

УДК 581.1

## ВЛИЯНИЕ НИТРОПРУССИДА НАТРИЯ НА ПИГМЕНТНЫЙ КОМПЛЕКС ЛИСТЬЕВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПРОСА В НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ

© 2015 г. Ю. В. Карпец, Ю. Е. Колупаев,  
Н. В. Швиденко, Т. О. Ястреб

*Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева  
(Харьков, Украина)*

Исследовали влияние донора оксида азота (нитропруссид натрия – НПН) на физиологическое состояние растений проса (*Panicum miliaceum* L.), выращиваемых на антропогенно измененной почве с низким содержанием гумуса, щелочным рН и недостатком фосфора. Трехкратное опрыскивание растений в фазах выхода в трубку, колошения–цветения и молочной спелости НПН в концентрации 0,5 мМ вызывало увеличение в листьях содержания хлорофиллов, каротиноидов, антоцианов и флавоноидов, поглощающих в области УФ В. Указанная обработка стимулировала рост растений, вызывала увеличение содержания воды в листьях, повышение общей и зерновой продуктивности. Опрыскивание растений раствором 0,1 мМ НПН существенно не влияло на исследуемые показатели. В то же время под влиянием НПН в концентрации 2 мМ отмечалось снижение содержания фотосинтетических пигментов и воды в листьях, уменьшалось накопление биомассы растений. Сделано заключение об индуцировании защитных реакций растений донором оксида азота в оптимальной концентрации.

**Ключевые слова:** *Panicum miliaceum*, нитропруссид натрия, оксид азота, фотосинтетические пигменты, антоцианы, флавоноиды, рост, продуктивность

По современным представлениям оксид азота (NO) является важным компонентом сигнальной сети растительных клеток (Neill et al., 2008; Mur et al., 2013). Оксид азота задействован в трансдукции в генетический аппарат многих стрессовых и гормональных сигналов. Известна его роль в регуляции состояния устьиц (Garcia-Mata, Lamattina, 2001; Lu et al., 2005), передаче в геном сигналов абсцизовой кислоты и других стрессовых фитогормонов (Bright et al., 2006; Мамаева и др., 2015), формировании симбиотических отношений растений с микроорганизмами (Глянко, Васильева, 2007), адаптации растений к экстремальным температурам (Song et al., 2013; Карпец и др., 2015), действию УФ В (Zhang et al., 2009) и других стрессоров.

Показано повышение устойчивости растений к тепловому и солевому стрессам (Uchida et al., 2002; Карпец и др., 2011), засухе (Garcia-

Mata, Lamattina, 2001), облучению УФ В (Тян, Лей, 2007), действию тяжелых металлов (Wang et al., 2010; Bai et al., 2015) и других неблагоприятных факторов под влиянием экзогенных доноров оксида азота. Установлено, что оксид азота может индуцировать многие защитные системы растений. В частности, на растениях различных видов показано усиление экспрессии генов и повышение активности антиоксидантных ферментов под влиянием экзогенного NO (Тян, Лей, 2007; Wang et al., 2010; Карпец и др., 2011). Имеются сведения об индуцировании оксидом азота накопления пролина и других осмолитов в растениях (Ruan et al., 2004; Tan et al., 2007). Получены экспериментальные доказательства причастности NO к регуляции экспрессии генов *МУС*, контролирующих синтез флавоноидов, в т.ч. антоцианов (Palmieri et al., 2008). Флавоноидные соединения считаются полифункциональными протекторами растительных клеток, поскольку помимо антиоксидантной функции могут играть роль осмопротекторов, связывать тяжелые металлы, экранировать избыточное освещение (Khlestkina, 2013). Показано, что мутант арабидопсиса

---

*Адрес для корреспонденции:* Карпец Юрий Викторович, Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева, п/о «Коммунист-1», Харьков, 62483, Украина;  
e-mail: plant\_biology@mail.ru

*Atnoal*, дефектный по синтезу NO, отличался пониженным содержанием флавоноидов, в т.ч. антоцианов, и был чувствителен к действию УФ В (Zhang et al., 2009).

В связи с изложенным представляется заманчивым практическое использование доноров NO, в частности, наиболее распространенного нитропрусида натрия (НПН), для индуцирования устойчивости растений к стрессорам. В полевом эксперименте показано положительное влияние обработки растений пшеницы 0,2 мМ НПН на их состояние в условиях естественной засухи, что проявлялось в увеличении размеров флагового листа, повышении содержания воды в растениях (Жук, Мусієнко, 2010). В целом же сведений о физиологических эффектах доноров NO в условиях, близких к естественным, в литературе почти нет.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния обработки НПН на содержание фотосинтетических пигментов, флавоноидных соединений в листьях, а также рост и продуктивность растений проса (*Panicum miliaceum* L.), выращиваемых в неблагоприятных условиях модельного полевого опыта. Выбор проса в качестве объекта исследования обусловлен отсутствием в литературе каких-либо данных о влиянии экзогенного оксида азота на физиологические показатели растений этого вида. Известно, что просо отличается достаточно высокой устойчивостью к неблагоприятным факторам. В то же время показано значительное снижение его урожайности при выращивании на антропогенно измененной почве со щелочной реакцией среды, низким содержанием гумуса и питательных веществ (Вайнер и др., 2015).

## МЕТОДИКА

Объектом исследования были растения проса сорта Константиновское. Исследования проводили в 2015 году в условиях мелкоделяночного модельного полевого опыта на опытном участке кафедры ботаники и физиологии растений ХНАУ им. В.В. Докучаева с антропогенно нарушенным почвенным покровом, характеризующимся пониженным содержанием гумуса (3,55%), низким содержанием доступного фосфора (61 мг/кг), щелочными значениями  $pH_{KCl}$  (7,38), содержание доступного калия составляло 100 мг/кг. Площади делянок – 2 м<sup>2</sup>.

Посев проводили в начале второй декады мая. Метеорологические условия в период вегетации растений отличались от средних многолетних. Температура была на 2,2 градуса

выше средней многолетней нормы, в то же время количество осадков было на 25% ниже многолетних величин. При этом их распределение было крайне неравномерным: в первой половине вегетации проса оно на 20% превышало средние многолетние величины, а во второй составляло лишь 31% от нормы.

Опрыскивание растений растворами НПН в концентрациях 0,1; 0,5 и 2 мМ проводили трижды: в фазах выхода в трубку, колошения–цветения и молочной спелости. На третий день после каждой обработки определяли высоту растений, содержание воды, фотосинтетических пигментов и флавоноидных соединений во флаговых листьях.

Содержание воды в листьях определяли обычным гравиметрическим методом после высушивания образцов при 103°C до постоянной массы.

Количество хлорофиллов и каротиноидов в листьях анализировали в этанольной вытяжке (Шлык, 1971). Для определения содержания флавоноидов, которые имеют максимум поглощения в УФ-В области, и антоцианов навески растительного материала гомогенизировали в 10 мл 1%-ного раствора HCl в метаноле (Nogues, Baker, 2000) После центрифугирования гомогената при 8000 g в течение 15 мин определяли оптическую плотность супернатанта при 300, 530 и 657 нм (Nogues, Baker, 2000; Li et al., 2014). При расчете содержания антоцианов учитывали величину неспецифического поглощения при 657 нм (Li et al., 2014).

По окончании вегетации растения срезали вручную и определяли общую массу надземной части и массу зерна.

Повторность опытов четырехкратная. На рисунках и в таблицах приведены средние величины и их стандартные ошибки или  $НСР_{0,05}$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обработка растений НПН в концентрации 0,5 мМ оказывала ростстимулирующее влияние на растения проса, что проявлялось в увеличении размеров надземной их части в период колошения–цветения и молочной спелости (рис. 1, 2). Донор оксида азота в низкой концентрации (0,1 мМ) не оказывал влияния на рост растений, в то время как обработка НПН в концентрации 2 мМ вызывала ингибирование роста растений, проявляющееся в фазе молочной спелости (рис. 2, А).

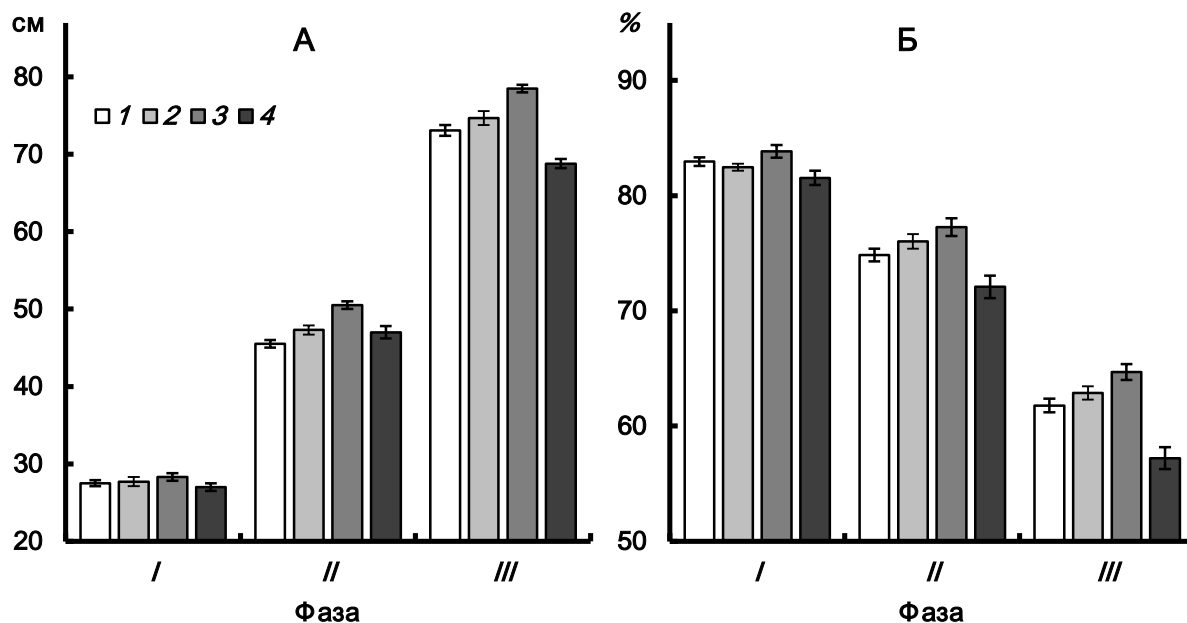
Содержание воды во флаговых листьях контрольного и опытных вариантов уменьшалось по мере их старения (рис. 2, Б). При этом

## ВЛИЯНИЕ НИТРОПРУССИДА НАТРИЯ НА ПИГМЕНТНЫЙ



**Рис. 1. Растения проса в фазе молочной спелости.**

1 – контроль, 2–4 – НПН в концентрациях 0,1; 0,5 и 2 мМ соответственно.



**Рис. 2. Высота надземной части растений проса, см (А) и содержание воды во флаговых листьях, % (Б).**

I–III – фаза выхода в трубку, фаза колошения–цветения и фаза молочной спелости соответственно. 1 – контроль, 2–4 – НПН в концентрациях 0,1; 0,5 и 2 мМ соответственно.

под влиянием НПН в оптимальной концентрации (0,5 мМ) отмечалось сохранение более высокого содержания воды в исследуемых листьях в фазах колошения–цветения и молочной спелости. НПН в концентрации 0,1 мМ не влиял на этот показатель, а обработка 2 мМ раствором вызывала значительное снижение содержания воды в листьях в фазе молочной спелости. Отметим, что в литературе имеются сведения о положительном влиянии НПН на содержание воды в листьях растений пшеницы в полевых условиях (Мусієнко, Жук, 2010).

Известно, что одним из маркеров устойчивости растений к действию стресс-факторов является их способность сохранять пул фотосинтетических пигментов (Santos, 2004). Содержание хлорофиллов во флаговых листьях всех вариантов уменьшалось в ходе развития растений, особенно заметным этот эффект был в фазе молочной спелости (табл. 1). Обработка

НПН в концентрации 0,1 мМ вызывала тенденцию к сохранению более высокого содержания этих пигментов в фазах колошения–цветения и молочной спелости. Под влиянием 0,5 мМ НПН отмечалось более высокое по сравнению с соответствующими контролями содержание хлорофиллов в листьях на всех трех исследуемых фазах развития растений. В то же время обработка растений НПН в более высокой концентрации (2 мМ) приводила к снижению содержания хлорофиллов во флаговых листьях (табл. 1).

Полученные результаты согласуются с литературными данными о смягчающем влиянии экзогенного NO на вызываемые стрессорами эффекты снижения содержания хлорофилла в листьях растений. Положительное действие NO на содержание хлорофилла может быть связано с повышением под его влиянием доступности Fe (Bai et al., 2015), недостаток кото-

Таблица 1. Содержание фотосинтетических пигментов и флавоноидов в флаговых листьях проса

Вариант	Хлорофилл <i>a</i> , мг/г сухого вещества	Хлорофилл <i>b</i> , мг/г сухого вещества	Хлорофиллы <i>a + b</i> , мг/г сухого вещества	Каротиноиды, мг/г сухого вещества	Антоцианы, ( $A_{530} - 0,25A_{567}$ )/г сухого вещества	Флавоноиды, $A_{300}$ /г сухого вещества
<i>Фаза выхода в трубку</i>						
Контроль	5,98 ± 0,12	3,03 ± 0,07	9,01 ± 0,14	0,882 ± 0,018	0,061 ± 0,001	0,407 ± 0,007
НПН, 0,1 мМ	5,96 ± 0,10	3,14 ± 0,08	9,10 ± 0,13	0,890 ± 0,028	0,063 ± 0,003	0,422 ± 0,008
НПН, 0,5 мМ	6,49 ± 0,09	3,40 ± 0,08	9,89 ± 0,12	0,914 ± 0,024	0,072 ± 0,003	0,456 ± 0,010
НПН, 2 мМ	5,67 ± 0,09	2,79 ± 0,09	8,46 ± 0,13	0,791 ± 0,014	0,060 ± 0,002	0,370 ± 0,008
<i>Фаза колошения–цветения</i>						
Контроль	4,73 ± 0,07	2,32 ± 0,04	7,05 ± 0,08	0,668 ± 0,008	0,061 ± 0,001	0,420 ± 0,008
НПН, 0,1 мМ	4,93 ± 0,09	2,46 ± 0,03	7,39 ± 0,09	0,725 ± 0,005	0,064 ± 0,002	0,424 ± 0,006
НПН, 0,5 мМ	5,28 ± 0,08	2,42 ± 0,04	7,70 ± 0,09	0,833 ± 0,007	0,073 ± 0,003	0,474 ± 0,004
НПН, 2 мМ	3,83 ± 0,12	1,68 ± 0,04	5,51 ± 0,13	0,692 ± 0,009	0,070 ± 0,004	0,412 ± 0,006
<i>Фаза молочной спелости</i>						
Контроль	3,22 ± 0,06	1,79 ± 0,03	5,01 ± 0,07	0,527 ± 0,009	0,048 ± 0,002	0,318 ± 0,006
НПН, 0,1 мМ	3,46 ± 0,08	2,02 ± 0,06	5,48 ± 0,10	0,533 ± 0,009	0,052 ± 0,004	0,342 ± 0,004
НПН, 0,5 мМ	3,63 ± 0,05	2,20 ± 0,05	5,83 ± 0,07	0,555 ± 0,010	0,057 ± 0,001	0,364 ± 0,006
НПН, 2 мМ	3,06 ± 0,06	1,83 ± 0,06	4,89 ± 0,08	0,391 ± 0,012	0,057 ± 0,003	0,293 ± 0,004

Таблица 2. Продуктивность растений проса

Вариант	Общая надземная масса, г/м <sup>2</sup>	Масса зерна, г/м <sup>2</sup>
Контроль	632	52,5
НПН, 0,1 мМ	640	52,8
НПН, 0,5 мМ	712	59,7
НПН, 2 мМ	583	50,1
НСП <sub>0,05</sub>	57,5	2,88

рого может особенно заметно проявляться на щелочной почве.

Содержание каротиноидов, как и количество хлорофиллов, в листьях растений всех вариантов уменьшалось по мере их старения (табл. 1). Под влиянием НПН в концентрации 0,1 мМ отмечалось сохранение более высокого количества каротиноидов в листьях в фазе колошения–цветения. При опрыскивании растений НПН в концентрации 0,5 мМ увеличенное относительно контроля содержание каротиноидов во флаговых листьях отмечалось как на стадии колошения–цветения, так и молочной спелости (табл. 1). В то же время под действием 2 мМ НПН происходило снижение содержания каротиноидов в фазе выхода в трубку и особенно в фазе молочной спелости.

Антоцианы относятся к пигментам, обладающим высокой антиоксидантной активностью (Neill, Gould, 2003). Им, наряду с каротиноидами, принадлежит важная роль в защите фотосинтетического аппарата растений. Кроме того, как уже отмечалось, антоцианы проявляют полифункциональное защитное действие в

растительных клетках, составляющими которого являются их осмопротекторные эффекты, способность связывать тяжелые металлы и пр. (Khlestkina, 2013). Считается, что NO задействован в контроле синтеза флавоноидов, в т.ч. антоцианов (Palmieri et al., 2008).

В условиях наших экспериментов содержание антоцианов в листьях растений контрольного варианта не изменялось при переходе растений в фазу колошения–цветения, однако несколько уменьшалось в фазе молочной спелости (табл. 1). НПН в концентрации 0,1 мМ не оказывал влияния на количество антоцианов в листьях. В варианте с 0,5 мМ НПН содержание антоцианов было выше, чем в контроле, на всех трех исследуемых фазах развития растений. При действии 2 мМ НПН проявлялось повышенное содержание антоцианов в листьях в фазах колошения–цветения и молочной спелости (табл. 1).

Количество «бесцветных» флавоноидов, поглощающих в УФ В, во флаговых листьях контрольного варианта снижалось в фазе молочной спелости. Обработка растений 0,1 мМ

## ВЛИЯНИЕ НИТРОПРУССИДА НАТРИЯ НА ПИГМЕНТНЫЙ

НПН не оказывала влияния на содержание в листьях флавоноидов этой группы. В то же время в варианте с 0,5 мМ НПН отмечалось более высокое по сравнению с соответствующими контролями содержание флавоноидов в листьях (табл. 1). При действии 2 мМ НПН содержание флавоноидов в листьях в фазах колошения–цветения молочной спелости было выше, чем в контроле.

В связи с неблагоприятными почвенными условиями продуктивность растений проса в опыте была низкой (табл. 2). Опрыскивание растений 0,5 мМ НПН способствовало накоплению общей биомассы надземной части и повышению зерновой продуктивности (табл. 2). Обработка НПН в концентрации 0,1 мМ не вызывала заметных изменений показателей продуктивности растений. В то же время опрыскивание растений НПН в концентрации 2 мМ вызывало тенденцию к уменьшению общей биомассы и массы зерна растений проса (табл. 2).

В целом полученные результаты свидетельствуют о возможности повышения в условиях полевого опыта устойчивости растений проса к комплексу неблагоприятных факторов обработкой донором NO НПН. Опрыскивание растений НПН в оптимальных концентрациях способствовало сохранению в листьях большого количества воды в условиях ее недостатка (рис. 2). Не исключено, что такой эффект обусловлен способностью NO регулировать состояние устьиц (Lu et al., 2005). Естественно, это предположение требует специальных исследований и не исключает других (опосредованных) механизмов влияния оксида азота на водный режим растений. Важным положительным эффектом НПН является повышение под его влиянием содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях (табл. 1). Повышенное содержание хлорофиллов обычно коррелирует с повышением продуктивности, а увеличение количества каротиноидов может иметь значение для защиты фотосинтетического аппарата в неблагоприятных условиях (Cuttriss et al., 2004; Gill, Tuteja, 2010). Полифункциональное протекторное значение, по-видимому, имеет и увеличение в листьях под влиянием НПН содержания флавоноидов, в т.ч. антоцианов, обладающих ярко выраженным антиоксидантным действием (Neill, Gould, 2003). Можно полагать, что сбалансированная работа протекторных систем при обработке растений донором NO смягчала негативное влияние на них неблагоприятных почвенных условий, повышенной температуры и недостатка влаги. Об этом свидетельствует

более высокая продуктивность растений проса, обработанных НПН в оптимальной концентрации, по сравнению с контрольными.

При этом, однако, следует отметить, что диапазон концентраций НПН, оказывающих протекторное действие и проявляющих негативное (по-видимому, токсическое) влияние на растения невелик. Так, в условиях наших опытов защитное действие НПН выразительно проявлялось в концентрации 0,5 мМ, в то же время под влиянием 2 мМ НПН усиливалась деградация фотосинтетических пигментов, уменьшалась оводненность листьев и отмечалась тенденция к снижению продуктивности растений. О токсичности оксида азота как молекулярного радикала, способной в нефизиологических концентрациях вызывать окислительные повреждения биомолекул, хорошо известно (Valderrama et al., 2007). В связи с этим практическому применению НПН как индуктора устойчивости растений должны предшествовать тщательные исследования по выбору его эффективных концентраций.

*Публикация содержит результаты исследований, проведенных при грантовой поддержке Государственного фонда фундаментальных исследований по конкурсному проекту Ф61/74 для молодых ученых на 2015 год.*

## ЛИТЕРАТУРА

- Вайнер А.А., Луговая А.А., Колупаев Ю.Е., Мирошниченко Н.Н. Влияние жасмоновой кислоты на продуктивность и устойчивость растений проса к неблагоприятным абиотическим факторам // Агрехимия. – 2015. – № 4. – С. 62-67.
- Глянько А.К., Васильева Г.Г. Особенности действия активных форм кислорода и азота при бобово-ризобийном симбиозе // Вісн. Харків націон. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія. – 2007. – Вип. 3 (12). – С. 27-41.
- Жук І.В., Мусієнко М.М. Вплив оксиду азоту на рослини пшениці в умовах посухи // Вісн. аграрн. науки. – 2010. – № 5. – С. 32-34.
- Карпец Ю.В., Колупаев Ю.Е., Вайнер А.А. Функциональное взаимодействие оксида азота и пероксида водорода при формировании индуцированной теплоустойчивости проростков пшеницы // Физиология растений. – 2015. – Т. 62, № 1. – С. 72-78.
- Карпец Ю.В., Колупаев Ю.Е., Ястреб Т.О. Влияние нитропрусида натрия на теплоустойчивость коллеоптилей пшеницы: связь эффектов с образованием и обезвреживанием активных форм кислорода // Физиология растений. – 2011. – Т. 58, № 6. – С. 883-890.

- Мамаева А.С., Фоменков А.А., Носов А.В., Мошков И.Е., Мур Л.А.Дж., Холл М.А., Новикова Г.В. Регуляторная роль оксида азота у растений // Физиология растений. – 2015. – Т. 62, № 4. – С. 459-474.
- Тян С.Р., Лей Ю.Б. Физиологические ответные реакции проростков пшеницы на засуху и облучение УФ-Б. Влияние нитропрусида натрия // Физиология растений. – 2007. – Т. 54, № 5. – С. 763-769.
- Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений / Под ред. О.А. Павлиновой. – М.: Наука, 1971. – С. 154-170.
- Bai X. Y., Dong Y. J., Xu L. L., Kong J., Liu S. Effects of exogenous nitric oxide on physiological characteristics of perennial ryegrass under cadmium and copper stress // Russ. J. Plant Physiol. – 2015. – V. 62, № 2. – P. 237-245.
- Bright J., Desikan R., Hancock J.T., Weir I.S., Neill S.J. ABA-induced NO generation and stomatal closure in *Arabidopsis* are dependent on H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> synthesis // Plant J. – 2006. – V. 45. – P. 113-122.
- Cuttriss A.J., Pogson B.J. Carotenoids // Plant Pigments and Their Manipulation / Ed. K.M. Davies. – Boca Raton: CRC Press, 2004. – P. 57-91.
- Garcia-Mata C., Lamattina L. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress // Plant Physiol. – 2001. – V. 126. – P. 1196-1204.
- Gill S.S., Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants // Plant Physiol. Biochem. – 2010. – V. 48. – P. 909-930.
- Khlestkina E.K. The adaptive role of flavonoids: emphasis on cereals // Cereal Res. Commun. – 2013. – V. 41. – P. 185-198.
- Li T., Jia K.P., Lian H.L., Yang X., Li L., Yang H.Q. Jasmonic acid enhancement of anthocyanin accumulation is dependent on phytochrome A signaling pathway under far-red light in *Arabidopsis* // Biochem. Biophys. Res. Commun. – 2014. – V. 454. – P. 78-83.
- Lu D., Zhang X., Jiang J., An G.Y., Zhang L.R., Song C.P. NO may function in the downstream of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in ABA-induced stomatal closure in *Vicia faba* L. // J. Plant Physiol. Mol. Biol. – 2005. – V. 31. – P. 62-70.
- Mur L.A.J., Mandon J., Persijn S., Cristescu S.M., Moshkov I.E., Novikova G.V., Hall M.A., Harren F.J.M., Hebelstrup K.H., Gupta K.J. Nitric oxide in plants: an assessment of the current state of knowledge // AoB Plants. – 2013. – V. 5. – P. 052.
- Neill S., Bright J., Desikan R., Hancock J., Harrison J., Wilson I. Nitric oxide evolution and perception // J. Exp. Bot. – 2008. – V. 59. – P. 25-35.
- Neill S.O., Gould K.S. Anthocyanins in leaves: light attenuators or antioxidants? // Functional Plant Biol. – 2003. – V. 30, № 8. – P. 865-873.
- Nogues S., Baker N.R. Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under UV-B radiation // J. Exp. Bot. – 2000. – V. 51. – P. 1309-1317.
- Palmieri M.C., Sell S., Huang X., Scherf M., Werner T., Durner J., Lindermayr C. Nitric oxide-responsive genes and promoters in *Arabidopsis thaliana*: a bioinformatics approach // J. Exp. Bot. – 2008. – V. 59. – P. 177-186.
- Ruan H.H., Shen W.B., Xu L.L. Nitric oxide involved in the abscisic acid induced proline accumulation in wheat seedling leaves under salt stress // Acta Bot. Sinica. – 2004. – V. 46. – P. 1307-1315.
- Santos C.V. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves // Sci. Hortic. – 2004. – V. 103. – P. 93-99.
- Song L., Zhao H., Hou M. Involvement of nitric oxide in acquired thermotolerance of rice seedlings // Russ. J. Plant Physiol. – 2013. – V. 60. – P. 785-790.
- Tan J., Zhao H., Hong J., Han Y., Li H., Zhao W. Effects of exogenous nitric oxide on photosynthesis, antioxidant capacity and proline accumulation in wheat seedlings subjected to osmotic stress // World J. Agricult. Sci. – 2008. – V. 4. – P. 307-313.
- Uchida A., Jagendorf A.T., Hibino T., Takabe T., Takabe T. Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice // Plant Sci. – 2002. – V. 163. – P. 515-523.
- Valderrama R., Corpas F., Carreras A., Fernandez-Ocana A., Chaki M., Luque F., Gomez-Rodriguez M.V., Colmenero-Varea P., Del Río L.A., Barroso J.B. Nitrosative stress in plants // FEBS J. – 2007. – V. 581. – P. 453-461.
- Wang S.H., Zhang H., Jiang S.J., Zhang L., He Q.Y., He H.Q. Effects of the nitric oxide donor sodium nitroprusside on antioxidant enzymes in wheat seedling roots under nickel stress // Russ. J. Plant Physiol. – 2010. – V. 57. – P. 833-839.
- Zhang L., Zhou S., Xuan Y., Sun M., Zhao L. Protective effect of nitric oxide against oxidative damage in *Arabidopsis* leaves under ultraviolet-B irradiation // J. Plant Biol. – 2009. – V. 52. – P. 135-140.

Поступила в редакцию  
16.10.2015 г.

## **ВЛИЯНИЕ НИТРОПРУССИДА НАТРИЯ НА ПИГМЕНТНЫЙ**

### **INFLUENCE OF SODIUM NITROPRUSSIDE ON PIGMENTAL COMPLEX OF LEAVES AND PRODUCTIVITY OF MILLET IN ADVERSE CONDITIONS**

Yu. V. Karpets, Yu. E. Kolupaev, M. V. Shvydenko, T. O. Yastreb

*V.V. Dokuchaev Kharkiv National Agrarian University  
(Kharkiv, Ukraine)  
e-mail: plant\_biology@mail.ru*

The influence of donor of nitric oxide (sodium nitroprusside – SNP) on the physiological state of millet (*Panicum miliaceum* L.) plants, cultivated in anthropogenic changed soil with the low content of humus, alkaline pH and phosphorus deficiency has been investigated. Triple spraying of plants with SNP in concentration of 0,5 mM at the stages of stem extension, heading-flowering and milky ripeness invoked the raise of content of chlorophyll, carotinoids, anthocyanins and flavonoids, absorbing radiation in the range of UV B, in leaves. The indicated treatment stimulated the growth of plants, invoked the increase of water content in leaves, rising of overall and grain productivity. Spraying of plants with the solution of 0,1 mM SNP did not influence essentially on the investigated indicators. At the same time under the action of SNP in concentration of 2 mM the decrease of content of photosynthetic pigments and water in leaves, and the reduction of accumulation of plants biomass was registered. The conclusion about the induction of protective responses of plants by the donor of nitric oxide in optimum concentration is made.

**Key words:** *Panicum miliaceum, sodium nitroprusside, nitric oxide, photosynthetic pigments, anthocyanins, flavonoids, growth, productivity*

## **ВПЛИВ НІТРОПРУСИДУ НАТРІЮ НА ПІГМЕНТНИЙ КОМПЛЕКС ЛИСТКІВ І ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРОСА ЗА НЕСПРИЯТЛИВИХ УМОВ**

Ю. В. Карпець, Ю. Є. Колупасєв, М. В. Швиденко, Т. О. Ястреб

*Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва  
(Харків, Україна)  
e-mail: plant\_biology@mail.ru*

Досліджували вплив донору оксиду азоту (нітропрусида натрію – НПН) на фізіологічний стан рослин проса (*Panicum miliaceum* L.), вирощуваних на антропогенно зміненому ґрунті з низьким вмістом гумусу, лужним рН і нестачею фосфору. Триразове обприскування рослин у фазах виходу в трубку, колосіння–цвітіння і молочної стиглості НПН в концентрації 0,5 мМ спричинило збільшення в листках вмісту хлорофілів, каротиноїдів, антоціанів і флавоноїдів, що поглинають УФ В. Зазначена обробка стимулювала ріст рослин, викликала збільшення вмісту води в листках, підвищення загальної і зернової продуктивності. Обприскування рослин розчином 0,1 мМ НПН істотно не впливало на досліджувані показники. У той же час під впливом НПН в концентрації 2 мМ відзначалося зниження вмісту фотосинтетичних пігментів і води в листках, зменшувалося накопичення біомаси рослин. Зроблено висновок про індукування захисних реакцій рослин донором оксиду азоту в оптимальній концентрації.

**Ключові слова:** *Panicum miliaceum, нітропрусид натрію, оксид азоту, фотосинтетичні пігменти, антоціани, флавоноїди, ріст, продуктивність*