

Шуканов В.П.¹, Корытько Л.А.¹, Мельникова Е.В.¹, Полянская С.Н.¹,
Машкин И.А.¹, Конг Х.Х.², Ву Х.Ш.², Хоанг А.Ш.²

¹ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В.Ф. Купревича НАН Беларуси»,
Минск, Беларусь;
dimlar@mail.ru.

²Институт Материаловедения Вьетнамской Академии Наук и Технологий, Ханой, Вьетнам.

ИЗМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ (*HORDEUM VULGARE* L.) ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН НАНОЧАСТИЦАМИ МЕТАЛЛОВ

Установлена способность наночастиц металлов (Fe, Cu, ZnO, Ag) в качестве предпосевной обработки семян увеличивать синтез фотосинтетических пигментов в 1,2-1,3 раза в здоровых листьях ячменя и в 1,2-1,4 раза в инфицированных фитопатогенным грибом Helminthosporium teres растениях злака. Также выявлено ингибирование образования продуктов перекисного окисления липидов мембран (на 10-40 %) и снижение выхода водорастворимых веществ из растительных тканей (на 10-50 %) под воздействием нанометаллов, что говорит о реализации адаптационно-защитного потенциала растительного организма.

The ability of metal nanoparticles (Fe, Cu, ZnO, Ag) to increase the synthesis of photosynthetic pigments by 1.2-1.3 times in healthy barley leaves and 1.2-1.4 times in cereal plants infected with the phytopathogenic fungus Helminthosporium teres has been established. Inhibition of the formation of membrane lipid peroxidation products (by 10-40 %) and a decrease in the yield of water-soluble substances from plant tissues (by 10-50 %) under the influence of nanometals were also revealed. This indicates the realization of the adaptation-protective potential of the plant organism.

Ключевые слова: яровой ячмень; предпосевная обработка; наночастицы металлов; перекисное окисление липидов мембран; фотосинтетические пигменты; выход водорастворимых веществ.

Keywords: spring barley; pre-sowing treatment; metal nanoparticles; peroxidation of membrane lipids; photosynthetic pigments; yield of water-soluble substances.

Введение

Устойчивость к основным биотическим и абиотическим стрессам – одно из требований, которое предъявляется к современным сортам сельскохозяйственных культур и технологиям их выращивания. Поэтому большое внимание в настоящее время уделяется иммунизации растений с помощью различных химических элементов. На сегодняшний день к таким средствам можно отнести активно изучаемые во всем мире нанопрепараты, в частности металлы в наноформе [1]. Выявлено, что наночастицы металлов могут служить элементами минерального питания растений пролонгированного действия, повышающими адаптивный потенциал растительного организма [2; 3]. Кроме того, в литературных источниках отмечено, что нанопорошки металлов оказывают отчетливо выраженные бактерицидные и фунгицидные действия на растительные объекты [4].

Целью проведенной работы было изучение влияния предпосевной обработки семян ячменя наночастицами металлов на некоторые физиолого-биохимические показатели, характеризующие уровень стрессоустойчивости злака, а также характер их изменения при искусственном инфицировании растений фитопатогенным грибом.

Методы исследования

Объектами исследований служили проростки ярового ячменя *Hordeum vulgare* L. сорта Магутны, выращенные из семян, прошедших предпосевную обработку наночастицами металлов. В экспериментах использовали наночастицы железа, меди, кобальта, оксида цинка в виде водных дисперсий в концентрациях из расчета 0,25 мг/кг семян и 0,50 мг/кг семян и нанораствор серебра в концентрациях 25ppm и 50ppm. Нанометаллы для экспериментальной работы были предоставлены Институтом материаловедения Вьетнамской академии наук и технологий. Наночастицы металлов (железа, меди и кобальта) размером 40–70 нм были получены восстановлением в атмосфере свежеприготовленного водорода. Наночастицы оксида цинка размером 10 – 50 нм получены методом Sol-gel. Раствор наночастиц серебра синтезировали методом восстановления с использованием NaBH_4 . Материаловедческая аттестация препаратов включала электронную сканирующую микроскопию, дзета-спектроскопию, метод динамического рассеивания света DLS, рентгеновской дифракции (XRD) и физической адсорбции Brunauer–Emmett–Teller (BET).

Проростки ячменя, выращенные в лабораторных условиях, в возрасте 10 дней инфицировали спорами фитопатогенного гриба *Helminthosporium teres*. На 6-е сутки после инфицирования при появлении видимых признаков заражения определяли количество фотосинтетических пигментов, содержание продуктов перекисного окисления липидов (для обоих показателей использовали спектрофотометрические методы [5; 6]) и уровень выхода водорастворимых веществ (применяли кондуктометрический метод [7]) из здоровых и инфицированных растительных тканей.

Результаты и их обсуждение

По результатам исследований патосистемы ячмень/*Helminthosporium teres* выявлено, что нанометаллы в качестве предпосевной обработки однотипно влияли как на уровень продуктов перекисного окисления липидов, так и на выход водорастворимых веществ из растительных тканей (табл. 1). В опытных образцах отмечено снижение уровня перекисного окисления липидов на 10–40% и степени выхода водорастворимых веществ на 10–50% по сравнению с необработанными контрольными растениями. Следует отметить, что большему снижению значений обоих показателей в здоровых растениях способствовали низкие концентрации нанометаллов, а при инфицировании проростков – результативнее были высокие концентрации. Наибольший эффект на показатели целостности клеточных стенок оказывали наночастицы оксида цинка и серебра.

Таблица 1. Влияние наночастиц металлов на биохимические показатели целостности мембран растительных клеток ячменя

Вариант	Водорастворимые вещества, ppm/г свежей массы		Продукты перекисного окисления липидов, мкМ/г свежей массы	
	Здоровые растения	Инфицированные растения	Здоровые растения	Инфицированные растения
Контроль	20,93±0,03	23,20±0,06	11,11±0,30	12,43±0,27
Fe (0,25мг/кг)	16,53±0,03	20,53±0,03	7,59±0,32	12,39±0,29
Fe (0,50мг/кг)	17,33±0,03	18,20±0,06	8,48±0,24	9,88±0,25
Cu (0,25мг/кг)	12,73±0,03	15,53±0,03	8,14±0,25	10,82±0,26
Cu (0,50мг/кг)	17,00±0,03	14,87±0,03	10,79±0,27	8,86±0,16
Co (0,25мг/кг)	14,13±0,03	15,40±0,06	8,13±0,29	10,44±0,27
Co (0,50мг/кг)	19,20±0,06	13,27±0,03	10,17±0,28	9,76±0,20
ZnO (0,25мг/кг)	17,53±0,03	12,07±0,03	7,31±0,28	9,44±0,27
ZnO (0,50мг/кг)	16,73±0,03	11,73±0,03	9,59±0,30	7,29±0,27
Ag (25 ppm)	10,93±0,03	16,47±0,03	7,37±0,23	9,52±0,28
Ag (50 ppm)	11,73±0,03	12,53±0,03	7,68±0,17	10,21±0,15
HCP _{0,05}	0,03	0,03	0,11	0,10

Исследования фотосинтетического пигментного комплекса показало, что в неинфицированных растениях ячменя наночастицы Fe (0,25 мг/кг), Ag (0,5 мг/кг) и Cu (0,25 мг/кг) увеличивали содержание суммы хлорофиллов а+b и каротиноидов в 1,2–1,3 раза (табл. 2). В остальных вариантах количество фотосинтетических пигментов оставалось на уровне контроля. При инокуляции проростков ячменя спорами *Helminthosporium teres* наблюдалось снижение содержания хлорофиллов и каротиноидов в растительном материале. Однако их уровень в обработанных нанометаллами Fe (0,25; 0,5 мг/кг); Cu (0,5 мг/кг); ZnO (0,5 мг/кг); Ag (0,5 мг/кг) вариантах превышал инфицированный необработанный контроль в 1,2–1,4 раза.

Таблица 2. Влияние наночастиц металлов на уровень фотосинтетических пигментов в проростках ячменя

Вариант	Сумма хлорофиллов а + b, мк/г свежей массы		Каротиноиды, мк/г свежей массы	
	Здоровые растения	Инфицированные растения	Здоровые растения	Инфицированные растения
Контроль	1,00±0,03	0,77±0,02	0,49±0,02	0,40±0,01
Fe (0,25мг/кг)	1,24±0,06	1,11±0,01	0,62±0,02	0,56±0,01
Fe (0,50мг/кг)	0,95±0,01	0,93±0,01	0,48±0,01	0,47±0,01
Cu (0,25мг/кг)	1,18±0,01	0,89±0,01	0,59±0,01	0,46±0,01
Cu (0,50мг/кг)	0,97±0,01	0,94±0,01	0,42±0,01	0,50±0,01
Co (0,25мг/кг)	1,01±0,01	0,87±0,01	0,51±0,01	0,45±0,01
Co (0,50мг/кг)	1,03±0,01	0,87±0,01	0,50±0,01	0,45±0,01
ZnO (0,25мг/кг)	1,02±0,01	0,80±0,01	0,51±0,02	0,41±0,02
ZnO (0,50мг/кг)	1,04±0,04	1,03±0,01	0,52±0,02	0,53±0,01
Ag (25 ppm)	0,99±0,01	0,77±0,01	0,49±0,01	0,39±0,01
Ag (50 ppm)	1,15±0,02	0,97±0,01	0,56±0,01	0,51±0,01
HCP _{0,05}	0,09	0,08	0,07	0,07

Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлена способность наночастиц металлов (Fe, Cu, ZnO, Ag) в качестве предпосевной обработки семян увеличивать синтез фотосинтетических пигментов. Тогда как ингибирование образования продуктов перекисного окисления липидов мембран и снижение выхода водорастворимых веществ из растительных тканей говорит о реализации адаптационно-защитного потенциала.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (Б19ВА-001) и ВАНТ (QТВУ02.02/19-20)

Библиографические ссылки

1. Achari, G.A. Recent Developments on Nanotechnology in Agriculture: Plant Mineral Nutrition, Health, and Interactions with Soil Microflora / G.A. Achari, M. Kowshik // J. Agric. Food. Chem. – 2018. – Vol. 66, № 33. – P. 8647–8661..
2. Азизбян, С.Г. Исследование эффективности микроудобрений на основе наночастиц биоэлементов / С.Г. Азизбян [и др.] // Нанотехника. – 2012. – № 4. – С. 70–71.
3. Володина, Л.А. Влияние физико-химических характеристик модифицированных поверхностей наноразмерных частиц меди на ингибирование роста культуры клеток и электростатические свойства поверхности бактерий / Л.А. Володина [и др.] // Биофизика. – 2013. – № 58(3). – С.507–515.
4. Шлык, А.А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А.А. Шлык // Биохимические методы в физиологии растений. – М.:Наука, 1971.–С.154-170.
5. Genetic Regulation of Chlorophyll Synthesis Analyzed with Mutants in Barley / D. Von Wettstein [et al.] // Science. – 1974. – Vol. 184, № 4138. – P. 800–802.
6. Copper-induced damage to the permeability barrier in roots of *Silene cucubalus* // C.H.R. De Vos [et al.] // J. Plant Physiol. – 1989. – Vol. 135. – P. 164-169.