

УДК 581.1

ИНДУЦИРОВАНИЕ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ДЕЙСТВИЕМ ДОНОРА NO НИТРОПРУССИДА НАТРИЯ.

2. ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХЕ

© 2018 г. Ю. В. Карпец, М. А. Шкляревский, А. А. Луговая

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

Исследовали влияние донора оксида азота нитропруссид натрия (НПН) на устойчивость сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) к почвенной засухе (снижение влажности субстрата до 25-30% от полной влагоемкости). Опрыскивание растений НПН в концентрациях 0,2 и 0,5 мМ вызывало небольшое усиление линейного роста растений и накопления биомассы при оптимальном поливе. В условиях засухи положительное влияние НПН в концентрациях диапазона 0,2-2,0 мМ на рост растений в высоту и накопление сырой и сухой биомассы было более существенным. После действия 10-дневной засухи водный дефицит контрольных растений составлял около 20%, их обработка НПН снижала этот показатель до 10-12%. Засуха вызывала снижение суммарного содержания хлорофиллов и каротиноидов, а также уменьшение соотношения хлорофиллов *a/b*, обработка растений донором оксида азота способствовала сохранению пула фотосинтетических пигментов, близкого к величине варианта с нормальным увлажнением. Также у растений, обработанных НПН, в условиях засухи не происходило снижения содержания антоцианов и флавоноидов, поглощающих в области УФ-В, которое наблюдалось у контрольных растений. Сделано заключение о роли сигнальной молекулы NO в индуцировании адаптивных реакций сосны обыкновенной к действию абиотического стрессора – почвенной засухе.

Ключевые слова: *Pinus silvestris*, засуха, оксид азота, нитропруссид натрия, устойчивость, фотосинтетические пигменты, антоцианы, флавоноиды

Засуха является наиболее часто встречающимся типом погодного стрессора для растений. Засушливые годы повторяются с периодичностью 1-3 раза в десятилетие. И хотя сосна обыкновенная относительно засухоустойчивая порода, степень ее толерантности к данному стресс-фактору ограничена (Кузнецова, 2010). Особенно чувствительны к засухе сеянцы сосны (Манаенков, 2009). Одним из наиболее эффективных путей повышения засухоустойчивости сосны считается селекционное улучшение посадочного материала (Верзунов, Мехедова, 2007).

В то же время в литературе накоплен значительный объем сведений о возможности повышения устойчивости растений к недостаточному увлажнению с помощью экзогенных

физиологически активных веществ и их доноров. К таким веществам относится, в частности, нитропруссид натрия (НПН) – донор оксида азота (Galatro, Puntarulo, 2014; Khan et al., 2017; Singh, Shah, 2017). Однако стресс-протекторные эффекты оксида азота изучались в основном с использованием арабидопсиса, а также ряда травянистых сельскохозяйственных растений. В частности, сообщается о положительных эффектах доноров NO на растения разных видов при осмотическом и других абиотических стрессах (Zhang et al., 2006; Wang et al., 2007; Tan et al., 2008; Wu et al., 2011; Карпец и др., 2011; Krasylenko et al., 2012).

Установлено, что оксид азота может индуцировать многие защитные реакции. Так, у травянистых растений показано усиление экспрессии генов и повышение активности антиоксидантных ферментов под влиянием доноров NO (Тян, Лей, 2007; Wang et al., 2010; Карпец и др., 2011). Имеются сведения об индуцировании оксидом азота накопления пролина и дру-

Адрес для корреспонденции: Карпец Юрий Викторович, Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева, п/о Докучаевское-2, Харьков, 62483, Украина;
e-mail: plant.biology.knau@gmail.com

гих осмотически активных веществ в растениях (Ruan et al., 2004; Tan et al., 2008). Показано влияние оксида азота на синтез флавоноидов, в том числе антоцианов (Palmieri et al., 2008). Флавоноидные соединения считаются полифункциональными протекторами растительных клеток, поскольку помимо антиоксидантной функции могут выполнять роль осмопротекторов (Khlestkina, 2013).

Большинство указанных сведений получено в лабораторных экспериментах, в которых для создания осмотического стресса корневую систему растений инкубировали в растворах ПЭГ. К настоящему времени имеются лишь единичные данные об использовании донора оксида азота НПН как индуктора устойчивости сельскохозяйственных растений в полевых экспериментах (Floryszak-Wieczorek et al., 2006; Жук, Мусиенко, 2010; Карпец и др., 2015; Карпец, 2016). В предыдущем сообщении нами показано положительное влияние обработки семян сосны донором оксида азота НПН на их устойчивость к инфекционному полеганию (Карпец и др., 2018). Действие же донора NO на устойчивость древесных, в частности хвойных, к абиотическим стрессорам до сих пор оставалось неизученным.

Целью настоящей работы было изучение влияния НПН на ростовые процессы, показатели водного режима и содержание фотосинтетических пигментов и флавоноидных соединений у семян сосны обыкновенной в условиях почвенной засухи.

МЕТОДИКА

Семена сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) для исключения влияния патогенов перед посевом обрабатывали неспецифическим фунгицидом контактного действия «Максим форте» производства Syngenta (0,25 г/л Флудиоксонил + 0,15 г/л Тебуконазол + 0,1 г/л Азоксистробин). Затем семена по 300 шт. высевали в пластиковые кюветы с супесчаной лес-

ной почвой (тип лесорастительных условий В₂дС). Сеянцы выращивали при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$, относительной влажности воздуха $60 \pm 10\%$, освещенности 6 клк (фотопериод 14 ч) с умеренным ежедневным поливом для поддержания относительной влажности субстрата на уровне 70-80% от полной влагоемкости.

На 20-е сутки после посева в почву сеянцы сосны соответствующих вариантов опрыскивали растворами НПН в концентрациях 0,2, 0,5, 2,0 и 5,0 мМ перед созданием засухи. Контрольные растения опрыскивали дистиллированной водой. После этого в соответствующих вариантах создавали засуху в течение 10 дней путем уменьшения интенсивности полива с постепенным снижением относительной влажности почвы до 25-30% от полной влагоемкости.

На 25-е и 30-е сутки эксперимента (5-е и 10-е сутки засухи соответственно) определяли высоту надземной части растений и содержание пигментов.

При определении сырой и сухой массы и показателей водного баланса из каждой биологической повторности отбирали по 50 сеянцев (надземная часть). Для определения водного дефицита растительный материал помещали в кюветы с дистиллированной водой на 2 ч без доступа света для полного насыщения тканей водой (Карпец и др., 2016).

Фотосинтетические пигменты (хлорофиллы и каротиноиды) экстрагировали из надземной части сеянцев этанолом и определяли их содержание спектрофотометрическим методом (Шлык, 1971). Содержание пигментов выражали в мг/г сухой массы.

Для определения содержания флавоноидов с максимумом поглощения в УФ-В области и антоцианов навески растительного материала гомогенизировали в 1% растворе HCl в метаноле (Nogues, Baker, 2000). После центрифугирования гомогената при 8000 г в течение 15 мин определяли оптическую плотность супернатан-



Контроль **Контроль** **НПН0,2мМ** **НПН0,5мМ** **НПН2мМ** **НПН5мМ**
норм. полив **под влиянием засухи**

Рис. 1. Влияние 10-дневной засухи и НПН на состояние сеянцев сосны обыкновенной.

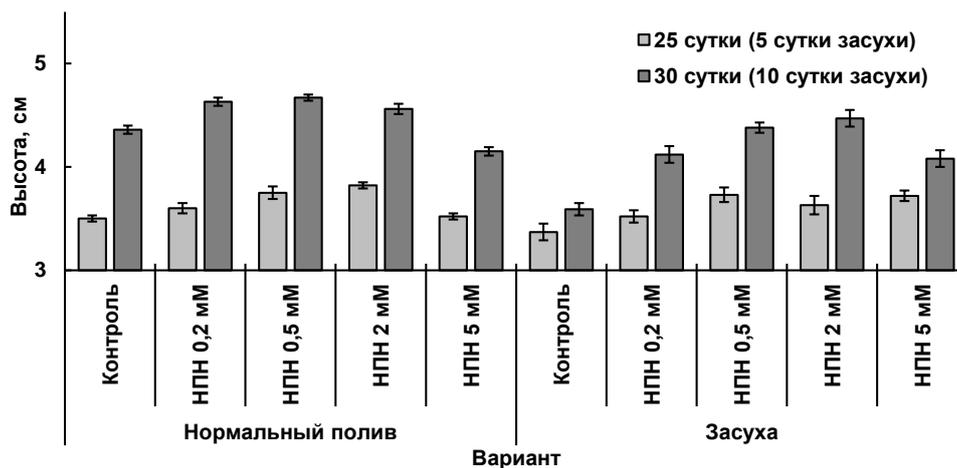


Рис. 2. Влияние НПН на рост в высоту сеянцев сосны обыкновенной при нормальном поливе и в условиях засухи.

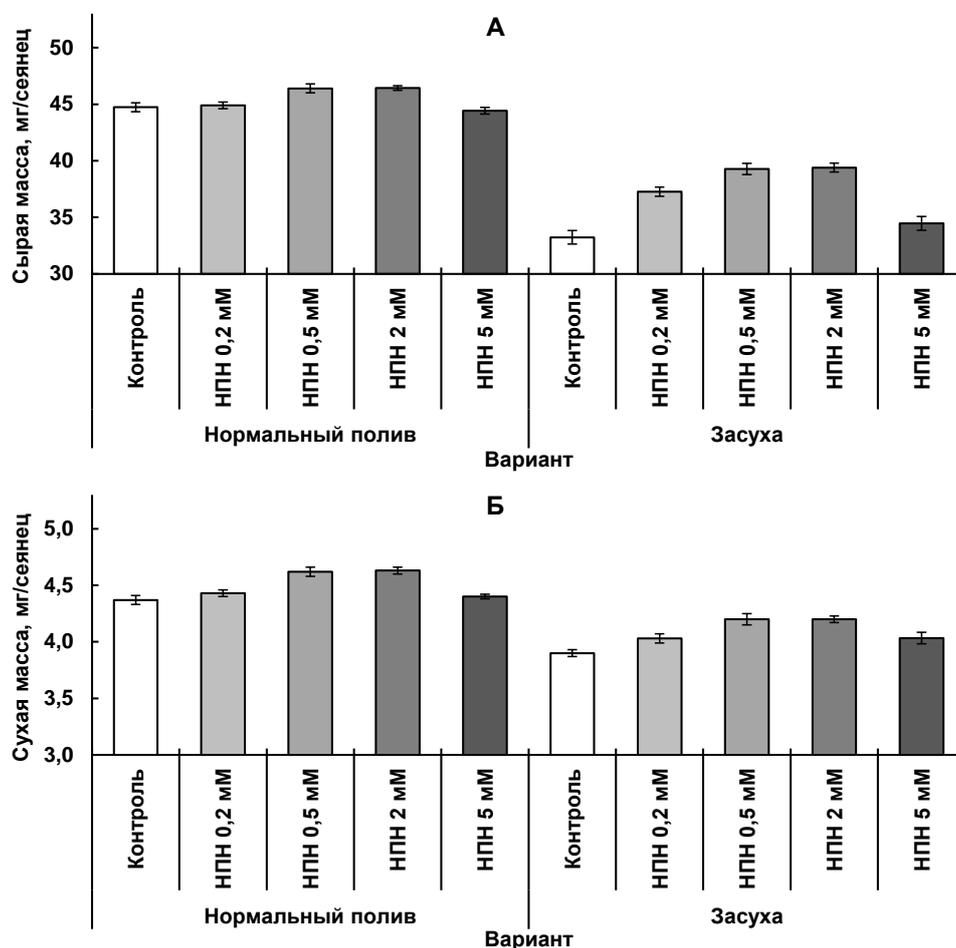


Рис. 3. Сырая (А) и сухая (Б) масса растений сосны обыкновенной на 30-й день эксперимента при действии НПН и 10-дневной засухи.

та при 300, 530 и 657 нм (Pietrini, Massacci, 1998; Nogues, Baker, 2000). При расчете содержания антоцианов учитывали величину неспецифического поглощения при 657 нм (Pietrini, Massacci, 1998).

Эксперименты проводили независимо дважды с четырьмя биологическими повторениями в каждом. На рисунках приведены средние значения и их стандартные ошибки. Достоверность различий оценивали по *t*-критерию Стьюдента. Достоверной считалась разница

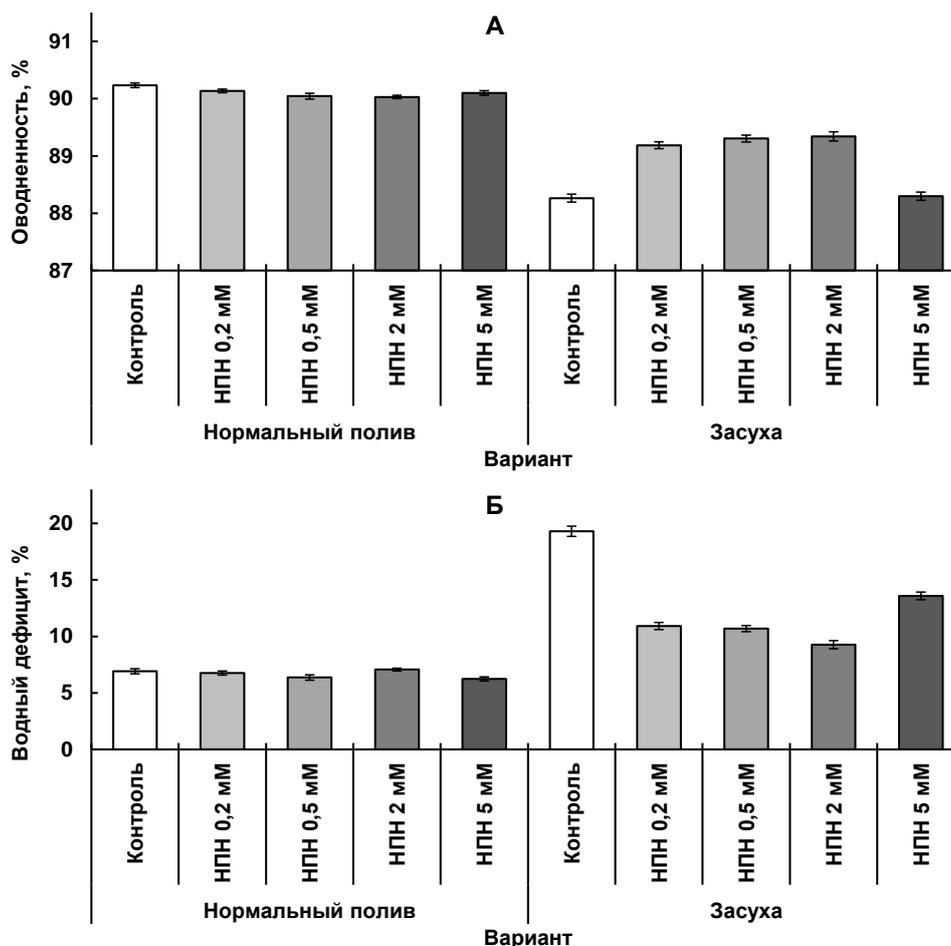


Рис. 4. Содержание воды (А) и водный дефицит (Б) в надземной части сеянцев сосны при действии НПН и 10-дневной засухи.

при $p \leq 0,05$, разница на уровне тенденций – при $p \leq 0,1$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Под влиянием 10-дневной засухи более чем 50% сеянцев контрольного варианта теряли тургорисцентность, в то время как в вариантах с опрыскиванием растворами НПН признаки потери тургора проявлялись только у отдельных сеянцев (рис. 1).

На 5-е сутки от начала действия засухи достоверного ее влияния на высоту сеянцев по сравнению с соответствующими вариантами с нормальным поливом не проявлялось, в то же время на 10-е сутки засухи наблюдалось значительное угнетение роста сеянцев в высоту в контрольном варианте. При этом ингибирующее влияние засухи на сеянцы с предварительной обработкой НПН во всех вариантах, даже с токсической концентрацией НПН 5 мМ, было заметно меньшим (рис. 2). Также обработка НПН в концентрациях 0,2, 0,5 и 2 мМ оказывала небольшое ростстимулирующее влияние на сеянцы в условиях нормального увлажнения.

При нормальном поливе наблюдалась тенденция к увеличению сырой и сухой массы надземной части сеянцев в вариантах с обработкой НПН в концентрациях 0,5 и 2,0 мМ. Засуха снижала прирост сырой и сухой массы во всех вариантах. Однако НПН в нетоксичных концентрациях смягчал отрицательное влияние засухи на накопление растениями сырой и сухой биомассы (рис. 3).

При нормальном поливе значительной разницы показателей содержания воды и величины водного дефицита в надземной части между вариантами обнаружено не было (рис. 4). Под влиянием засухи отмечалось уменьшение содержания воды во всех вариантах опыта. При этом НПН в нетоксичных концентрациях 0,2, 0,5 и 2 мМ способствовал сохранению оводненности тканей сеянцев по сравнению с соответствующим контролем (рис. 4, А). После действия 10-дневной засухи водный дефицит растений составлял около 20%, их обработка НПН снижала его до 10-12%, особенно заметным был эффект обработки НПН в концентрациях 0,2, 0,5 и 2 мМ (рис. 4, Б).

ИНДУЦИРОВАНИЕ... 2. ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХЕ

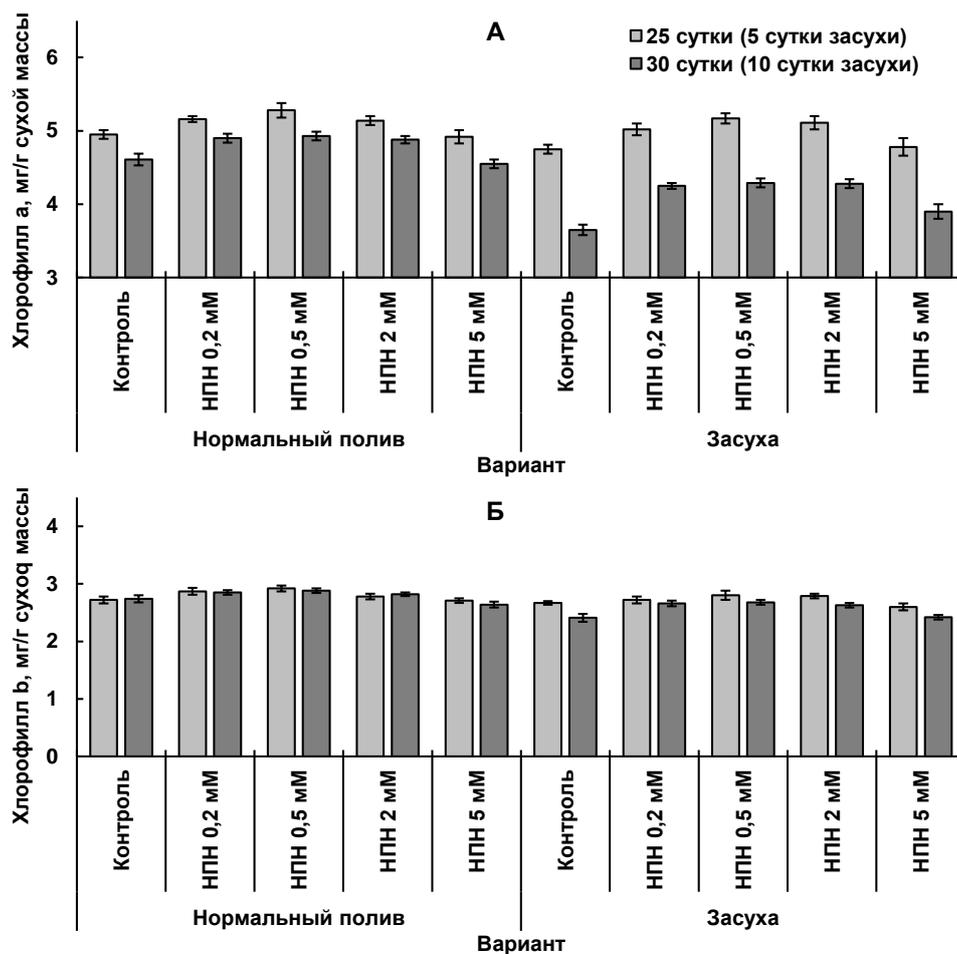


Рис. 5. Влияние НПН на содержание хлорофиллов *a* (А) и *b* (Б) в сеянцах сосны обыкновенной в условиях нормального полива и засухи.

Одним из интегральных показателей состояния растений в стрессовых условиях является содержание в органах надземной части фотосинтетических пигментов. С возрастом растений содержание хлорофилла *a* при нормальном поливе, как в контроле, так и при обработке НПН в разных концентрациях, несколько снижалось (рис. 5, А). В то же время сама по себе обработка НПН в концентрациях 0,2 и 0,5 мМ вызывала тенденцию к некоторому увеличению содержания этого пигмента.

На 5-е сутки засухи количество хлорофилла *a* в вариантах с засухой снижалось незначительно. 10-дневная засуха вызывала существенное снижение его содержания. Обработка НПН в концентрациях 0,2, 0,5 и 2 мМ заметно уменьшала отрицательное влияние засухи на количество основного фотосинтетического пигмента (рис. 5, А).

Содержание хлорофилла *b* при нормальном поливе в контроле и вариантах с обработкой НПН в ходе эксперимента существенно не изменялось (рис. 5, Б). На 25-е сутки эксперимента (5 дней засухи) количество хлорофилла *b*

в контроле и вариантах с засухой существенно не отличалось. На 10-е сутки засухи его содержание сильно уменьшалось, при этом обработка НПН во всем диапазоне концентраций способствовала сохранению его пула (рис. 5, Б).

Суммарное содержание хлорофиллов при нормальном поливе несколько снижалось к 30 суткам эксперимента (рис. 6, А). В этих условиях в вариантах с обработкой НПН в концентрациях 0,2, 0,5 и 2 мМ суммарное содержание хлорофиллов было несколько выше, чем в контроле. 5-дневная засуха влияла на содержание хлорофиллов незначительно, в то время как под влиянием 10-дневной засухи оно заметно уменьшалось, а обработка растений донором оксида азота во всем исследуемом диапазоне концентраций способствовала сохранению общего пула хлорофиллов (рис. 6, А).

Соотношение хлорофиллов *a/b* к 30 суткам эксперимента при нормальном поливе несколько снижалось во всех вариантах опыта (рис. 6, Б). После 5-дневной засухи оно изменялось незначительно. В то же время в условиях жесткой засухи (10 суток) это соотношение

КАРПЕЦ, ШКЛЯРЕВСКИЙ, ЛУГОВАЯ

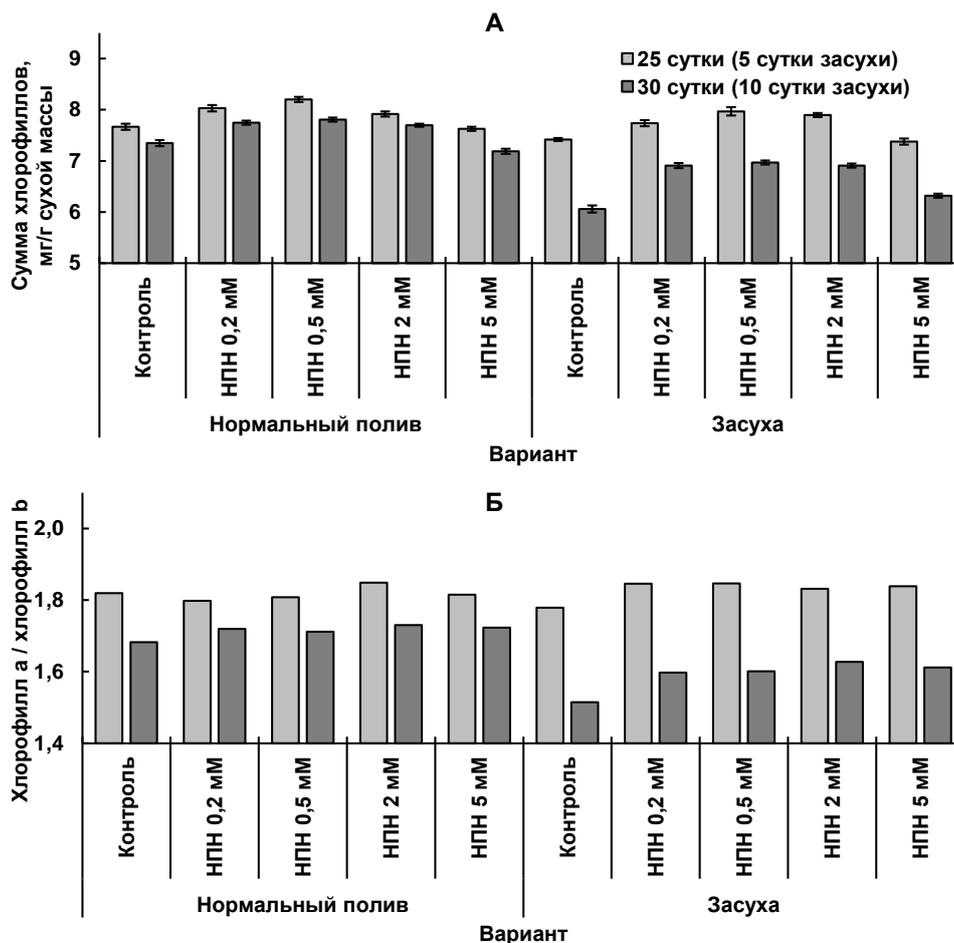


Рис. 6. Влияние НПН на суммарное содержание хлорофиллов (А) и соотношение хлорофиллов *a/b* (Б) в сеянцах сосны обыкновенной в условиях нормального полива и засухи.

значительно уменьшалось, при этом обработка растений НПН во всем исследуемом диапазоне концентраций способствовала увеличению соотношения хлорофиллов *a/b* (рис. 6, Б).

С увеличением возраста растений содержание каротиноидов у сеянцев при нормальном поливе немного возрастало (рис. 7). У 30-дневных растений в вариантах с обработкой 0,2, 0,5 и 2 мМ НПН оно было несколько выше, чем у соответствующих контрольных. 10-дневная засуха снижала содержание каротиноидов у сеянцев сосны, а обработка НПН во всем диапазоне концентраций способствовала его сохранению.

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, они могут вносить вклад в поддержание осмотического давления в клетках в условиях засухи.

При нормальном поливе содержание антоцианов в контроле у 25 и 30-дневных растений не отличалось (рис. 8, А). Обработка НПН в концентрациях 0,5 и 2,0 мМ достоверно повышала количество этих пигментов в сеянцах в условиях нормального увлажнения, а также на 5-е сутки засухи. 10-дневная засуха вызывала значительное снижение содержания антоцианов в контроле, а в сеянцах, обработанных НПН (0,2, 0,5, 2 и 5 мМ), его пул сохранялся на более высоком уровне (рис. 8, А).

Содержание «бесцветных» флавоноидов при нормальном увлажнении в контроле в ходе наблюдений изменялось незначительно (рис. 8, Б). При этом обработка НПН в концентрациях 0,2, 0,5 и 2 мМ не влияла на их количество, однако под влиянием 5 мМ раствора донора NO содержание флавоноидов в надземной части сеянцев уменьшалось. 10-дневная засуха также снижала количество этих соединений, а обработка НПН в концентрациях 0,2, 0,5 и 2 мМ способствовала сохранению их пула (рис. 8, Б). Падение содержания антоцианов и бесцветных флавоноидов в хвое может быть обусловлено

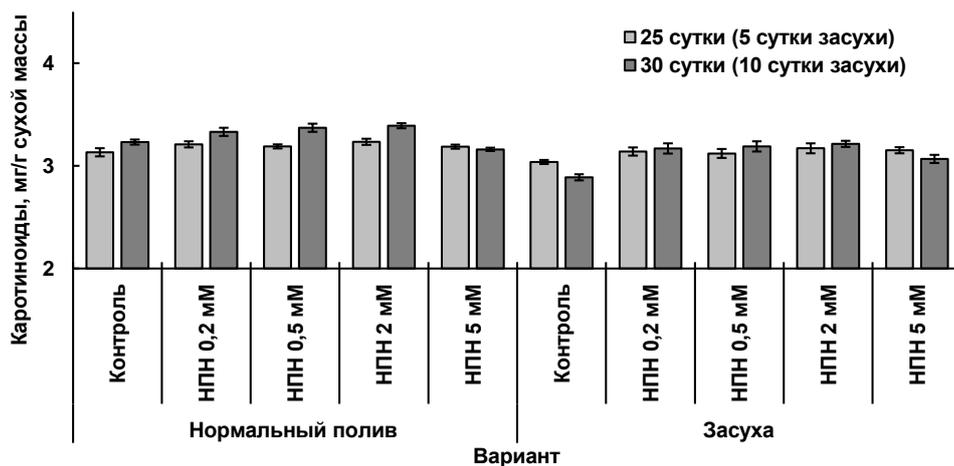


Рис. 7. Влияние НПН на содержание каротиноидов в сеянцах сосны обыкновенной при нормальном поливе и в условиях засухи.

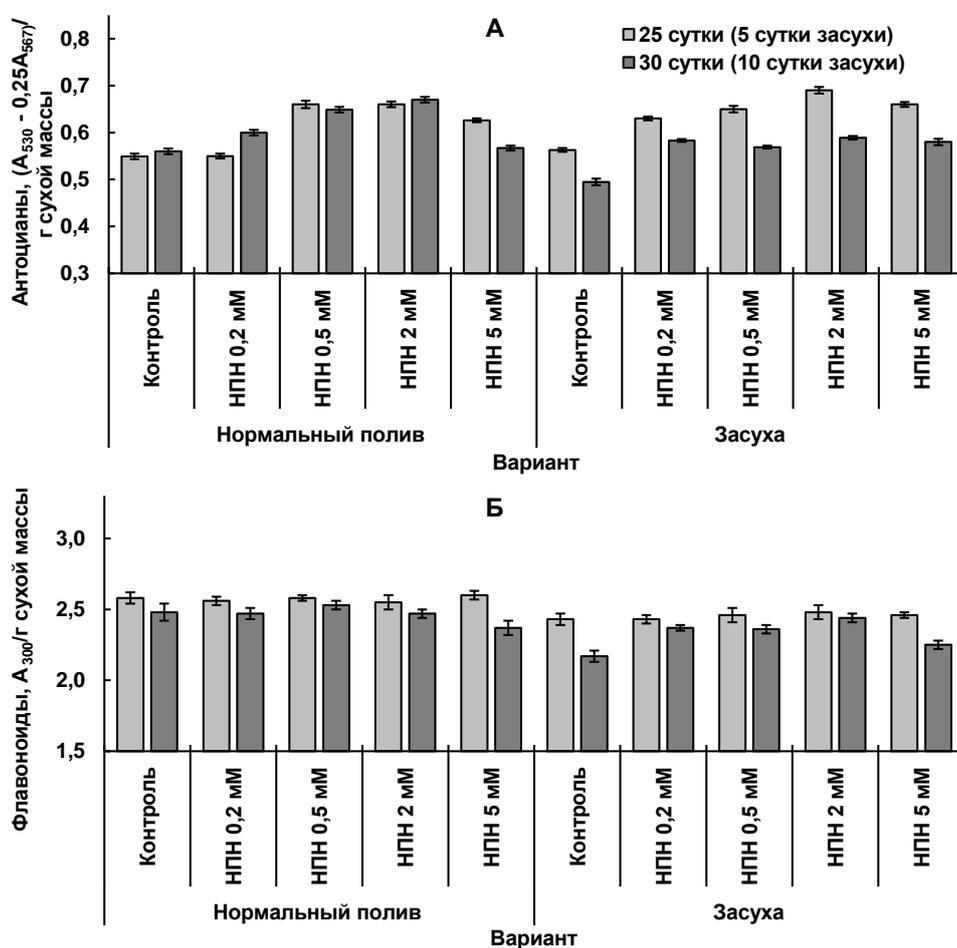


Рис. 8. Влияние НПН на содержание антоцианов (А) и флавоноидов (Б) в сеянцах сосны обыкновенной при нормальном поливе и засухе.

их окислительной деградацией под влиянием АФК, образование которых усиливается в стрессовых условиях (Колупаев, Ястреб, 2015).

В целом полученные результаты свидетельствуют о возможности повышения засухоустойчивости сеянцев сосны обработкой до-

ром оксида азота НПН. Опрыскивание растений НПН в оптимальных концентрациях способствовало сохранению в надземной части большего содержания воды в условиях ее недостатка (рис. 4). Не исключено, что такой эффект в определенной степени может быть обу-

словлен 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 сохранение пула хлорофиллов (в особенности хлорофилла *a*) и каротиноидов у семян сосны (рис. 5-7). Повышенное содержание хлорофиллов обычно коррелирует с накоплением биомассы, 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 ассимиляционных органах 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 почвенной засухи. Наряду с позитивным влиянием на устойчивость молодых растений сосны обыкновенной к засухе (абиотическому стрессу), обработка НПН заметно повышала их резистентность к инфекционному полеганию, вызываемому комплексом грибных болезней (Карпец и др., 2018). Таким образом, донор оксида азота повышает неспецифическую устойчивость сосны к стрессорам различной природы. Для выяснения механизмов этих эффектов необходимы специальные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- Верзунов А.И., Мехедова Л.Г.* Скорость потери воды побегами сосны из географических посевов при искусственном обезвоживании // *Лесоведение*. – 2007. – № 3. – С. 66-70.
- 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.* Влияние донора NO на содержание пигментов в листьях, рост и продуктивность яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // *Вісн. Харків. нац. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія*. – 2016. – Вип. 3 (39). – С. 48-56.
- Карпец Ю.В., Колупаев Ю.Е., Григоренко Д.А., Фирсова Е.Н.* Реакция растений ячменя различных генотипов на почвенную засуху и действие донора оксида азота // *Вісн. Харків. нац. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія*. – 2016. – Вип. 2 (38). – С. 84-105.
- Карпец Ю.В., Колупаев Ю.Е., Ястреб Т.О.* Влияние нитропруссиды натрия на теплоустойчивость коллептилей пшеницы: связь эффектов с образованием и обезвреживанием активных форм кислорода // *Физиология растений*. – 2011. – Т. 58, № 6. – С. 883-890.
- Карпец Ю.В., Колупаев Ю.Е., Швиденко Н.В., Ястреб Т.О.* Влияние нитропруссиды натрия на пигментный комплекс листьев и продуктивность проса в неблагоприятных условиях // *Вісн. Харків. нац. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія*. – 2015. – Вип. 3 (36). – С. 38-44.
- Карпец Ю.В., Шкляревский М.А., Луговая А.А.* Индуцирование неспецифической устойчивости семян сосны обыкновенной действием донора NO нитропруссиды натрия. 1. Повышение устойчивости к инфекционному полеганию // *Вісн. Харків. нац. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія*. – 2018. – Вип. 1 (43). – С. 57-65.
- Колупаев Ю.Е., Ястреб Т.О.* Физиологические функции неэнзиматических антиоксидантов растений // *Вісн. Харків. нац. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія*. – 2015. – Вип. 2 (35). – С. 6-25.
- Кузнецова Н.Ф.* Чувствительность генеративной сферы сосны обыкновенной к засухе // *Лесоведение*. – 2010. – № 6. – С. 46-53.
- Манаенков А.С.* Особенности водного режима корнеобитаемого слоя и засухоустойчивость культур сосны // *Лесоведение*. – 2009. – № 2. – С. 52-61.
- Тян С.Р., Лей Ю.Б.* Физиологические ответные реакции проростков пшеницы на засуху и облучение УФ-Б. Влияние нитропруссиды 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.
- Cuttriss A.J., Pogson B.J.* Carotenoids // *Plant Pigments and Their Manipulation / Ed. K.M. Davies*. – Boca Raton: CRC Press, 2004. – P. 57-91.
- Floryszak-Wieczorek J., Milczarek G., Arasimowicz M., Ciszewski A.* Do nitric oxide donors mimic endogenous NO-related response in plants? // *Planta*. – 2006. – V. 224. – P. 1363-1372.
- Galatro A., Puntarulo S.* An update to the understanding of nitric oxide metabolism in plants // *Nitric Oxide in Plants: Metabolism and Role in Stress Physiology*. – Springer International Publishing, 2014. – P. 3-15.
- 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.

ИНДУЦИРОВАНИЕ... 2. ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХЕ

- Khan M.N., Mobin M., Mohammad F., Corpas F.J. (eds.). Nitric oxide in plants: metabolism and role in stress physiology. – Heidelberg: Springer, 2014. – 302 p.
- Khlestkina E.K. The adaptive role of flavonoids: emphasis on cereals // Cereal Res. Commun. – 2013. – V. 41. – P. 185-198.
- Krasnylenko Y.A., Yemets A.I., Sheremet Y.A., Blume Ya.B. Nitric oxide as a critical factor for perception of UV-B irradiation by microtubules in Arabidopsis // Physiol. Plant. – 2012. – V. 145. – P. 505-515.
- Lu D., Zhang X., Jiang J., An G.Y., Zhang L.R., Song C.P. NO may function in the downstream of H₂O₂ in ABA-induced stomatal closure in *Vicia faba* L. // J. Plant Physiol. Mol. Biol. – 2005. – V. 31. – P. 62-70.
- 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.
- Pietrini F., Massacci A. Leaf anthocyanin content changes in *Zea mays* L. grown at low temperature: Significance for the relationship between the quantum yield of PS II and the apparent quantum yield of CO₂ assimilation // Photosynthesis Res. – 1998. – V. 58. – P. 213-219.
- 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.
- Singh P., Shah K. An update on effects of nitric oxide under abiotic stresses in higher plants // Adv. Plant Physiol. – 2017. – V. 15. – P. 283-306.
- 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.
- Wang S.H., Zhou Z.Y., He Q.Y., Xiaopeng W., Song L., Lu X. Nitric oxide alleviates the nickel toxicity in wheat seedlings // Acta Bot. Yunnanica. – 2007. – V. 29, № 1. – P. 115-121.
- 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.
- Wu X., Zhu W., Zhang H., Ding H., Zhang H.J. Exogenous nitric oxide protects against salt-induced oxidative stress in the leaves from two genotypes of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) // Acta Physiol. Plant. – 2011. – V. 33. – P. 1199-1209.
- Zhang Y., Wang L., Liu Y., Zhang Q., Wei Q., Zhang W. Nitric oxide enhances salt tolerance in maize seedlings through increasing activities of proton-pump and Na⁺/H⁺ antiport in the tonoplast // Planta. – 2006. – V. 224. – P. 545-555.

Поступила в редакцию
12.01.2018 г.

INDUCTION OF NONSPECIFIC RESISTANCE OF SCOTCH PINE SEEDLINGS UNDER INFLUENCE OF NO DONOR SODIUM NITROPRUSSIDE. 2. INCREASE IN RESISTANCE AGAINST SOIL DROUGHT

Yu. V. Karpets, M. A. Shklyarevskiy, G. A. Lugova

*Dokuchaev Kharkiv National Agrarian University
(Kharkiv, Ukraine)*

E-mail: plant.biology.knau@gmail.com

The influence of nitric oxide donor sodium nitroprusside (SNP) on the resistance of seedlings of Scotch pine (*Pinus silvestris* L.) against the soil drought (declining of humidity of substrate up to 25-30% of full moisture capacity) have been investigated. Spraying of plants with SNP in concentration of 0,2 and 0,5 mM caused small intensifying of linear growth of plants and accumulation of biomass at optimum watering. Under the drought condition the positive influence of SNP in concentration range of 0,2-2,0 mM on the growth of plants in height and accumulation of fresh and dry biomass was more essential. After the influence of 10-day drought the water deficiency of control plants amounted about 20%, their treatment with SNP reduced this indicator to 10-12%. The drought caused lowering of total maintenance of chlorophyll and carotenoids and also reduction of ratio of chlorophyll *a/b*, treatment of plants with the donor of nitric oxide promoted preservation of pool of photosynthetic pigments close to quantity in variant with normal moistening. Also the plants treated

with SNP in the drought condition had no lowering of content of anthocyanins and flavonoids, absorbing in the wave range of UF-B, which was observed in control plants. The conclusion about the role of the signalling molecule NO in the induction of adaptive responses of Scotch pine against the influence of abiotic stressor – soil drought – is made.

Key words: *Pinus silvestris, drought, nitric oxide, sodium nitroprusside, resistance, photosynthetic pigments, anthocyanins, flavonoids*

ІНДУКУВАННЯМ НЕСПЕЦИФІЧНОЇ СТІЙКОСТІ СІЯНЦІВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ ДІЄЮ ДОНОРА NO НІТРОПРУСИДУ НАТРІЮ. 2. ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ДО ГРУНТОВОЇ ПОСУХИ

Ю. В. Карпець, М. А. Шкляревський, Г. А. Лугова

*Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва
(Харків, Україна)*

E-mail: plant.biology.knau@gmail.com

Досліджували вплив донора оксиду азоту нітропрусида натрію (НПН) на стійкість сіянців сосни звичайної (*Pinus silvestris* L.) до ґрунтової посухи (зниження вологості субстрату до 25-30% від повної вологоємності). Обприскування рослин НПН у концентраціях 0,2 і 0,5 мМ викликало невелике посилення лінійного росту рослин і накопичення біомаси за оптимального поливу. В умовах посухи позитивний вплив НПН у концентраціях діапазону 0,2-2,0 мМ на ріст рослин у висоту і накопичення сирової та сухої біомаси був більш істотним. Після дії 10-денної посухи водний дефіцит контрольних рослин становив близько 20%, їх обробка НПН знижувала цей показник до 10-12%. Посуха викликала зниження сумарного вмісту хлорофілів і каротиноїдів, а також зменшення співвідношення хлорофілів *a/b*, обробка рослин донором оксиду азоту сприяла збереженню пулу фотосинтетичних пігментів, близького до величини варіанта з нормальним зволоженням. Також у рослин, оброблених НПН, за умов посухи не відбувалося зниження вмісту антоціанів і флавоноїдів, що поглинають у області УФ-В, яке спостерігалось у контрольних рослин. Зроблено висновок про роль сигнальної молекули NO в індукуванні адаптивних реакцій сосни звичайної до дії абіотичного стресора – ґрунтової посухи.

Ключові слова: *Pinus silvestris, посуха, оксид азоту, нітропрусид натрію, стійкість, фотосинтетичні пігменти, антоціани, флавоноїди*