

Влияние предпосевной обработки семян электрофизическими и химическими воздействиями на урожайность зерна кукурузы

© 2025. В. И. Пахомов, А. В. Брагинцев, О. Н. Бахчевников✉, Д. А. Максак
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация

В опубликованных результатах научных исследований по предпосевной обработке семян сельскохозяйственных культур различными способами недостаточно изучена сравнительная эффективность их применения на семенах кукурузы. Цель исследования – определить влияние предпосевной обработки семян кукурузы ультрафиолетовым (УФ) излучением, сверхвысокочастотным (СВЧ) излучением, газообразным озоном, фунгицидным препаратом Скарлет (контроль) на урожайность зерна в условиях полевого опыта. Исследования выполняли на юге Ростовской области в 2021–2023 гг. Обработку семян гибрида кукурузы Сапсан МВ УФ, СВЧ и озоном провели за сутки до посева, фунгицидом – в день посева. Установлено, что предпосевная обработка семян кукурузы изученными способами увеличивает ее урожайность по сравнению с полусухим протравливанием препаратом Скарлет (0,4 л/т). Наибольшее статистически значимое влияние на урожайность кукурузы оказала предпосевная обработка семян УФ-излучением (УФ-А 200–280 нм и УФ-С 315–380 нм, 10 мин): +41,0 % к биологической урожайности и +40,7 % к фактической по сравнению с протравливанием. Немного уступает обработке УФ по эффективности обработка озоном (60 мг/м³, 5 мин): +39,9 % к биологической урожайности и +36,3 % к фактической. Обработка семян кукурузы СВЧ (2450 МГц, 700 Вт, 1 мин) показала наименьшую эффективность: +25,6 % к биологической урожайности и +24,1 % к фактической. Рост урожайности кукурузы в результате предпосевной обработки семян был достигнут за счет увеличения количества растений на единицу площади и початков на них, а также массы зерна с початка и массы 1000 зерен. Для замены традиционного способа предпосевной обработки семян кукурузы (протравливание) наиболее подходят способы, основанные на действии УФ-излучения и озона, обеспечивающие наибольшее увеличение урожайности зерна кукурузы в сравнении с обработкой фунгицидом Скарлет.

Ключевые слова: *Zea mays* L., структура урожая, озонирование, СВЧ-излучение, УФ-излучение

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (тема № 0505-2025-0001)

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Пахомов В. И., Брагинцев А. В., Бахчевников О. Н., Максак Д. А. Влияние предпосевной обработки семян электрофизическими и химическими воздействиями на урожайность зерна кукурузы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(1):59–69. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.1.59-69>

Поступила: 04.06.2024

Принята к публикации: 15.01.2025

Опубликована онлайн: 26.02.2025

Effect of pre-sowing seed treatment by electrophysical and chemical exposures on maize grain yields

© 2025. Viktor I. Pakhomov, Andrey V. Braginetz, Oleg N. Bakhchevnikov✉,
Dmitriy A. Maksak

Agricultural Research Centre Donskoy, Zernograd, Russian Federation

The comparative effectiveness of pre-sowing treatment of maize (*Zea mays* L.) seeds by different methods is not sufficiently studied in the published results of scientific research. The aim of the study was to determine the effect of pre-sowing treatment of maize seeds with ultraviolet (UV) radiation, microwave (MW) radiation, gaseous ozone, fungicidal preparation Scarlet (control) on corn yield in the field experiment. The studies were carried out in the south of Rostov region in 2021–2023. Seeds of maize hybrid 'Sapsan MV' were treated with UV, MW and ozone on the day before sowing, and with fungicide on the day of sowing. It has been established that pre-sowing treatment of maize seeds by the studied methods increases its yield compared to semi-dry treatment with Scarlet preparation (0.4 l/t). Pre-sowing treatment of seeds with UV radiation (UVA 200–280 nm and UVC 315–380 nm, 10 min) had the greatest statistically significant effect on corn yield: +41.0 % to biological yield and +40.7 % to actual yield in comparison with treatment by fungicide. Ozone treatment (60 mg/m³, 5 min) was slightly less effective than UV treatment: +39.9 % to biological yield and +36.3 % to actual yield. Microwave treatment (2450 MHz, 700 W, 1 min) of maize seeds showed the lowest efficiency: +25.6 % to biological yield and +24.1 % to actual yield. Increase in corn yield was achieved as a result of pre-sowing seed treatment by increasing the number of plants per unit area and the number of cobs on them, as well as the mass of corn per cob and the mass of 1000 grains. Methods based on the action of UV radiation and ozone are the most suitable to replace the traditional method of pre-sowing treatment of maize seeds (fungicide treatment). These methods provide the greatest increase in corn yield compared to fungicide treatment.

Keywords: *Zea mays* L., yield structure, ozonation, microwave radiation, UV radiation

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Agricultural Research Centre Donskoy (theme No. 0505-2025-0001).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Pakhomov V. I., Braginets A. V., Bakhchevnikov O. N., Maksak D. A. Effect of pre-sowing seed treatment by electrophysical and chemical exposures on maize grain yields. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(1):59–69. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.1.59-69>

Received: 04.06.2024

Accepted for publication: 15.01.2025

Published online: 26.02.2025

В растениеводстве предпосевной обработке семян пропашных культур для их обеззараживания и улучшения всхожести уделяют особое внимание. Установлено, что предпосевная обработка способствует синхронизации прорастания семян, улучшению роста проростков и их укоренению в почве и, в конечном итоге, повышению урожайности [1, 2].

Для сельского хозяйства юга России важное значение имеет повышение урожайности кукурузы при выращивании на зерно, причем желательно добиться этого без увеличения доз внесения дорогостоящих минеральных удобрений.

При предпосевной обработке семян культурных растений в основном применяют различные химические препараты, в том числе инсектицидные и фунгицидные [3], которые имеют значительный недостаток, так как высокотоксичны для человека и животных [4]. Кроме того, повышение урожайности после такой обработки достигается за счет уничтожения патогенной микрофлоры и снижения заболеваемости, а не стимулирования прорастания семян и развития растений. Поэтому применение способов предпосевной обработки семян растений, основанных на действии электромагнитного излучения, имеет значительные преимущества перед традиционной обработкой химическими препаратами, так как при высокой эффективности оно более безопасно для людей и окружающей среды, сочетая обеззараживание со стимулированием прорастания [5]. Для предпосевной обработки семян используют такие виды электромагнитного поля, как ультрафиолетовое (УФ) излучение, сверхвысокочастотное (СВЧ) излучение, импульсное электрическое поле, магнитное поле и другие [6, 7].

Кроме различных видов электромагнитных излучений, для предпосевной обработки семян применяют озонирование, позволяющее эффективно уничтожать патогенные микроорганизмы и стимулировать их прорастание [8, 9].

Предпосевная обработка семян культурных растений электромагнитными излучениями и озоном обеспечивает их более быстрое и равномерное прорастание после посева [10]. Выявлена положительная корреляция между всхо-

жестью семян и урожайностью растений, что повышает актуальность исследований в этой области [11]. Помимо этого установлено, что при определенных условиях кратковременное действие электромагнитных излучений и озона на семена является положительным стрессовым воздействием (эустресс), в результате которого растения приобретают устойчивость к абиотическим стрессам, сохраняющуюся в течение всего периода вегетации [12, 13].

Результаты исследований показывают, что положительное влияние озонирования на вегетацию растений основано на химическом взаимодействии озона с оболочкой семян, нарушающем их состояние покоя [8]. В работе И. В. Баскакова с соавт. [14] сообщается, что обработка озоном семян кукурузы увеличила ее урожайность на 13,4 % за счет увеличения числа початков на 6,66 % и массы 1000 зерен – на 12,75 %.

В настоящее время установлено положительное действие УФ-излучения на семена растений, приводящее к увеличению их всхожести и развития ростков вследствие разрушения излучением оболочки семян и повышения их внутренней температуры [15]. П. Садегианфар с соавт. (P. Sadeghianfar et al.) установили, что обработка семян кукурузы УФ-излучением увеличивает скорость их прорастания [16].

Опубликованы результаты научных исследований, показывающие, что действие на семена СВЧ-излучения частотой 2,45 ГГц оказывает положительное влияние на их прорастание, а также на рост проростков и накопление биомассы у разных видов растений [17]. СВЧ-излучение активирует различные физические и биохимические процессы в клетках, что нарушает состояние покоя семян и способствует их прорастанию [6].

Несмотря на то, что опубликованы результаты многих научных исследований, посвященных изучению действенности предпосевной обработки семян растений новыми способами, имеющиеся знания в этой области еще недостаточны, так как большинство из них показывают эффективность лишь одного конкретного способа обработки. Сравнительная эффективность

применения различных электрофизических и химических способов предпосевной обработки семян кукурузы еще недостаточно изучена. Необходимо провести исследования сравнительной эффективности различных электрофизических и химических способов предпосевной обработки семян кукурузы, выполнив их на одном сорте (гибриде) растений в одинаковых условиях.

Цель исследования – определить в условиях полевого опыта влияние предпосевной обработки семян кукурузы озонированием, СВЧ- и УФ-излучением, фунгицидным препаратом на ее урожайность при возделывании на зерно.

Научная новизна – сравнительная оценка влияния предпосевной обработки семян кукурузы электрофизическими способами, озоном и фунгицидом на ее урожайность в полевом опыте.

Материал и методы. Исследования проводили в условиях Ростовской области России (Зерноградский район) в 2021–2023 гг. Закладку полевого опыта, выполнение наблюдений и расчетов провели в соответствии с общепринятыми методиками^{1, 2}. Опыт – однофакторный с систематическим размещением вариантов в пределах опытного участка, повторность – четырехкратная. Площадь опытной делянки – 80 м², учетной – 20 м².

Объект исследования – простой среднеспелый (ФАО 350) гибрид кукурузы Сапсан МВ селекции ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» [18, 19].

На каждой из делянок были посеяны семена кукурузы, предварительно обработанные одним из следующих способов: газообразным озоном (озонирование); УФ-излучением; СВЧ-излучением; фунгицидным препаратом (контроль). Предшественник кукурузы в севообороте – озимая пшеница.

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый (Voronik Chernozems Pachic по классификации WRB 2014). Содержание гумуса (по методу Тюрина³) – 3,2 %, общего азота (по ГОСТ Р 58596-2019⁴) – 28,6 мг/кг, подвижного фосфора (по методу Кирсанова⁵) – 20–25 мг/кг, обменного калия (по методу Масловой⁶) – 300–350 мг/кг, pH солевой вытяжки (по ГОСТ 26483-85)⁷ – 7,0.

В период вегетации 2021 г. количество осадков и температура воздуха соответствовали среднегодовой норме, но во второй ее половине наблюдалась почвенная и воздушная засуха. В период вегетации 2022 г. выпало недостаточное количество осадков, значительно меньше среднегодовой нормы (58,6 %), температура воздуха соответствовала норме. В период вегетации 2023 г. наблюдали небольшое превышение количества осадков (на 3–4 %) и средней температуры воздуха (на 2–3 °C) над среднегодовой нормой. Согласно данным многолетних метеонаблюдений, на юге Ростовской области два года из трех являются засушливыми, поэтому в целом годы проведения полевого опыта являлись типичными для этой почвенно-климатической зоны.

Посев кукурузы выполнен селекционной сеялкой для пропашных культур «Клен-4,5» на глубину 6–8 см при достижении физической спелости почвы. Норма высева кукурузы – 60 тыс. всхожих семян/га. Перед посевом в почву внесли аммофос в дозе 50 кг/га. Агротехника выращивания кукурузы – общепринятая для южной зоны Ростовской области⁸, за исключением способа предпосевной обработки семян – рекомендуемая обработка фунгицидом была заменена обработкой озоном, УФ- и СВЧ-излучениями.

¹Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. М.: ФГБУ «Госсорткомиссия», 2019. 329 с.

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 6-е, стер. М.: Альянс, 2011. 350 с.

³ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 11 с. URL: https://rosgos.ru/file/gost/13/080/gost_26213-2021.pdf

⁴ГОСТ Р 58596-2019. Почвы. Методы определения общего азота. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293726/4293726644.pdf>

⁵ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200094361>

⁶ГОСТ 26210-91. Почвы. Определение обменного калия по методу Масловой. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. 5 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023455>

⁷ГОСТ 26483-85. Почвы. Определение pH солевой вытяжки, обменной кислотности, обменных катионов, содержания нитратов, обменного аммония и подвижной серы методами ЦИНАО. М.: изд-во стандартов, 1985. 6 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf>

⁸Зональные системы земледелия Ростовской области на 2022–2026 годы. Клименко А. И., Гринько А. В., Грабовец А. И. [и др.]. Ростов-на-Дону: ФРАНЦ, 2022. 736 с.

Обработку семян изучаемыми способами провели за сутки до их посева, за исключением обработки фунгицидом, выполненной в день посева.

Обработку семян кукурузы газообразным озоном с концентрацией 60 мг/м³ проводили на лабораторной установке в течение 5 мин [20]. Озонирование выполняли, пропуская семена по трубе с боковыми отверстиями, в которые поступал производимый в озонаторе газообразный озон, смешанный с воздухом и нагнетаемый центробежным вентилятором. Отработанный озон выводили из лабораторной установки.

Семена кукурузы УФ-излучением обрабатывали на лабораторной установке, включавшей УФ-лампы и УФ-светодиоды со спектром излучения диапазонов УФ-А (200–280 нм) и УФ-С (315–380 нм). С помощью установки создавали освещенность 9,8 мВт/см² в течение 10 мин. Расстояние от облучателя до семян на ленточном конвейере – 0,1 м [16].

Обработку семян кукурузы СВЧ-излучением выполняли на лабораторной установке за день до посева, предварительно увлажнив до 14 %, затем в течение 1 мин обработали СВЧ-излучением частотой 2450 МГц и мощностью 700 Вт [21].

В качестве контроля использовали данные по урожайности кукурузы, семена которой обрабатывали методом полусухого протравливания с использованием фунгицидного препарата Скарлет (60 г/л тебуконазол + 100 г/л имазалил) в дозе 0,4 л/т (расход рабочей жидкости 10 л/т) [22].

В течение вегетационного периода кукурузы осуществляли фенологические наблюдения за ростом и развитием растений.

После достижения полной спелости зерна кукурузы методом отбора проб и структурного анализа определили биологическую урожайность и ее структуру согласно «Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур»⁹. Фазу полной спелости у растений кукурузы отмечали по появлению черного слоя в точке прикрепления зерновки к стержню початка [18].

Изучили влияние способа предпосевной обработки семян на биологическую и фактическую урожайность кукурузы, выращиваемой на зерно, и количественные признаки структуры урожайности: «количество растений на 1 м²», «количество початков на 1 м²», «количество початков на 1 растение», «длина початка», «количество рядов зерен в початке», «количество

зерен в ряду», «количество зерен в початке», «масса початка», «масса зерна с початка», «масса 1000 зерен», «выход зерна с початка».

В ходе анализа экспериментальных данных определили изменение значений количественных признаков, обусловивших повышение урожайности [19].

Уборка опытных делянок выполнена зерноуборочным комбайном Wintersteiger Classic Plus. После этого определяли фактическую урожайность кукурузы с последующим пересчетом на зерно стандартной влажности.

Статистическую достоверность результатов сбора и обработки экспериментальных данных определяли методом дисперсионного анализа, вычислив НСР (наименьшую существенную разность) по критерию Стьюдента при 5%-ном уровне значимости¹⁰ и сравнив ее с разницей между средними значениями показателей изучаемого и контрольного вариантов (*d*).

Результаты и их обсуждение. Обследование посевов на опытных делянках показало, что предварительно обработанные различными электрофизическими и химическими способами семена кукурузы дали дружные всходы, в начальную фазу вегетации растения развивались нормально, обеспечив в последующем получение хорошего урожая. Состояние опытных посевов кукурузы в процессе вегетации показано на рисунке 1.

В таблице и на рисунке 2 приведены результаты определения биологической и фактической урожайности кукурузы на зерно (среднее за 2021–2023 гг.), семена которой предварительно перед посевом обработали исследуемыми электрофизическими и химическими способами.

Анализ результатов полевого опыта показал, что применение озонирования и УФ-излучения для предпосевной обработки семян привело к значимому увеличению биологической и фактической урожайности кукурузы при возделывании на зерно по сравнению с контролем (протравливание). При этом наибольшее увеличение урожайности обеспечило применение УФ-излучения +41,0 % к биологической и +40,7 % к фактической, немного уступает в эффективности обработка зерна озоном: +39,9 и +36,3 % к контролю соответственно. Обработка СВЧ-излучением показала наименьшее и статистически недоказанное влияние на урожайность: +25,6 и +24,1 % к контролю соответственно.

⁹ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 2019. 329 с.

¹⁰ Доспехов Б. А. Указ. соч.

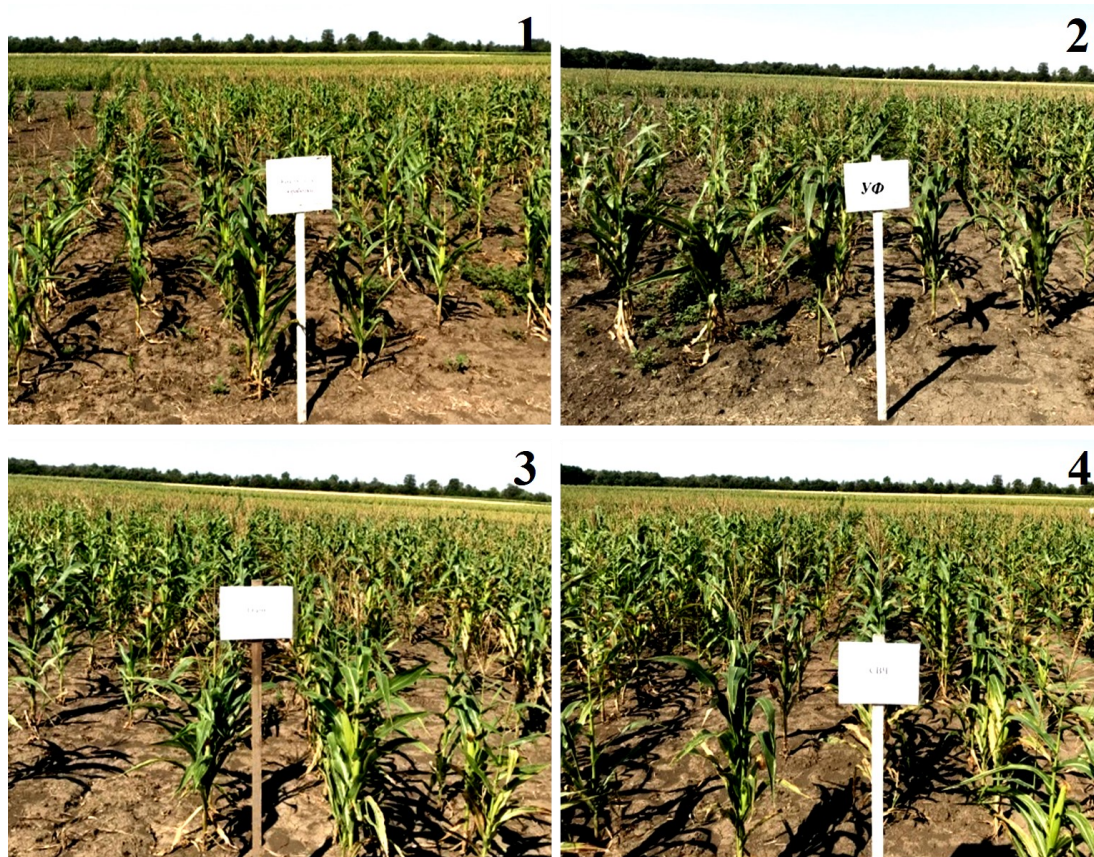


Рис. 1. Состояние посевов гибрида кукурузы Сапсан МВ в вариантах предпосевной обработки (2023 г.): 1 – контроль (протравливание); 2 – УФ-излучение; 3 – озонирование; 4 – СВЧ-излучение /
Fig. 1. Sowing condition of corn hybrid 'Sapsan MV' in variants of pre-sowing treatment (2023): 1 – control (treatment with fungicide); 2 – UV radiation; 3 – ozonation; 4 – microwave radiation

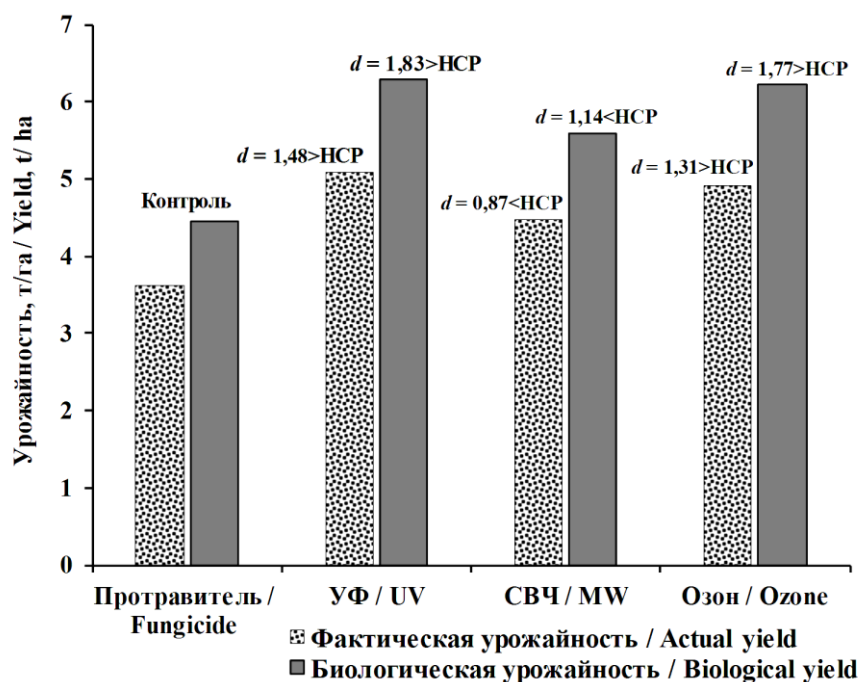


Рис. 2. Фактическая и биологическая урожайность зерна гибрида кукурузы Сапсан МВ в зависимости от предпосевной обработки семян (НСР₀₅ для биологической – 1,58 т/га, для фактической – 1,22 т/га) (среднее за 2021–2023 гг.) /

Fig. 2. Actual and biological corn yield of maize hybrid 'Sapsan MV' in variants of pre-sowing treatment (least significant difference for biological yield is 1.58 t/ha, for actual yield 1.22 t/ha) (average for 2021–2023)

Таблица – Структура урожайности гибрида кукурузы Сапсан МВ при возделывании на зерно в зависимости от способа предпосевной обработки семян (среднее за 2021–2023 гг.) /

Table – Structure of grain yield of maize hybrid ‘Sapsan MV’ depending on the method of pre-sowing treatment of its seeds (average for 2021–2023)

Показатель / Indicator	Способ предпосевной обработки семян / Method of seeds pre-sowing treatment				HCP ₀₅ / LSD ₀₅
	протравливание (контроль) / treatment by fungicide (control)	озониро- вание/ ozonation	СВЧ / MW	УФ / UV	
Количество растений на 1 м ² , шт. / Number of plants per 1 m ² , pcs.	4,86	5,14	5,06	5,41*	0,34
Количество початков на 1 м ² , шт. / Number of corncobs per 1 m ² , pcs.	4,10	5,03*	4,57	5,13*	0,81
Количество початков на 1 растение, шт. / Number of corncobs per 1 plant, pcs.	0,84	0,98*	0,90	0,95*	0,1
Длина початка, см / Corncob length, cm	17,5	18,2*	18,4*	17,8	0,63
Количество рядов зерен в початке, шт. / Number of grain rows in corncob, pcs.	12,8	12,6	12,6	13,6*	0,13
Количество зерен в ряду, шт. / Number of grains in a row, pcs.	32,5	34,8*	32,9	33,7	1,3
Количество зерен в початке, шт. / Number of grains on the corncob, pcs.	416,0	438,5	414,5	458,3*	21,1
Масса початка, г / Corncob mass, g	135,3	158,2*	157,7*	155,2	21,7
Масса зерна с початка, г / Grain mass per corncob, g	108,8	124,0*	122,6	122,7	14,3
Масса 1000 зерен, г / Mass of 1000 grains, g	267,9	302,3	335,1*	272,8	35,5
Выход зерна с початка, % / Grain yield per corncob, %	0,81	0,79	0,80	0,81	0,01
Биологическая урожайность, т/га / Biological yield, tonnes per hectare	4,46	6,23*	5,60	6,29*	1,58
Фактическая урожайность, т/га / Actual yield, tonnes per hectare	3,61	4,92*	4,48	5,08*	1,22

*Достоверное увеличение к контролю при $p \leq 0,05$ / *Significant increase to control at $p \leq 0.05$

Схожую динамику продемонстрировали и прочие показатели структуры биологической урожайности кукурузы при возделывании на зерно (табл.). Значения большинства из них увеличились по сравнению с контролем в результате обработки семян исследуемыми методами. Не показали значимых изменений по сравнению с контролем лишь значения признака «выход зерна с початка».

Анализ данных таблицы показывает, что прирост биологической урожайности кукурузы, семена которой были обработаны УФ-излучением, обеспечен увеличением значений признаков «количество растений на 1 м²», «количество початков на 1 м²» и «количество початков на 1 растение».

Из данных таблицы и рисунка 3 видно, что наибольшее влияние на значения этих пока-

зателей достоверно оказывала предпосевная обработка семян УФ-излучением: количество растений на единицу площади по сравнению с контролем увеличилось на 11,3 %, количество початков на единицу площади – на 25,1 %. Обработка семян кукурузы озоном менее эффективна для увеличения количества растений и початков на них, чем обработка УФ-излучением. В результате озонирования семян количество початков на единицу площади увеличилось на 22,7 % по сравнению с контролем.

Для показателя «количество початков на растение» наилучший достоверный результат по отношению к контролю дало озонирование семян (+16,7 %), на втором месте по эффективности УФ-излучение (+13,1 %). Для показателя «количество зерен на початке» наилучший достоверный результат получили при обработке семян УФ-излучением (+10,2 % к контролю).

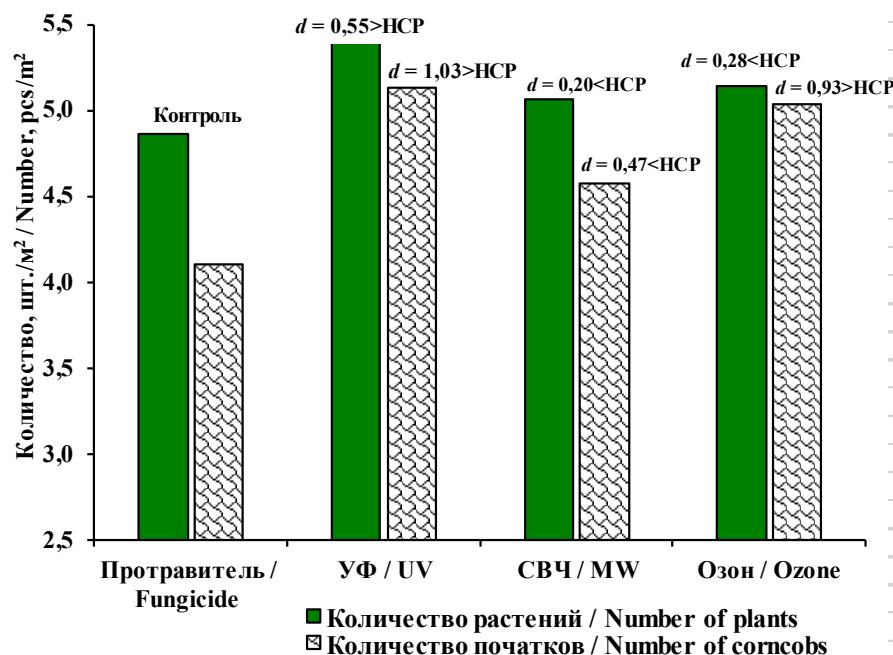


Рис. 3. Зависимость количества растений и початков гибрида кукурузы Сапсан МВ на единицу площади от способа предпосевной обработки семян (HCP_{05} для количества растений 0,34 шт./м², для количества початков 0,81 шт./м²) (среднее за 2021–2023 гг.) /

Fig. 3. Dependence of the number of plants and corn cobs of maize hybrid 'Sapsan MV' per unit of area on the method of pre-sowing treatment of its seeds (least significant difference for the number of plants is 0.34 pcs/m², for the number of corn cobs 0.81 pcs/m²) (average for 2021–2023)

Изучение количественных признаков «масса зерна с початка» и «масса 1000 зерен»

(рис. 4) показало, что способы обработки семян влияют на их изменение различным образом.

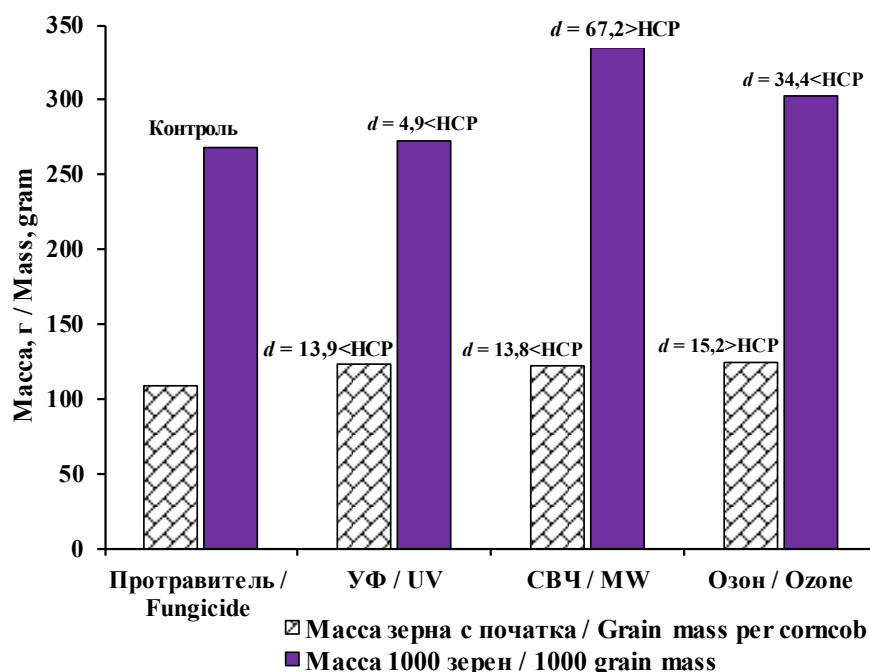


Рис. 4. Зависимость массы зерна с початка и массы 1000 зерен гибрида кукурузы Сапсан МВ от способа предпосевной обработки семян (HCP_{05} для массы зерна с початка 14,3 г, для массы 1000 зерен 35,5 г) (среднее за 2021–2023 гг.) /

Fig. 4. Dependence of grain mass per corn cob and mass of 1000 grains of maize hybrid 'Sapsan MV' on the method of pre-sowing treatment of its seeds (least significant difference for grain mass per corn cob is 14.3 g, for the mass of 1000 grains 35.5 g) (average for 2021–2023)

Масса зерна с початка достоверно возрас- тала после предпосевной обработки семян озоном на 14,0 %, обработка СВЧ- и УФ-излу- чением этот показатель увеличивала несуще- ственно – на 12,7 и 12,8 % соответственно.

Масса 1000 зерен более всего повы- шалась в результате предпосевной обработки семян СВЧ-излучением – на 25 %, обработка УФ-излучением и озоном существенно не повлияла на увеличение массы 1000 зерен.

Кроме того, предпосевная обработка семян кукурузы оказала достоверное влияние еще на два признака структуры урожайности: «длина початка» и «масса початка». Длина початка более всего увеличилась по сравнению с контролем после обработки семян СВЧ-излу- чением и озоном – на 5,1 и 4,0 %, соответ- ственно, после обработки УФ-излучением этот показатель увеличился лишь на 1,7 %.

Увеличение средней массы початка наиболее значительно после обработки семян озоном (на 16,9 %) и СВЧ-излучением (на 16,5 %) по сравнению с контролем. Меньшее и стати- стически незначимое влияние на увеличение средней массы початка оказало УФ-излучение – на 14,7 %.

Заключение. Наибольшее достоверное положительное влияние на урожайность гибрида кукурузы Сапсан МВ на зерно оказала предпо- севная обработка семян УФ-излучением: +41,0 % к биологической урожайности и +40,7 % к фактической по сравнению с протравли- ванием фунгицидом Скарлет. Также обработка семян УФ-излучением в наибольшей степени повышала значения большинства количествен- ных признаков структуры биологической уро- жайности по сравнению с контролем.

Немного уступала обработке УФ-излу- чением по эффективности обработка семян кукурузы газообразным озоном: +39,9 % к био- логической урожайности и +36,3 % к факти- ческой. Обработка семян кукурузы СВЧ-излу- чением показала наименьшую и статистически недоказанную эффективность среди изучаемых способов предпосевной обработки семян: +25,6 % к биологической урожайности и +24,1 % к фактической.

Структурный анализ показал, что увели- чение биологической урожайности кукурузы на зерно в результате предпосевной обработки семян УФ-излучением было достигнуто за счет достоверного увеличения показателей «коли- чество растений и початков на единицу пло- щади», «количество початков на растении», «количество зерен в початке». Увеличение био- логической урожайности в результате обработки семян озоном было достигнуто за счет досто- верного увеличения количества початков на единицу площади и растении, а также массы зерна с початка.

Таким образом, для замены традицион- ного способа предпосевной обработки семян кукурузы (протравливание химическими пре- паратами) наиболее подходят способы, осно- ванные на действии УФ-излучения и озона, как обеспечивающие наибольшее увеличение урожайности на зерно.

Показанная в данном исследовании эффективность предпосевной обработки семян кукурузы озоном и УФ-излучением была достигнута при небольшом масштабе полевого опыта и обработке семян малыми партиями в лабораторных условиях. Поэтому эти способы обработки семян, несмотря на высокую эффек- тивность, пока не могут быть использованы в условиях сельхозпредприятий. Для этого необходимо выполнить дополнительные научно-исследовательские и конструкторские работы по масштабированию этих способов для реальных производственных условий.

В ходе последующих научных исследо- ваний необходимо установить рациональные параметры предпосевной обработки семян кукурузы озонированием, УФ-излучением и СВЧ-излучением, обеспечивающие наивыс- шую урожайность при приемлемых затратах. Также следует проверить воздействие изученных способов предпосевной обработки семян на урожайность кукурузы, возделываемой на силос. Перспективным направлением научных иссле- дований является изучение эффективности предпосевной обработки семян кукурузы совместным действием газообразного озона и УФ-излучения.

Список литературы

1. Carrera-Castano G., Calleja-Cabrera J., Pernas M., Gomez L., Onate-Sanchez L. An updated overview on the regulation of seed germination. *Plants*. 2020;9(6):703. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9060703>
2. Los A., Ziuzina D., Bourke P. Current and future technologies for microbiological decontamination of cereal grains. *Journal of Food Science*. 2018;83(6):1484–1493. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14181>
3. Пилипенко Н. Г., Андреева О. Т., Сидорова Л. П., Харченко Н. Ю. Влияние предпосевной обработки семян на развитие болезней и продуктивность зерновых культур. *Кормопроизводство*. 2022;(1):37–42. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48177220> EDN: XOGXVU
4. Долженко В. И., Лаптев А. Б. Современный ассортимент средств защиты растений: биологическая эффективность и безопасность. *Плодородие*. 2021;(3):71–75. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.13> EDN: ZUQONQ
5. Araujo S. D. S., Paparella S., Dondi D., Bentivoglio A., Carbonera D., Balestrazzi A. Physical methods for seed invigoration: advantages and challenges in seed technology. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:646. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00646>
6. Rifna E. J., Ramanan K. R., Mahendran R. Emerging technology applications for improving seed germination. *Trends in Food Science & Technology*. 2019;86:95–108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.029>
7. Bera K., Dutta P., Sadhukhan S. Seed priming with non-ionizing physical agents: plant responses and underlying physiological mechanisms. *Plant Cell Reports*. 2022;41(1):53–73. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02798-y>
8. Pandiselvam R., Mayookha V. P., Kothakota A., Sharmila L., Ramesh S. V., Bharathi C. P., Gomathy K., Srikanth V. Impact of ozone treatment on seed germination – a systematic review. *Ozone: Science & Engineering*. 2020;42(4):331–346. DOI: <https://doi.org/10.1080/01919512.2019.1673697>
9. Akdemir Evrendilek G. Ozone processing of corn grains: Effect on seed vigor and surface disinfection. *Ozone: Science & Engineering*. 2024;46(2):163–173. DOI: <https://doi.org/10.1080/01919512.2023.2213252>
10. Reed R. C., Bradford K. J., Khanday I. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity*. 2022;128(6):450–459. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>
11. Mondal S., Bose B. Impact of micronutrient seed priming on germination, growth, development, nutritional status and yield aspects of plants. *Journal of Plant Nutrition*. 2019;42(19):2577–2599. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1655032>
12. Romero-Galindo R., Hernández-Aguilar C., Dominguez-Pacheco A., Godina-Nava J. J., Tsonchev R. I. Biophysical methods used to generate tolerance to drought stress in seeds and plants: a review. *International Agrophysics*. 2022;35(4):389–410. DOI: <https://doi.org/10.31545/intagr/144951>
13. Villagómez-Aranda A. L., Feregrino-Pérez A. A., García-Ortega L. F., González-Chavira M. M., Torres-Pacheco I., Guevara-González R. G. Activating stress memory: Eustressors as potential tools for plant breeding. *Plant Cell Reports*. 2022;41(7):1481–1498. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-022-02858-x>
14. Баскаков И. В., Оробинский В. И., Василенко В. В., Гиевский А. М., Чернышов А. В. Влияние озонной обработки при хранении семян кукурузы на урожайность культуры и качество зерна. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2020;13(2):12–21. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.2.12> EDN: FJXGUA
15. Upadhyay A. K., Chormule S. R., Kuiry B. M., Ram B. S., Pani S. Sh., Punia Ya. Effect of UV radiation on seeds physiological parameter: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2020;9(6):1877–1879. URL: <https://www.phytojournal.com/archives?year=2020&vol=9&issue=6&ArticleId=13224>
16. Sadeghianfar P., Nazari M., Backes G. Exposure to ultraviolet (UV-C) radiation increases germination rate of maize (*Zea mays* L.) and sugar beet (*Beta vulgaris*) seeds. *Plants*. 2019;8(2):49. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8020049>
17. Haque N., Agrawal A., Pati A. K. A mini review on effects of microwave on seed germination. *Research Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2023;15(1):82–86. DOI: <https://doi.org/10.52711/0975-4385.2023.00012>
18. Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С., Лупиного Д. Р., Арженовская Ю. Б. Сравнительное изучение простых межлинейных и трехлинейных гибридов кукурузы. *Зерновое хозяйство России*. 2022;14(4):70–77. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-70-77> EDN: CRPFJC
19. Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Взаимосвязь между количественными признаками, определяющими урожайность зерна гибридов кукурузы. *Зерновое хозяйство России*. 2021;(6):27–32. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-27-32> EDN: NFLLQK
20. Баскаков И. В., Оробинский В. И., Василенко В. В., Гиевский А. М., Чернышов А. В. Рациональные режимы предпосевной озонной обработки семян зерновых культур. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2020;13(4):105–114. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.4.105> EDN: KRPSME

21. Пахомов А. И. Сравнительный анализ СВЧ-установок для обеззараживания зерна. Тракторы и сельхозмашины. 2018;(1):21–26. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-66373> EDN: YPLOTG

22. Куркина Г. Н. Действие фунгицидных протравителей на всхожесть семян и урожайность кукурузы в зависимости от сроков сева и погодных условий. Земледелие и растениеводство. 2020;(1):36–42. URL: <https://crop.belal.by/jour/article/view/26>

References

1. Carrera-Castano G., Calleja-Cabrera J., Pernas M., Gomez L., Onate-Sanchez L. An updated overview on the regulation of seed germination. *Plants*. 2020;9(6):703. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9060703>
2. Los A., Ziuizina D., Bourke P. Current and future technologies for microbiological decontamination of cereal grains. *Journal of Food Science*. 2018;83(6):1484–1493. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14181>
3. Pilipenko N. G., Andreeva O. T., Sidorova L. P., Kharchenko N. Yu. The effect of seed treatment on disease-resistance and productivity of grain crops. *Kormoproizvodstvo = Forage Production*. 2022;(1):37–42. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48177220>
4. Dolzhenko V. I., Laptiev A. B. Modern range of plant protection means: biological efficiency and safety. *Plodorodie*. 2021;(3):71–75. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.13>
5. Araujo S. D. S., Paparella S., Dondi D., Bentivoglio A., Carbonera D., Balestrazzi A. Physical methods for seed invigoration: advantages and challenges in seed technology. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:646. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00646>
6. Rifna E. J., Ramanan K. R., Mahendran R. Emerging technology applications for improving seed germination. *Trends in Food Science & Technology*. 2019;86:95–108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.029>
7. Bera K., Dutta P., Sadhukhan S. Seed priming with non-ionizing physical agents: plant responses and underlying physiological mechanisms. *Plant Cell Reports*. 2022;41(1):53–73. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02798-y>
8. Pandiselvam R., Mayookha V. P., Kothakota A., Sharmila L., Ramesh S. V., Bharathi C. P., Gomathy K., Srikanth V. Impact of ozone treatment on seed germination – a systematic review. *Ozone: Science & Engineering*. 2020;42(4):331–346. DOI: <https://doi.org/10.1080/01919512.2019.1673697>
9. Akdemir Evrendilek G. Ozone processing of corn grains: Effect on seed vigor and surface disinfection. *Ozone: Science & Engineering*. 2024;46(2):163–173. DOI: <https://doi.org/10.1080/01919512.2023.2213252>
10. Reed R. C., Bradford K. J., Khanday I. Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity*. 2022;128(6):450–459. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>
11. Mondal S., Bose B. Impact of micronutrient seed priming on germination, growth, development, nutritional status and yield aspects of plants. *Journal of Plant Nutrition*. 2019;42(19):2577–2599. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1655032>
12. Romero-Galindo R., Hernández-Aguilar C., Dominguez-Pacheco A., Godina-Nava J. J., Tsonchev R. I. Biophysical methods used to generate tolerance to drought stress in seeds and plants: a review. *International Agrophysics*. 2022;35(4):389–410. DOI: <https://doi.org/10.31545/intagr/144951>
13. Villagómez-Aranda A. L., Feregrino-Pérez A. A., García-Ortega L. F., González-Chavira M. M., Torres-Pacheco I., Guevara-González R. G. Activating stress memory: Eustressors as potential tools for plant breeding. *Plant Cell Reports*. 2022;41(7):1481–1498. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-022-02858-x>
14. Baskakov I. V., Orobinskiy V. I., Vasilenko V. V., Gievskiy A. M., Chernyshov A. V. Effect of ozonation during storage of corn seeds on the yield and quality of corn grain. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh state agrarian university*. 2020;13(2):12–21. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.2.12>
15. Upadhyay A. K., Chormule S. R., Kuiry B. M., Ram B. S., Pani S. Sh., Punia Ya. Effect of UV radiation on seeds physiological parameter: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2020;9(6):1877–1879. URL: <https://www.phytojournal.com/archives?year=2020&vol=9&issue=6&ArticleId=13224>
16. Sadeghianfar P., Nazari M., Backes G. Exposure to ultraviolet (UV-C) radiation increases germination rate of maize (*Zea mays* L.) and sugar beet (*Beta vulgaris*) seeds. *Plants*. 2019;8(2):49. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8020049>
17. Haque N., Agrawal A., Pati A. K. A mini review on effects of microwave on seed germination. *Research Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2023;15(1):82–86. DOI: <https://doi.org/10.52711/0975-4385.2023.00012>
18. Krivosheev G. Ya., Ignatiev A. S., Lupinoga D. R., Arzhenovskaya Yu. B. Comparative study of simple interline and three-way cross maize hybrids. *Zernovoe khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2022;14(4):70–77. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-70-77>
19. Krivosheev G. Ya., Ignatiev A. S. Correlation between quantitative traits that affect grain yield of maize hybrids. *Zernovoe khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2021;(6):27–32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-27-32>

20. Baskakov I. V., Orobinskiy V. I., Vasilenko V. V., Gievskiy A. M., Chernyshov A. V. Rational operation modes for ozone presowing treatment of grain crop seeds. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Voronezh state agrarian university. 2020;13(4):105–114. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.4.105>

21. Pakhomov A. I. Comparative analysis of microwave frequency devices for grain disinfection. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2018;(1):21–26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-66373>

22. Kurkina G. N. Effect of fungicide dressing agents on seed germination and maize yield, depending on sowing dates and weather conditions. *Zemledelie i rasteniyevodstvo* = Crop Farming and Plant Growing. 2020;(1):36–42. (In Russ.) URL: <https://crop.belal.by/jour/article/view/26>

Сведения об авторах

Виктор Иванович Пахомов, доктор техн. наук, член-корреспондент РАН, директор, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Научный городок, д. 3, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>

Андрей Валерьевич Брагинец, кандидат техн. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Научный городок, д. 3, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7188-4179>

✉ **Олег Николаевич Бахчевников**, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Научный городок, д. 3, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>, e-mail: oleg-b@list.ru

Дмитрий Андреевич Максак, инженер, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Научный городок, д. 3, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0056-8857>

Information about the authors

Viktor I. Pakhomov, DSc in Engineering, corresponding member of RAS, director, Agricultural Research Centre Donskoy, 3 Nauchnyj Gorodok St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>

Andrey V. Braginets, PhD in Engineering, researcher, Agricultural Research Centre Donskoy, 3 Nauchnyj Gorodok St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7188-4179>

✉ **Oleg N. Bakhchevnikov**, PhD in Engineering, senior researcher, Agricultural Research Centre Donskoy, 3 Nauchnyj Gorodok St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>, e-mail: oleg-b@list.ru

Dmitriy A. Maksak, engineer, Agricultural Research Centre Donskoy, 3 Nauchnyj Gorodok St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, e-mail: vniizk30@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0056-8857>

✉ – Для контактов / Corresponding author