, передаваемых через семена. Показана высокая эффективность обработки семян овощных культур горячей водой против вируса табачной мозаики, вируса огуречной мозаики, вируса мозаики томата, двойного стрика томата, вируса мозаики салата и вируса мягкой крапчатости перца. Гидротермическую обработку семян необходимо выполнять в строгом соответствии с регламентом по времени и температуре, ее лучше всего проводить с помощью термостатируемых водяных бань.

Ключевые слова: овощные культуры, семена, предпосевная подготовка, фитопатогены.

Для цитирования: Гидротермическая обработка семян овощных культур от заболеваний / А.В. Янченко, А.Ю. Федосов, А.М. Меньших, М.И. Азопков, В.С. Голубович // Картофель и овощи. 2021. №7. С. 21-25. <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.37.39.003>

Эффективная борьба с болезнями растений имеет решающее значение для надежного производства овощей и потенциально может привести к значительному сокращению использования воды, земли, топлива и других ресурсов в сельском хозяйстве [1]. Для производства овощных культур необхо-

дим посев качественными семенами. Низкокачественные семена приводят к пониженной всхожести и появлению сеянцев, которые будут менее устойчивы к абиотическим стрессам, более чувствительны к болезням, а также снизят качество и урожайность выращиваемых культур. Высокое качество семян характери-

зуется высокой аналитической чистотой. Семена анализируемых культур не должны содержать семян других видов и сортов, сорняков и инертных веществ. Высокая сила роста и всхожесть – основные характеристики качества семян. Еще один важный признак – отсутствие болезней, передаваемых через семена.

Abstract

Hot water seed thermotherapy is a viable alternative to chemical control of pathogens. The challenge for thermotherapy is to find the best combination of time and temperature that maximizes the reduction in pathogen survival while minimizing damage to the seeds. The main assumption justifying a thermotherapeutic approach to pathogen control is that the target pathogen is more sensitive to high temperature stress than seeds. Target pathogens are mainly fungi, viruses and bacteria. The aim of the study is to review the hot water thermotherapy for the release of vegetable seeds from phytopathogens. This article analyzes the available information on the effect of heat treatment of seeds on the growth, morbidity and productivity of vegetable crops. The review includes articles from various databases, such as Google Scholar, PubMed, Science Direct, SciFinder, Web of Science, RSCI, etc., and uses online sources (Research Gate, National Center for Biotechnology Information (NCBI), Springer Nature Open Access, Wiley Online Library, etc.). The tested thermotherapy for the release of vegetable seeds from phytopathogens is generalized. Satisfactory control was obtained for several bacterial diseases in vegetable crops, mainly caused by the genera *Clavibacter*, *Xanthomonas* and *Pseudomonas*. However, thermotherapy is more difficult to use on large legume seeds such as peas, beans or soybeans, because a significant reduction in germination is often achieved before the bacteria are completely destroyed. Hot water thermotherapy is effective against fungal pathogens *Alternaria*, *Phoma*, *Septoria*, *Stemphylium*, *Verticillium*, *Cladosporium*, transmitted through seeds. The high efficiency of treatment of vegetable seeds with hot water against tobacco mosaic virus, cucumber mosaic virus, tomato mosaic virus, tomato double streak, lettuce mosaic virus and pepper mottling virus is shown to be highly effective. Heat treatment of seeds should be carried out in strict accordance with the time and temperature regulations, and it is best carried out using thermostatically controlled water baths.

Key words: vegetable crops, seeds, pre-sowing preparation, phytopathogens.

For citing: Treatment of vegetable seeds with hot water for disease control. A.V. Yanchenko, A.Yu. Fedosov, A.M. Men'shikh, M.I. Azopkov, V.S. Golubovich. Potato and vegetables. 2021. No7. Pp. 21-25. <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.37.39.003> (In Russ.).

Семена – эффективное средство распространения болезней. Несколько инфицированных растений в поле могут стать источником инокулята для распространения болезни на другие растения. Присутствие в семенах патогенов, передающихся через семена, либо препятствует прорастанию, либо может привести к эпидемиям болезней из-за передачи возбудителя болезни от семени к растению. Это отрицательно скажется на качестве и урожайности производимых культур [2]. Поэтому важно с самого начала использовать здоровые семена.

Цель любой обработки семян – повышение продуктивности овощных растений одним или несколькими из следующих способов: во-первых, уничтожение патогенов, передаваемых через семена, или защита от патогенов, передаваемых через почву, во-вторых, оптимизация точности посева и в-третьих – повышение всхожести. При традиционном овощеводстве семена часто обрабатывают химическими фунгицидами, которые снижают потери семян и рассады из-за болезней, передаваемых через семена и почву. Большинство средств защиты семян не подходят для органических производителей. Однако существуют некоторые виды обработки семян, такие как гранулирование и использование горячей воды или защитных средств, соответствующих требованиям органического земледелия, которые могут использоваться фермерами, выращивающими органические продукты, для улучшения характеристик семян [3].

Цель исследования – представить обзор термотерапии горячей водой для освобождения семян овощных культур от фитопатогенов.

В обзор включены статьи из различных баз данных, таких, как Google Scholar, PubMed, Science Direct, SciFinder, Web of Science, РИНЦ и др., использованы онлайн-источники (Research Gate, Национальный центр биотехнологической информации (NCBI), Springer Nature Open Access, Wiley Online Library и др.), а также результаты исследований, полученные во ВНИИО-филиале ФГБНУ ФНЦО.

Гидротермическая обработка семян – старая практика борьбы со многими болезнями, передаваемыми через семена, с использованием температуры горячей воды, достаточно высокой, чтобы убить организм патогена, но недостаточной, чтобы убить семена. В настоящее время метод используют как эффективную альтернативу химической и биологической обработке, однако он может привести к потере жизнеспособности семян.

При термической обработке для сокращения популяций патогенов необходимо достичь баланса между преимуществами контроля патогенов и потенциально пагубным воздействием повышенных температур на семена. Обработка горячей водой может быть вредной или непрактичной для семян гороха, бобов, кукурузы сладкой, свеклы и некоторых других культур [4, 5, 6], но она настоятельно рекомендуется для перца, баклажана, томата, огурца, моркови, шпината, салата, сельдерея, капусты, репы, редиса и других крестоцветных. Она также может серьезно повредить старые семена, поэтому небольшой образец любой партии семян старше одного года следует сначала обработать, а затем проверить на всхожесть, чтобы определить степень повреждения, которое может произойти. Обработка горячей водой рекомендуется для се-

мян с поверхностными или глубокими инфекциями.

Необходимо определить эффективную температуру и продолжительность обработки для каждой овощной культуры и соответствующих патогенов. Принцип заключается в том, чтобы максимально устранить патогены без снижения всхожести семян. Например, всего лишь пятиминутная разница во времени обработки может привести к некоторым различиям в скорости прорастания семян капусты. Термическая обработка семян проводится в строгом соответствии с регламентом по времени экспозиции и температуре, и лучше всего ее проводить с помощью термостатируемых водяных бань в зависимости от объема партии. Требуются две ванны: одна – для предварительного нагрева, а вторая – для эффективной температуры (убивающей патогены). Семена должны свободно двигаться, чтобы горячая вода всегда хорошо контактировала с ними. Первоначальный цикл предварительного нагрева длится 10 мин. при температуре 37 °С, после чего следует цикл эффективной температуры. Сразу после извлечения из второй ванны семена следует промыть прохладной водой, чтобы остановить процесс нагрева. После этого их следует просушить. Термическую обработку следует проводить для тех семян, которые будут использоваться в текущем сезоне.

Восприимчивость к тепловому повреждению может различаться у разных сортов овощных растений. Комбинация времени или температуры для данного семени растения зависит от многих факторов, влияющих на тепловую восприимчивость хозяина, а именно: анатомического строения семенной кожуры, состояния покоя, содержания влаги, возраста и силы роста. В частности,

Таблица 1. Протестированная термотерапия горячей водой для освобождения семян овощных культур от патогенных бактерий

| Возбудитель | Культура | Протестированный режим гидротермической обработки | Результат |
|--|---------------------------------------|---|---|
| <i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i> | Томат | Обработка горячей водой при 53, 54 и 55 °С в течение 10–60 мин | Всхожесть семян оставалась неизменной до 55 °С в течение 30 мин; через 40 мин при 53 и 54 °С всхожесть частично снижалась [7] |
| <i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i> | Томат | Замачивание зараженных семян 30 мин в горячей воде при 56 °С | Растения заболевают значительно реже, чем при отсутствии обработки семян; немного снижается всхожесть семян [8] |
| <i>Pseudomonas solanacearum</i> pv. <i>tomato</i> | Томат | Зараженные семена обрабатывали горячей водой при 48 °С в течение 60 мин | Патогены погибают, а всхожесть семян не снижается [9] |
| <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>campestris</i> | Капуста белокочанная, капуста цветная | Обработка горячей водой при 50 °С в течение 30 мин | Эта обработка успешно устраняет болезнетворные микроорганизмы, чтобы предотвратить заражение проростков [5] |
| <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>carotae</i> | Морковь столовая | Обработка горячей водой (52 °С в течение 10 мин) | Может предотвратить заражение патогенами [6] |
| <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>cucurbitae</i> | Тыква | Обработка горячей водой 54 и 56 °С в течение 30 мин | Значительно снижает уровень заражения семян, но не устраняет его полностью [10] |

давно известно, что чем меньше исходное содержание воды в семенах во время нагрева, тем выше устойчивость к высоким температурам. Две основные группы белков могут быть активированы обработкой горячей водой, которая вызывает устойчивость семян: белки теплового шока (HSP) и белки, связанные с патогенозом (PR). Считается, что HSP играют основную роль в термотолерантности. Среди PR-белков наиболее охарактеризованные ферменты хитиназы и β -1,3-глюканазы гидролизуют полимеры клеточных стенок грибов и, следовательно, считаются вовлеченными в механизм защиты растений от грибной инфекции [4].

Протестированная гидротермическая обработка для освобождения семян некоторых овощных культур от патогенных бактерий представлена в табл. 1.

В связи с быстрым распространением бактериальных заболеваний, таких как *Xanthomonas*, обработка горячей водой стала важным методом борьбы с бактериальными болезнями, передаваемыми через семена, из-за отсутствия химических или других хорошо зарекомендовавших себя методов лечения. Подтвержденная эффективность обработки семян капусты белокочанной и капусты цветной против *X. campestris* pv. *campestris* составляет от 25 до 90%. Процедуры различаются от 50 °C в течение 10–60 минут до 52 °C в течение 30 минут. Miller, Lewis и Miller, Ivey применяли горячую воду при различных температурах для обработки различных семян овощных культур с целью уничтожения бактериальных патогенов в системе органического производства [5].

После замачивания семян моркови в горячей воде при 52 °C в течение 25 минут бактериальный патоген (*Xanthomonas hortorum* pv. *carotae*) был полностью уничтожен. С другой стороны, Nandini и Shripad наблюдали, что обработка горячей водой при 52 °C в течение 10 минут была эффективной в борьбе с бактериальным ожогом. Прорастание семян также не сильно пострадало по сравнению с контролем (58 против 76%).

Влияние обработки семян моркови горячей водой на грибные патогены, всхожесть и урожайность изучали Hermansen et al., где семена, инфицированные *Alternaria dauci*, обрабатывали горячей водой при температуре от 44 до 59 °C с интервалом 5 °C в течение 5–40 мин. Обработка семян моркови горячей водой при 44, 49 и 54 °C улучшила всхожесть и снизила веро-

ятность появления *A. dauci*. Обработка горячей водой при 54 °C в течение 20 минут ингибировала *A. dauci* без отрицательного влияния на скорость прорастания и урожайность [6].

Продемонстрирована эффективность метода обработки горячей водой в снижении бактериальных заболеваний, таких как бактериальная пятнистость и бактериальный рак на томате в теплице, а также в условиях открытого грунта. При этом после обработки горячей водой рассада из одной и той же партии семян не заболела в теплице или на полях. На участках или полях, где были высажены семена, обработанные горячей водой, возникновение бактериального рака было менее обширным, а урожайность выше, чем на участках или полях, где были высажены необработанные семена. Кроме того, плоды томата из необработанных семян были значительно меньше, чем плоды из обработанных семян. Уменьшение частоты инфицирования бактериями, вызывающими бактериальный рак и бактериальную пятнистость листьев, наблюдалось в семенах томата после обработки горячей водой с увеличением размера плодов и урожайности [7, 8, 9].

Обработка семян горячей водой помогает контролировать переносимые семенами патогены перца сладкого. Aguilar et al. наблюдали, что обработка семян перца сладкого горячей водой при 45 °C в течение 15 минут или 53 °C в течение 4 минут перед хранением при 8 °C уменьшала возникновение грибных инфекций. Несколько обработок семян перца сладкого горячей водой привели к значительному снижению количества патогенов на поверхности семян, но при этом не повлияли на их всхожесть [11].

В исследованиях Nega et al. даже при продолжительной экспозиции обработка горячей водой при 40 °C не оказала значительного воздействия на патогены, переносимые семенами [12]. Однако на всех исследованных культу-

рах обработка горячей водой при температуре 50 или 53 °C в течение 10–30 минут имела хороший фитосанитарный эффект. В большинстве случаев данные условия обработки не влияли на всхожесть семян. Следовательно, чтобы уменьшить влияние более высокой температуры, например, 53 °C, на прорастание, необходимо использовать сравнительно более короткое время обработки, особенно для чувствительных культур, таких как капуста и др. Обработка при 50 °C в течение 30 минут оптимальна против *Phoma lingam* на капусте. Обработка семян таких культур, как морковь, капуста и петрушка, при температуре 50–53 °C в течение 10–30 минут хорошо уничтожает отдельные виды *Alternaria* [12]. Отмечено полное исчезновение *P. lingam* из семян капусты при обработке при 50 °C в течение 30 минут. Аналогичные результаты получены как в течение 25 минут, так и в течение 30 минут при 50 °C. Хорошие эффекты обработки горячей водой против *Septoria apiicola* получены на сельдерее в полевых испытаниях. Ввиду отсутствия альтернатив эта обработка оказалась эффективным методом на семенах сельдерея и петрушки против видов *Septoria* для увеличения урожайности. Обработка горячей водой показала лучшие результаты, чем фунгициды, для борьбы с *Alternaria porri* и *Stemphylium vesicarium* в семенах лука, хотя всхожесть была снижена по сравнению с необработанными семенами. Обработка горячей водой также использовалась для удаления *Cladosporium variabile* и *Verticillium dahliae* из семян шпината. Однако эти обработки не уничтожили *Stemphylium botryosum* из сильно инфицированных семенных участков [13].

Обработка семян бамии горячей водой при 52 °C в течение 30 минут привела к повышению урожайности как в тепличных, так и в полевых условиях за счет увеличения числа плодов и листьев, длины и диаметра плодов, общего числа семян на плод, массы семян и био-

Таблица 2. Обработка семян овощных культур горячей водой против некоторых патогенов, передаваемых через семена [5]

| Культура | Патоген | Гидротермическая обработка протестированная |
|----------|--|---|
| Капуста | <i>Leptosphaeria maculans</i> | 30 мин при 50 °C |
| | <i>Alternaria brassicae</i> | 20 мин при 50 °C |
| | <i>Alternaria brassicicola</i> | 18 мин при 50 °C |
| | <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>campestris</i> | 30 мин при 50 °C |
| Бобы | <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>phaseoli</i> | 20 мин при 52 °C |
| Томат | <i>Clavibacter michiganensis</i> ssp. <i>michiganensis</i> | 60 мин при 53 °C |
| Горох | <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>pisi</i> | 15 мин при 55–60 °C |

Таблица 3. Протокол термотерапии горячей водой семян овощных культур от патогенов, передаваемых через семена (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО)

| Культура | Температура, °С | Продолжительность, мин | Контролируемые заболевания |
|--|-----------------|------------------------|--|
| Брокколи, капуста листовая, капуста цветная, горчица, репа | 50 | 20 | <i>Alternaria brassicae</i> , <i>A. brassicola</i> , <i>A. raphani</i> , <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>maculicola</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Oplidium brassicae</i> , <i>Pythium debaryanum</i> , <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>campestris</i> |
| Капуста кочанная, капуста брюссельская | | 25 | |
| Перец | | 25 | <i>Colletotrichum capsici</i> , <i>Xanthomonas vesicatoria</i> , <i>Cucumber mosaic virus</i> , <i>Pepper mild mottle virus</i> , <i>Tobacco mosaic virus</i> , <i>Tomato mosaic virus</i> |
| Томат | | 25 | <i>Colletotrichum atramentarium</i> , <i>Clavibacter michiganensis</i> sp., <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vesicatoria</i> , <i>Cucumber mosaic virus</i> , <i>Alternaria solani</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> , <i>F. proliferatum</i> , <i>F. solani</i> , <i>Cladosporium fulvum</i> , <i>Septoria lycopersici</i> , <i>Alfalfa mosaic virus</i> , <i>Tomato mosaic virus</i> , <i>Verticillium albo-atrum</i> , <i>V. dahliae</i> , двойной стрик томата: вирус мозаики томата (<i>Tomato mosaic virus</i> , <i>ToMV</i>) в сочетании с X-вирусом картофеля (<i>Potato virus X</i> , <i>PVX</i>) |
| Баклажан | | 25 | <i>Colletotrichum melongena</i> , <i>Phytophthora infestans</i> , <i>Phomopsis vexans</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> |
| Морковь | | 20 | <i>Alternaria dauci</i> , <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>carotae</i> , <i>Cercospora carotae</i> , <i>Erwinia carotovora</i> |
| Петрушка | | 30 | <i>Erwinia carotovora</i> , <i>Alternaria radicina</i> , <i>Cercospora apii</i> , <i>Septoria petroselinii</i> |
| Лук | | 20 | <i>Alternaria porri</i> , <i>Stemphylium vesicarium</i> , <i>Botritis allii</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Peronospora destructor</i> |
| Шпинат | | 25 | <i>Colletotrichum spinaciae</i> , <i>Cladosporium variabile</i> , <i>Cucumber mosaic virus</i> , <i>Peronospora farinosa</i> f. sp. <i>spinaciae</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Stemphylium</i> sp., <i>Verticillium dahliae</i> |
| Салат | | 48 | 30 |
| Сельдерей | 30 | | <i>Erwinia carotovora</i> , <i>Cercospora apii</i> , <i>Septoria apii</i> , <i>Phoma rostrupii</i> |
| Кориандр | 53 | 30 | <i>Alternaria radicina</i> , <i>Cercospora coriandri</i> , <i>Fusarium</i> sp., <i>Pectobacterium carotovorum</i> sbsp. <i>carotovorum</i> , <i>Pseudomonas</i> sp., <i>Cladosporium cladosporioides</i> |

массы растений. Обработка семян горячей водой также снизила частоту инфицирования семян микофлорой, что повысило индекс жизнеспособности и процент проростков [14].

Floyd [15] зафиксировал протестированную гидротермическую обработку семян ряда овощных культур горячей водой против некоторых патогенов, передаваемых семенами (табл. 2).

Лаборатория механизации семеноводства ВНИИО – филиала ФГБНУ ФНЦО рекомендует следующую термотерапию горячей водой для освобождения семян овощных культур от патогенных микроорганизмов (табл. 3).

В целом, на капустных культурах, томате, перце, кориандре и салате против бактериальных болезней, в основном вызываемых родами *Clavibacter*, *Xanthomonas* и *Pseudomonas*, рекомендуется термообработка горячей водой. Удовлетворительный эффект получен против грибных патогенов *Alternaria*, *Phoma*, *Septoria*, *Stemphylium*, *Verticillium*, *Cladosporium*, передаваемых через семена. Показана высокая эффективность обработки семян овощных культур горячей водой против вируса табачной мозаики, вируса огуречной мо-

заики, вируса мозаики томата, двойного стрика томата, вируса мозаики салата и вируса мягкой крапчатости перца.

Обработка семян и посадочного материала горячей водой – это теплофизический метод защиты растений. Гидротермическая обработка – очень простой и эффективный метод борьбы с вирусными, бактериальными и грибными патогенами, распространяющимися через семена и другой посадочный материал. Это связано с тем, что горячая вода убивает болезнетворные микроорганизмы как изнутри, так и на поверхности семян, по сравнению с химической обработкой, которая дезинфицирует только поверхность семян.

Выводы

Гидротермическая обработка со временем может вызвать снижение всхожести семян, поэтому семена, обработанные горячей водой, не следует хранить дольше одного сезона. Однако снижение количества патогенов, переносимых на семенах, имеет большое значение, особенно для крупных производителей овощных культур.

Отклонение от технологических параметров температуры в большую сторону может пагубно сказаться

на всхожести семян. После гидротермической обработки важно уделять внимание сушке семян до параметров сыпучести, не давая семенам прорасти до посева. Некоторые семенные компании проводят собственную термическую обработку семян по запросу производителей овощных культур. Если семенная компания не занимается термической обработкой семян и не проводит тестирование на обнаружение патогенов, производители могут самостоятельно провести обработку семян горячей водой. Следует отметить, что обязательства компаний-поставщиков недействительны, если производитель овощных культур обрабатывает семена сам.

Обрабатывать горячей водой следует только свежие семена с высокой силой роста, так как старые семена или семена с низкой жизнеспособностью могут плохо реагировать на стресс от термообработки и иметь пониженную всхожесть. В связи с разной сортовой отзывчивостью на гидротермическую обработку, перед обработкой всей партии необходимо предварительно обработать образец

и посмотреть влияние гидротермической обработки на нем в сравнении с необработанными семенами.

При значительном снижении посевных качеств гидротермическую обработку не проводят. В таких случаях

предпочтение отдают более дорогому химическому способу.

Библиографический список

References

1. Шатилов М.В., Мещерякова Р.А., Иванова М.И. Трансформация продовольственной системы в условиях цифровизации АПК // Экономика сельского хозяйства России. 2021. №1. С. 52–60. DOI: 10.32651/211-52.
2. Infectious plant diseases: etiology, current status, problems and prospects in plant protection / P.A. Nazarov, D.N. Baleev, M.I. Ivanova, L.M. Sokolova, M.V. Karakozova // Acta Naturae. 2020. Vol. 12. No3(46). Pp. 46–59. DOI: 10.32607/actanaturae.11026.
3. Пивоваров В.Ф. и др. Нормативно-правовое обеспечение рынка органической продукции (в мире, странах ЕАЭС, России) // Овощи России. 2021. №1. С. 5–19. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-5-19>.
4. Plant chitinases / B. Collinge, K.M. Kragh, J.D. Mikkelsen, K.K. Nielsen, U. Rasmussen, K. Vad // Plant Journal. 1993. No3. Pp. 31–40.
5. Shekhawat P.S., Jain M.L., Chkravarti B.P. Detection and seed transmission of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* causing black rot of cabbage and cauliflower and its control by seed treatment // Indian Phytopathology. 1982. No35(3). Pp. 442–447.
6. Ark P.A., Gardner M.W. Carrot bacterial blight as it affects the roots // Phytopathology. 1944. No34. Pp. 416–420.
7. Bryan M.L. Studies on bacterial canker of tomato // Journal of Agricultural Research. 1930. No41(12). Pp. 825–851.
8. Shoemaker P.B., Echandi E. Seed and plant bed treatments for bacterial canker of tomato // Plant Disease Report. 1976. No60(2). Pp. 163–166.
9. Survival of *Pseudomonas* tomato in soil and seeds / Y. Devash, Y. Bashan, Y. Okon, Y. Henis // Hassad. 1979. No60(3). Pp. 597–601.
10. Moffett M.L., Wood B.A. Seed treatment for bacterial spot of pumpkin // Plant Disease Reporter. 1979. No63(7). Pp. 537–539.
11. Musazura W., Bertling I. Investigations into the effect of multiple hot water treatment of tomato (*Solanum lycopersicum*) and pepper (*Capsicum annuum*) seeds on seed viability and seed vigor // Acta Horticulturae. 2013. No1007. Pp. 795–799.
12. Hot water treatment of vegetable seed – an alternative seed treatment method to control seedborne pathogens in organic farming / E. Nega, R. Ulrich, S. Werner, M. Jahn // Journal of Plant Disease and Protection. 2003. No110. Pp. 220–234.
13. Toit L.J., Hernandez-Perez P. Efficacy of hot water and chlorine for eradication of *Cladosporium variabile*, *Stemphylium botryosum*, and *Verticillium dahliae* from spinach seed // Plant Dis. 2005. No89. Pp. 1305–1312.
14. Begum M., Lokesh S. Effect of hot water and ultra violet radiation on the incidence of seedborne fungi of okra // Archives of Phytopathology and Plant Protection. 2012. No45. Pp. 126–132.
15. Floyd R. Vegetable Seed Treatments, Farm Note 90/190. Western Australia: Department of Agriculture and Food. 2005. 107 p.

1. Shatilov M.V., Meshcheryakova R.A., Ivanova M.I. Transformation of the food system in the conditions of digitalization of the agro-industrial complex. The economy of agriculture in Russia. 2021. No1. Pp. 52–60. DOI: 10.32651/211-52 (In Russ.).
2. Infectious plant diseases: etiology, current status, problems and prospects in plant protection. P.A. Nazarov, D.N. Baleev, M.I. Ivanova, L.M. Sokolova, M.V. Karakozova. Acta Naturae. 2020. Vol. 12. No3 (46). Pp. 46–59. DOI: 10.32607/actanaturae.11026.
3. Pivovarov V.F. et al. Regulatory and legal support of the market of organic products (in the world, the countries of the EAEU, Russia). Vegetables of Russia. 2021. No1. Pp. 5–19. DOI: 10.18619/2072-9146-2021-1-5-19 (In Russ.).
4. Plant chitinases. B. Collinge, K.M. Kragh, J.D. Mikkelsen, K.K. Nielsen, U. Rasmussen, K. Vad. Plant Journal. 1993. No3. Pp. 31–40.
5. Shekhawat P.S., Jain M.L., Chkravarti B.P. Detection and seed transmission of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* causing black rot of cabbage and cauliflower and its control by seed treatment. Indian Phytopathology. 1982. No35(3). Pp. 442–447.
6. Ark P.A., Gardner M.W. Carrot bacterial blight as it affects the roots. Phytopathology. 1944. No34. Pp. 416–420.
7. Bryan M.L. Studies on bacterial canker of tomato. Journal of Agricultural Research. 1930. No41(12). Pp. 825–851.
8. Shoemaker P.B., Echandi E. Seed and plant bed treatments for bacterial canker of tomato. Plant Disease Report. 1976. No60(2). Pp. 163–166.
9. Survival of *Pseudomonas* tomato in soil and seeds. Y. Devash, Y. Bashan, Y. Okon, Y. Henis. Hassad. 1979. No60(3). P. 597–601.
10. Moffett M.L., Wood B.A. Seed treatment for bacterial spot of pumpkin. Plant Disease Reporter. 1979. No63(7). Pp. 537–539.
11. Musazura W., Bertling I. Investigations into the effect of multiple hot water treatment of tomato (*Solanum lycopersicum*) and pepper (*Capsicum annuum*) seeds on seed viability and seed vigor. Acta Horticulturae. 2013. No1007. Pp. 795–799.
12. Hot water treatment of vegetable seed – an alternative seed treatment method to control seedborne pathogens in organic farming. E. Nega, R. Ulrich, S. Werner, M. Jahn. Journal of Plant Disease and Protection. 2003. No110. Pp. 220–234.
13. Toit L.J., Hernandez-Perez P. Efficacy of hot water and chlorine for eradication of *Cladosporium variabile*, *Stemphylium botryosum*, and *Verticillium dahliae* from spinach seed. Plant Dis. 2005. No89. Pp. 1305–1312.
14. Begum M., Lokesh S. Effect of hot water and ultra violet radiation on the incidence of seedborne fungi of okra. Archives of Phytopathology and Plant Protection. 2012. No45. Pp. 126–132.
15. Floyd R. Vegetable Seed Treatments, Farm Note 90/190. Western Australia: Department of Agriculture and Food. 2005. 107 p.

Об авторах

Author details

Янченко Алексей Владимирович, канд. с.-х. наук, в.н.с. отдела технологий и инноваций. E-mail: laboratoria2008@yandex.ru
Федосов Александр Юрьевич, м.н.с. отдела технологий и инноваций. E-mail: fffed@rambler.ru
Меньших Александр Михайлович, канд. с.-х. наук, в.н.с. отдела технологий и инноваций. E-mail: soulsunnet@gmail.com
Азопков Максим Игоревич, канд. с.-х. наук, в.н.с. отдела технологий и инноваций. E-mail: max.az62@yandex.ru
Голубович Виктор Сергеевич, канд. с.-х. наук, с.н.с. отдела промышленных технологий и инноваций. E-mail: ded44@yandex.ru

Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО)

Yanchenko A.V., Cand. Sci. (Agr.), leading research fellow, department of Technology and Innovation. E-mail: laboratoria2008@yandex.ru

Fedosov A.Yu., junior research fellow, department of Technology and Innovation. E-mail: fffed@rambler.ru

Men'shikh A.M., Cand. Sci. (Agr.), leading research fellow, department of Technology and Innovation. E-mail: soulsunnet@gmail.com

Azopkov M.I., Cand. Sci. (Agr.), leading research fellow, department of Technology and Innovation. E-mail: max.az62@yandex.ru

Golubovich V.S., Cand. Sci. (Agr.), senior research fellow, department of Technology and Innovation. E-mail: ded44@yandex.ru

All-Russian Research Institute of Vegetable Growing – branch of Federal Scientific Vegetable Centre (ARRIVG – branch of FSBSI FSVС)