

Оценка толерантности растений картофеля к применению оксида кремния*

А.А. Мушинский, д.с.-х.н., **Е.В. Аминова**, к.с.-х.н., **Е.В. Часовских**, к.с.-х.н., ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН

На сегодняшний день во многих странах мира наноматериалы и нанотехнологии находят применение практически во всех областях сельского хозяйства [1, 2].

В промышленности расширяются возможности применения кремния в виде наночастиц, так как наночастицы (НЧ) металлов менее токсичны и отличаются пролонгированным воздействием на биологические объекты [3]. На основе наноразмерных частиц кремния созданы биопрепараты нового поколения, которые успешно испытаны в растениеводстве и животноводстве [4]. Кроме того, исследования и выводы ведущих мировых учёных выдвигают свойства кремния на первое место [5].

В настоящее время исследования, направленные на изучение стимулирующего и ингибирующего воздействия наночастиц на растения и выяснение пороговых доз НЧ, являются актуальными [6]. Диоксид кремния – одна из 10 основных НЧ с объёмом производства более 100 т/год, и с каждым годом объёмы производства кремния продолжают расти [7]. При этом особую актуальность эти исследования приобретают в связи с тем, что экспонированные нанометаллы в почвах могут влиять как положительно, так и отрицательно на плодородие и продуктивность почвы, а также ставить под угрозу стабильность и функции почвенной экосистемы [8].

Картофель, занимая 3-е место по объёму производства в мире (после риса и пшеницы), является стратегической культурой и с точки зрения продовольственной безопасности [9]. Клубни картофеля – это конечный продукт в сельском хозяйстве, который развивается в непосредственном контакте с почвой, вследствие чего почвенные растворы непосредственно воздействуют на клубни.

Литературные источники обеспечивают достаточное количество работ по чувствительности отдельных представителей сельскохозяйственных растений к NP SiO₂, в то время как картофель, являющийся продуктом питания, богатыми питательными веществами, недостаточно изучен в этом отношении.

Цель исследования – изучение воздействия наночастиц SiO₂ на биометрические показатели картофеля.

Материал и методы исследования. Полевые и лабораторные эксперименты проводили на клубнях и растениях картофеля сорта Ицил с 2017 по 2018 гг.

Закладка опыта проводилась на орошаемом участке п. Краснохолм Оренбургской области.

В исследовании использовали наночастицы оксида кремния (НЧ SiO₂) размером 30,7±0,3 нм, ζ-потенциал – 27±0,12 мВ, полученные методом плазмохимического синтеза ООО «Передовые порошковые технологии» (Россия, г. Томск). Оценка безопасности наноматериалов в лаборатории проводилась в 5 концентрациях с геометрической прогрессией (0,03; 0,09; 0,18; 0,21 и 0,36 г/кг картофеля) и в трёх повторностях. Перед началом эксперимента клубни картофеля дезинфицировали в 0,01% KMnO₄ в течение 5 мин., после промывали дистиллированной водой, выкладывали в пластиковые контейнеры по 10 шт. Отдельно готовили суспензии НЧ SiO₂, для чего растворяли точные навески препарата в дистиллированной воде (до конечных концентраций 0,03; 0,09; 0,18 и 0,21 г/кг по кремнию) и обрабатывали в ультразвуковом диспергаторе в течение 30 мин. Затем образцы клубней заливали 100 мл свежеприготовленных суспензий НЧ SiO₂, встряхивали контейнер в течение 5 мин. и в последующем сливали суспензию.

В качестве контроля использовали необработанные НЧ (0 г/кг) клубни.

После этого контейнеры с клубнями проращивали в климатической камере при температуре 23±1°C и влажности 83±2% в течение 28 дней.

Параллельно проводился полевой опыт. Обработанные той же концентрацией клубни картофеля были высажены 16 мая в открытый грунт в 4-кратной повторности по 10 клубней. Закладка опыта проводилась согласно методике полевого опыта Б.А. Доспехова [10] и методике госсортоиспытания [11]. Площадь делянки – 42 м² (30×1,4). Элементы структуры урожая картофеля определяли на 56-е и 70-е сутки.

Почва полевого опытного участка – чернозём южный, с содержанием гумуса в пахотном слое 3,2%, с низкой обеспеченностью подвижными формами азота – 6,35 мг/100 г почвы, фосфора – 8,63–9,96 мг/100 г почвы и средним обменным калием – 22 мг/100 г почвы.

Результаты исследования. Известно, что показатели прорастания семян растений, а также их устойчивость к экзогенным стрессовым факторам являются косвенными параметрами. Результаты вегетационного исследования показали, что энергия прорастания клубней при их обработке SiO₂ в концентрации 0,09 г/кг увеличивалась и способствовала достоверному увеличению длины ростков на 21,4% (P<0,05) и корней до 6,8% относительно

* Исследование выполнено в рамках реализации подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации» Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы. Утверждена Постановлением Правительства Российской Федерации от 5 мая 2018 г. № 559.

контроля (рис. 1). При концентрации 0,36 г/кг металл оказывал отрицательное воздействие на энергию прорастания клубней и длину ростков в сравнении с контролем – на 50%. При остальных концентрациях длина ростка была приближена к контролю. Напротив, стимуляция роста длины корней на 27,8–21,0% наблюдалась при концентрациях нанометалла 0,18 и 0,21 г/кг в сравнении с контролем. На 21-й день опыта почти на всех вариантах увеличилась длина ростков в сравнении с контролем – от 16,6 до 55,3%.

По результатам полевых исследований максимальная масса стеблей на 56-е сут. после посадки наблюдалась при концентрации НЧ SiO₂ 0,18 и 0,21 г/кг, соответственно 520,6 г и 532,9 г, что превышало контроль на 21,1 и 24,0% (рис. 2). Однако на 70-е сут. наибольшая масса стеблей отмечалась в вариантах с концентрациями НЧ SiO₂ 0,09 и 0,18 г/кг и превышала контроль в 2 раза.

Анализируя данные по массе листьев, следует отметить, что наибольшее значение наблюдалось при концентрации SiO₂ 0,21 г/кг и превышало показатели контроля на 267,8% (P<0,05) (рис. 3).

Исследования показали, что максимальное количество клубней отмечено как на 56-е сут., так и на 70-е, в контрольном варианте – 12 и 15 шт. соответственно (рис. 4). Анализируя данные, следует отметить, что статистически недостоверно

отличались от контроля варианты с концентрациями НЧ SiO₂ 0,03–0,36 г/кг.

Через 56 суток после посадки средняя масса одного клубня при концентрации НЧ SiO₂ 0,18 и 0,21 г/кг соответственно увеличилась на 18,7 и 17,7 г (P<0,05) относительно контроля. На 70-е сутки достоверное увеличение (P<0,05) массы клубней установлено при концентрации SiO₂ 0,09 г/кг (358,2 г) и 0,18 г/кг (398,4 г) (рис. 5).

Более высокая концентрация НЧ SiO₂ (0,36 г/кг) вызывала снижение массы стеблей, листьев и продуктивности картофеля.

Основными физиологическими показателями растений токсического воздействия НЧ являются энергия прорастания, удлинение корней, биомасса и количество листьев. В своей работе Yang Jie et al. [12] указывает, что некоторые НЧ могут иметь существенные негативные последствия, такие, как снижение всхожести семян и подавление роста растений, и даже могут вызвать их гибель.

Результаты вегетационных и полевых исследований показали, что обработка клубней кремнезёмом в наноформе в целом улучшает ростовые параметры картофеля, за исключением концентрации 0,36 г/кг. В подтверждение этого имеется ряд работ, частично согласующихся с полученными нами данными [13]. Таким образом, подчёркивается, что проявление биологических эффектов НЧ SiO₂ напрямую за-

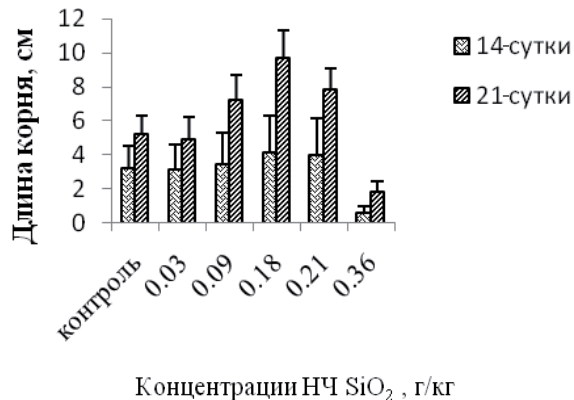
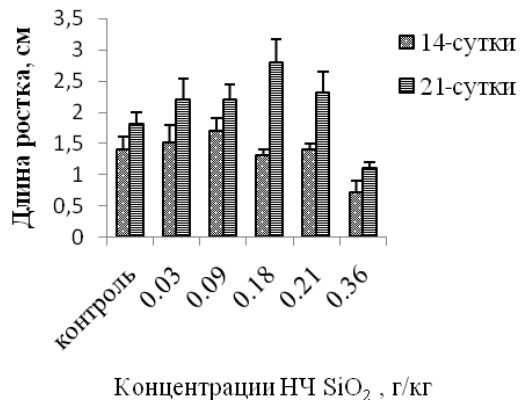


Рис. 1 – Биометрические показатели картофеля после воздействия наночастиц оксида кремния

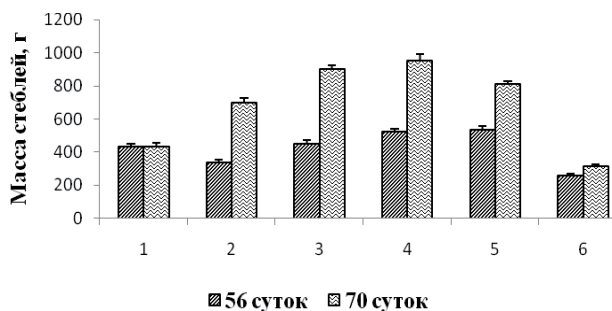


Рис. 2 – Масса стеблей с одного растения, г (здесь и далее):

1 – контроль (без обработки); 2 – концентрация SiO₂ 0,03 г/кг; 3 – концентрация SiO₂ 0,09 г/кг; 4 – концентрация SiO₂ 0,18 г/кг; 5 – концентрация SiO₂ 0,21 г/кг; 6 – концентрация SiO₂ 0,36 г/кг

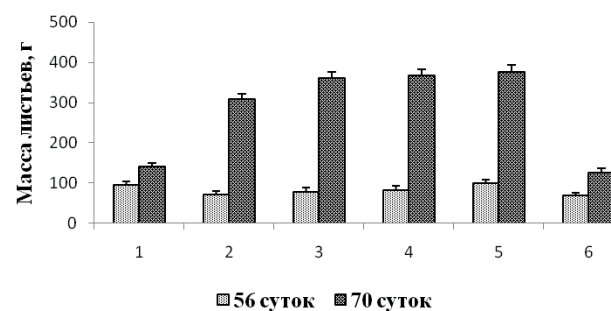


Рис. 3 – Масса листовой поверхности с одного растения, г

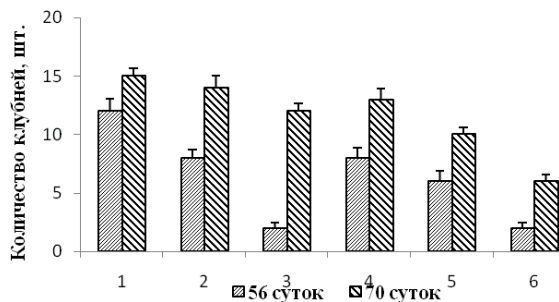


Рис. 4 – Количество клубней с одного растения, шт.

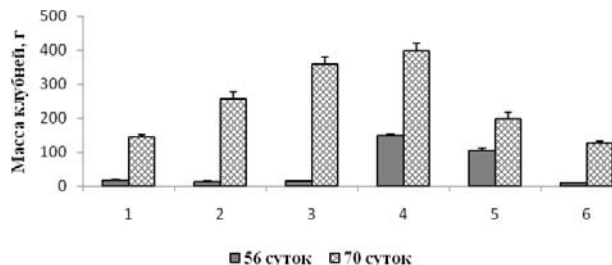


Рис. 5 – Средняя масса клубней с одного растения, г

висит от концентрации и химической природы наноразмерного металла [6] и от вида растений.

Возможно, что стимулирование развития надземных и подземных органов *Solanum tuberosum* наночастицами SiO₂ связано с ролью кремния как биогенного макроэлемента в растениях.

Выводы. Обобщая полученные результаты по биологической активности НЧ оксида кремния в отношении модельного растения *Solanum tuberosum*, можно заключить, что на начальных этапах нанометалл способствовал торможению роста растений, но к концу экспозиции и в вегетационном, и в

полевом опыте оказывал стимулирующее действие на рост как надземных, так и подземных органов растений при концентрации 0,18 г/кг.

Литература

- Ling Y., Yatts D. Particle Surface Characteristics May Play an Important Role in Phytotoxicity of Alumina Nanoparticles // *Toxicology Letters*. 2005. 158: 122–132.
- Zhu, H., Han, J., Xiao, J. Q. & Jin, Y. Uptake, translocation, and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants // *Journal of Environmental Monitoring*. 2008. № 10 (6). С. 713–717.
- Коваленко Л.В., Фолманис Г.Э. Биологически активные нанопорошки железа. М.: Наука, 2006. 124 с.
- Арсентьева И.П. Закономерности строения и биологической активности нанокристаллических порошков железа / И.П. Арсентьева, Э.Л. Дзидзигури, Н.Д. Захаров [и др.] // *Перспективные материалы*. 2004. № 4. С. 64–68.
- Liang Y, Sun W, Zhu Y-G, Christie P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review // *Environ Poll*. 2007. 147: 422–428.
- Pošćić F, Mattiello A, Fellet G, Miceli F, Marchiol L. Effects of Cerium and Titanium Oxide Nanoparticles in Soil on the Nutrient Composition of Barley (*Hordeum vulgare* L.) Kernels // *Int J Environ Res Public Health*. 2016. Jun 9;13(6). pii: E577. doi: 10.3390/ijerph13060577.
- Vance ME, Kuiken T, Vejerano EP, McGinnis SP, Hochella MF Jr, Rejeski D et al (2015) Nanotechnology in the real world: redeveloping the nanomaterial consumer products inventory // *Beilstein J Nanotechnol* V. 6. P. 1769–1780.
- Simonin M, Richaume A Impact of engineered nanoparticles on the activity, abundance, and diversity of soil microbial communities: a review // *Environ Sci Pollut Res Int* 2015. V. 22. P. 13710–13723.
- Zaman MS, Ali GM, Muhammad A, Farooq K, Hussain I In vitro screening of salt tolerance in potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties // *Sarhad J Agric*. 2015. V. 31. P. 106–113.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). 4-е изд., перераб. и дополн. М.: Колос, 1985. 354 с.
- Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1975. Вып. 4. 182 с.
- Yang J, Zhang Y, Dong F. Neural word segmentation with rich pretraining // In: *ACL, Vancouver*. 2017. P. 839–849.
- Pulz AL, Crusciol CAC, Lemos LB, Soratto RP Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica // *Rev Bras Ciênc Solo*. 2008. V. 32. P. 1651–1659.