

**«МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ»**

**Аграрно-технологический институт
Агробиотехнологический департамент**



**КУРСОВАЯ РАБОТА:
«НАДФН-ОКСИДАЗНАЯ СИГНАЛЬНАЯ СИСТЕМА РАСТЕНИЙ»**

Выполнил

Студент 2 курса магистратуры группы САГмд-01-21

Направления подготовки

«Интегрированная защита растений»

Миславский Святослав Михайлович

Преподаватель

Профессор, д.б.н.

Гинс Мурат Сабирович

Москва, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ	3
1.1. ОПИСАНИЕ ВЫБРАННОЙ ТЕМЫ И ЕЕ АКТУАЛЬНОСТИ	3
1.2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	4
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДФН-ОКСИДАЗНОЙ СИГНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У РАСТЕНИЙ.....	5
2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДФН-ОКСИДАЗНОЙ СИГНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ	5
2.2. МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ НАДФН И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РАСТЕНИЯ	6
3. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ НАДФН-ОКСИДАЗНОЙ СИГНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У РАСТЕНИЙ.....	7
3.1. РОЛЬ НАДФН В КОНТРОЛЕ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ	7
3.2. ВЛИЯНИЕ НАДФН НА АДАПТАЦИЮ РАСТЕНИЙ К СТРЕССОВЫМ УСЛОВИЯМ	8
3.3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАДФН НА ПРОЦЕССЫ ФОТОСИНТЕЗА И ФОТОРЕГУЛЯЦИИ.....	8
4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ НАДФН-ОКСИДАЗНОЙ СИГНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У РАСТЕНИЙ.....	9
4.1. ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ НАДФН-ОКСИДАЗНОЙ СИСТЕМЫ В СЕЛЕКЦИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ СОРТОВ	9
4.2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНГИБИТОРОВ НАДФН ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ.....	9
5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	10
5.1. ВЫВОДЫ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	10
5.2. ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	10
БИБЛИОГРАФИЯ	12

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия биологические исследования все больше фокусируются на изучении молекулярных механизмов, лежащих в основе жизнедеятельности организмов, в том числе и растений. Одним из ключевых элементов в регуляции роста, развития и адаптации растений к окружающей среде является НАДФН-оксидазная сигнальная система (Torres et al., 2002). Эта система играет важную роль в передаче сигналов и модуляции различных физиологических процессов у растений, таких как рост, развитие, стрессовая адаптация и даже фотосинтез (Suzuki et al., 2011).

1.1 ОПИСАНИЕ ВЫБРАННОЙ ТЕМЫ И ЕЕ АКТУАЛЬНОСТИ

НАДФН-оксидазная сигнальная система растений представляет собой сложный молекулярный комплекс, включающий ферменты, генерирующие супероксид-радикалы (O_2^-), и другие реактивные формы кислорода (ROS) (Mittler, 2002). Изучение этой системы актуально не только с точки зрения научного понимания процессов, происходящих в растениях, но и для решения прикладных задач, таких как селекция и создание новых сортов растений с повышенной устойчивостью к стрессовым условиям и улучшенной продуктивностью (Kreslavski et al., 2012).

Исследование НАДФН-оксидазной сигнальной системы позволяет выявить ключевые молекулярные механизмы, ответственные за регуляцию процессов, таких как рост и развитие растений, адаптация к стрессовым условиям, а также влияние на процессы фотосинтеза и фоторегуляции. Это знание может быть использовано для оптимизации агротехнических методов, селекции и генетической инженерии растений для повышения их урожайности и сопротивляемости к стрессам (Miller et al., 2010).

В данной курсовой работе будет представлен обзор теоретических основ НАДФН-оксидазной сигнальной системы растений, исследование ее

функциональной роли в различных аспектах растительной жизни, а также рассмотрение практического значения этой системы для селекции растений и сельскохозяйственного производства.

1.2 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Цель данной курсовой работы состоит в изучении и анализе НАДФН-оксидазной сигнальной системы растений, ее влияния на различные физиологические процессы и возможного практического применения полученных знаний для улучшения сельскохозяйственных технологий и селекции растений.

Для достижения поставленной цели, в работе будут решаться следующие задачи:

1. Определение и описание НАДФН-оксидазной сигнальной системы и ее теоретических основ.
2. Изучение функциональной роли НАДФН-оксидазной сигнальной системы в росте и развитии растений, адаптации к стрессовым условиям, а также в процессах фотосинтеза и фоторегуляции.
3. Рассмотрение практического значения НАДФН-оксидазной сигнальной системы для селекции растений и оптимизации агротехнических методов.
4. Обобщение полученных знаний и выработка выводов по теме исследования, а также определение перспектив дальнейших исследований.

донора (НАДФН) на акцептор (кислород, O_2), образуя сверхоксид-радикал (O_2^-) (Sagi et al., 2004). В растениях НАДФН-оксидазы представлены несколькими изоформами, которые могут быть локализованы в разных компартментах клетки и выполнять разнообразные функции (Kaur et al., 2014).

2.2 МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ НАДФН И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РАСТЕНИЯ

НАДФН является важным кофактором в редокс-процессах и необходим для функционирования многих окислительно-восстановительных реакций, происходящих в растительных клетках (Noctor et al., 2006). Образование НАДФН происходит в ходе метаболизма, включая пентозофосфатный цикл, где НАДФН выступает в качестве кофактора для глюкозо-6-фосфат дегидрогеназы и 6-фосфоглюконат дегидрогеназы (Kruger et al., 2001).

Сверхоксид-радикалы (O_2^-) и другие ROS, образующиеся в результате действия НАДФН-оксидаз, могут выполнять двойственную роль в растительных клетках. С одной стороны, они служат сигнальными молекулами, регулирующими различные физиологические процессы, такие как рост, развитие, адаптация к стрессовым условиям и фотосинтез (Mittler et al., 2011). С другой стороны, при чрезмерном накоплении ROS могут вызывать окислительный стресс, который негативно влияет на мембранные липиды, белки, нуклеиновые кислоты и другие клеточные компоненты (Ape1 et al., 2004). В связи с этим, растения развили сложную систему антиоксидантной защиты, которая контролирует уровни ROS и поддерживает их в оптимальном диапазоне для нормального функционирования клеток (Mittler, 2002).

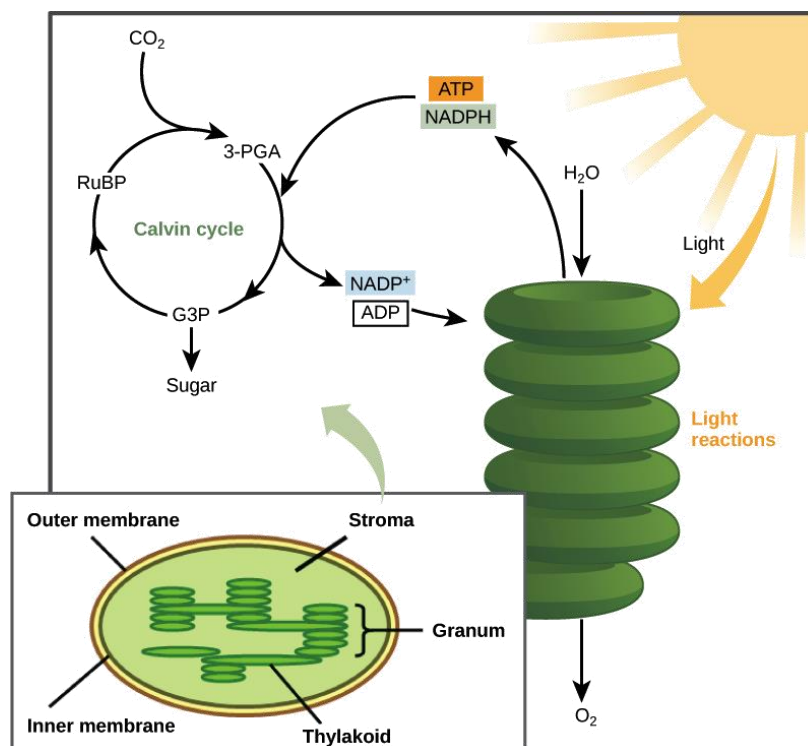


Рисунок 2. Схема, показывающая основные пути синтеза НАДФН в растительных клетках (<https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/cellular-energetics/photosynthesis/a/calvin-cycle>)

3. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ НАДФН-ОКСИДАЗНОЙ СИГНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У РАСТЕНИЙ

3.1 РОЛЬ НАДФН В КОНТРОЛЕ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ

НАДФН-оксидазы и ROS играют важную роль в регуляции роста и развития растений, включая рост корней, развитие стебля и листьев, а также формирование цветов и плодов (Foreman et al., 2003). Например, было показано, что НАДФН-оксидазы участвуют в контроле клеточного деления и дифференциации в растительных тканях (Tsukagoshi et al., 2010). Также ROS, образующиеся в ходе действия НАДФН-оксидаз, могут влиять на рост клеток за счет модуляции активности киназ, фосфатаз и других сигнальных молекул (Suzuki et al., 2011).

3.2 ВЛИЯНИЕ НАДФН НА АДАПТАЦИЮ РАСТЕНИЙ К СТРЕССОВЫМ УСЛОВИЯМ

НАДФН-оксидазы и ROS также играют ключевую роль в процессах адаптации растений к различным стрессовым условиям, таким как сухость, солевой стресс, температурные колебания и механические повреждения (Miller et al., 2010). В ряде случаев увеличение продукции ROS может активировать защитные механизмы, такие как синтез антиоксидантных ферментов и молекул, усиление сигнальных путей и изменение экспрессии генов, связанных со стрессовыми ответами (Mittler, 2002). Например, ROS могут модулировать активность митоген-активируемых протеинкиназ (МАРК) и кальциевых каналов, которые участвуют в передаче сигналов и активации генов, ответственных за стрессовую реакцию растений (Mittler et al., 2011).

3.3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАДФН НА ПРОЦЕССЫ ФОТОСИНТЕЗА И ФОТОРЕГУЛЯЦИИ

НАДФН-оксидазы и ROS также могут влиять на процессы фотосинтеза и фоторегуляции в растениях (Moller et al., 2007). Например, было показано, что ROS, образующиеся при действии НАДФН-оксидаз, могут модулировать фотосинтетический аппарат, в том числе регулировать фотосистемы I и II, реакционные центры и антенные комплексы (Takahashi et al., 2009). Кроме того, ROS могут влиять на активность фотосинтетических энзимов, таких как рибулозо-1,5-бисфосфат карбоксилаза/оксигеназа (RuBisCO) и фосфоглицераткиназа (PGK) (Asada, 2006).

4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ НАДФН-ОКСИДАЗНОЙ СИГНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У РАСТЕНИЙ

4.1 ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ НАДФН-ОКСИДАЗНОЙ СИСТЕМЫ В СЕЛЕКЦИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ СОРТОВ

Изучение НАДФН-оксидазной сигнальной системы предоставляет возможности для разработки новых стратегий в селекции растительных сортов с повышенной устойчивостью к стрессовым условиям, оптимизации роста и развития, а также улучшения фотосинтетической продуктивности (Foyer et al., 2016). В частности, идентификация и манипуляция генов, кодирующих НАДФН-оксидазы и другие компоненты этой системы, может привести к созданию растений с улучшенными адаптивными свойствами и повышенной производительностью (Wang et al., 2013).

4.2 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНГИБИТОРОВ НАДФН ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ

Ингибиторы НАДФН-оксидаз могут использоваться для контроля уровня ROS в растительных клетках, что может привести к улучшению роста, развития и устойчивости к стрессовым условиям (Kaur et al., 2014). Например, применение дипиролилдисульфида (DPS), ингибитора НАДФН-оксидаз, было показано, что способствует улучшению роста и повышению устойчивости растений к солевому стрессу (Zhao et al., 2011). Однако следует учитывать, что ингибирование активности НАДФН-оксидаз может также повлиять на нормальное функционирование других физиологических процессов, связанных с действием ROS, и потребуются дополнительное исследование для определения оптимальных условий их применения.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

5.1 ВЫВОДЫ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной курсовой работе была рассмотрена НАДФН-оксидазная сигнальная система растений и ее функциональная роль в регуляции роста, развития, адаптации к стрессовым условиям и процессах фотосинтеза. Было показано, что НАДФН-оксидазы и ROS играют ключевую роль в передаче сигналов и активации различных физиологических процессов, что может быть использовано для создания растительных сортов с повышенной устойчивостью к стрессовым условиям и оптимизированным ростом и развитием.

5.2 ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Дальнейшие исследования НАДФН-оксидазной сигнальной системы могут быть направлены на изучение молекулярных механизмов взаимодействия НАДФН-оксидаз и других компонентов этой системы с различными сигнальными молекулами и физиологическими процессами. Кроме того, может быть проведена работа по разработке и оптимизации стратегий применения ингибиторов НАДФН-оксидаз для улучшения роста, развития и устойчивости растений к стрессовым условиям. Это может способствовать созданию новых селекционных подходов и агротехнических методов, направленных на повышение производительности и устойчивости сельскохозяйственных культур в условиях меняющейся среды и климата.

Также актуальным направлением исследований является изучение взаимосвязи НАДФН-оксидазной сигнальной системы с другими сигнальными путями, такими как кальцийсигналинг, MAPK, а также с молекулярными сетями, контролирующими процессы иммунного ответа и коммуникацию между растением и его окружением (например, микробиом). Это может привести к более глубокому пониманию механизмов регуляции

роста и развития растений, адаптации к стрессам и взаимодействия с окружающей средой.

В целом, изучение НАДФН-оксидазной сигнальной системы у растений представляет значительный потенциал для разработки новых селекционных подходов и агротехнических инноваций, которые могут повысить продуктивность сельскохозяйственных культур и содействовать обеспечению продовольственной безопасности в мире.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Miller G, Suzuki N, Ciftci-Yilmaz S, Mittler R. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant Cell Environ.* 2010;33(4):453-67.
2. Suzuki N, Koussevitzky S, Mittler R, Miller G. ROS and redox signalling in the response of plants to abiotic stress. *Plant Cell Environ.* 2012;35(2):259-70.
3. Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.* 2002;7(9):405-10.
4. Smirnoff N. Plant resistance to environmental stress. *Curr Opin Biotechnol.* 1998;9(2):214-9.
5. Miller G, Mittler R. Could heat shock transcription factors function as hydrogen peroxide sensors in plants? *Ann Bot.* 2006;98(2):279-88.
6. Marino D, Dunand C, Puppo A, Pauly N. A burst of plant NADPH oxidases. *Trends Plant Sci.* 2012;17(1):9-15.
7. Sagi M, Fluhr R. Production of reactive oxygen species by plant NADPH oxidases. *Plant Physiol.* 2006;141(2):336-40.
8. Kaur G, Sharma A, Guruprasad K, Pati PK. Versatile roles of plant NADPH oxidases and emerging concepts. *Biotechnol Adv.* 2014;32(3):551-63.
9. Lamb C, Dixon RA. The oxidative burst in plant disease resistance. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.* 1997;48:251-75.
10. Torres MA, Dangl JL. Functions of the respiratory burst oxidase in biotic interactions, abiotic stress and development. *Curr Opin Plant Biol.* 2005;8(4):397-403.
11. Mittler R, Vanderauwera S, Gollery M, Van Breusegem F. Reactive oxygen gene network of plants. *Trends Plant Sci.* 2004;9(10):490-8.
12. Apel K, Hirt H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annu Rev Plant Biol.* 2004;55:373-99.

- 13.Foreman J, Demidchik V, Bothwell JH, Mylona P, Miedema H, Torres MA, Linstead P, Costa S, Brownlee C, Jones JD, Davies JM, Dolan L. Reactive oxygen species produced by NADPH oxidase regulate plant cell growth. *Nature*. 2003;422(6930):442-6.
- 14.Tsukagoshi H, Busch W, Benfey PN. Transcriptional regulation of ROS controls transition from proliferation to differentiation in the root. *Cell*. 2010;143(4):606-16.
- 15.Moller IM, Jensen PE, Hansson A. Oxidative modifications to cellular components in plants. *Annu Rev Plant Biol*. 2007;58:459-81.
- 16.Takahashi S, Murata N. How do environmental stresses accelerate photoinhibition? *Trends Plant Sci*. 2008;13(4):178-82.
- 17.Asada K. Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions. *Plant Physiol*. 2006;141(2):391-6.
- 18.Foyer CH, Rasool B, Davey JW, Hancock RD. Cross-tolerance to biotic and abiotic stresses in plants: a focus on resistance to aphid infestation. *J Exp Bot*. 2016;67(7):2025-37.
- 19.Wang Y, Loake GJ, Chu C. Cross-talk of nitric oxide and reactive oxygen species in plant programmed cell death. *Front Plant Sci*. 2013;4:314.
- 20.Zhao L, Zhang F, Guo J, Yang Y, Li B, Zhang L. Nitric oxide functions as a signal in salt resistance in the calluses from two ecotypes of reed. *Plant Physiol*. 2004;134(2):849-57.