

Научная статья

УДК 635.655

EDN CWQXIY

**Адаптивные механизмы:  
роль генов запасных белков сои в ответ на абиотический стресс**

**Анастасия Андреевна Катрушенко<sup>1</sup>**, младший научный сотрудник  
**Научный руководитель – Андрей Андреевич Пензин<sup>2</sup>**, научный сотрудник  
<sup>1,2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт сои  
Амурская область, Благовещенск, Россия, [katrushenkoaa5@gmail.com](mailto:katrushenkoaa5@gmail.com)

**Аннотация.** Соя подвергается абиотическим стрессам, которые заметно снижают ее рост и урожайность. Одними из основных стрессовых факторов являются засуха и засоление почвы. Под их воздействием может измениться содержание и состав запасных белков соевых семян. В работе приведен обзор влияния стрессовых факторов и один из возможных инструментов для оценки экспрессии генов запасных белков и факторов транскрипции, отвечающих за их накопление при развитии семян. Изложенные положения могут помочь в поиске подходящих сортов сои для устойчивости к стрессам.

**Ключевые слова:** соя, запасной белок семян, абиотический стресс, экспрессия генов

**Для цитирования:** Катрушенко А. А. Адаптивные механизмы: роль генов запасных белков сои в ответ на абиотический стресс // Молодежный вестник дальневосточной аграрной науки : сб. студ. науч. тр. Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2025. Вып. 10. С. 124–130.

Original article

**Adaptive mechanisms:  
the role of soybean storage protein genes in response to abiotic stress**

**Anastasia A. Katrushenko<sup>1</sup>**, Junior Researcher  
**Scientific advisor – Andrey A. Penzin<sup>2</sup>**, Researcher  
<sup>1,2</sup> All-Russian Research Institute of Soybean  
Amur region, Blagoveshchensk, Russia, [katrushenkoaa5@gmail.com](mailto:katrushenkoaa5@gmail.com)

**Abstract.** Soybeans are exposed to abiotic stresses, which significantly reduce their growth and yield. One of the main stress factors is drought and salinization of the soil. Under their influence, the content and composition of soybean seed storage proteins may change. The paper provides an overview of the effect of stress factors

and one of the possible tools for assessing the expression of genes for storage proteins and transcription factors responsible for their accumulation during seed development. The stated provisions can help in the search for suitable soybean varieties for stress resistance.

**Keywords:** soybean, seed storage protein, abiotic stress, gene expression

**For citation:** Katrushenko A. A. Adaptive mechanisms: the role of soybean storage protein genes in response to abiotic stress. Proceedings from *Molodezhnyi vestnik dal'nevostochnoi agrarnoi nauki*. (PP. 124–130), Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2025 (in Russ.).

Соя – одна из важнейших и наиболее распространенных бобовых культур в мире, являющаяся богатым источником белка и масла. Доля белка и масла в семенах сои составляет в среднем 40 и 20 % соответственно. Содержание этих двух основных компонентов определяет коммерческую ценность сои. Благодаря высокому содержанию в семенах и сбалансированному составу аминокислот соевый белок широко используется в производстве соевых продуктов и кормов для скота. В зрелых семенах сои основными белками являются запасные белки, состав которых представлен глобулиновыми комплексами 2S, 7S, 11S и 15S в соответствии с их коэффициентами седиментации [1].

Среди этих четырех фракций на долю глобулинов 7S и 11S приходится более 70 % от общего содержания белка. Вещество фракции 7S состоит в основном из  $\beta$ -конглицинина, в то время как другие компоненты этой фракции ( $\gamma$ -конглицинин и 7S глобулин) составляют лишь малую часть, а фракция 11S состоит только из глицинина. Поэтому компоненты 7S и 11S запасного белка сои часто называют  $\beta$ -конглицинином и глицинином соответственно. Соотношение 7S/11S глобулинов сои сильно влияет на качество белка [2]. Кроме того, на химический состав зерен влияют условия окружающей среды [3].

Абиотические стрессы, такие как заболачивание и засоление почвы, засуха, жара и кислотность, негативно влияют на рост и продуктивность растений. Среди них наиболее распространенными являются засуха и засоление почвы [4–7].

Засуха – один из основных неблагоприятных факторов окружающей среды, влияющий на различные морфофизиологические характеристики на всех стадиях роста и приводящий к большим экономическим потерям. На этапе формирования семян растения сои более чувствительны к дефициту воды, по сравнению со стадией вегетативного роста [8]. Потребность сои в воде в репродуктивный период удваивается по сравнению с вегетативным периодом. Засуха на стадиях R1–R6 существенно снижает количество семян в бобах и на ветке [9]. Вызванный в репродуктивный период дефицит воды приводит к повышению содержания белка и снижению содержания масла в семенах, в то время как при дефиците воды в вегетативный период такая взаимосвязь не выявлена [3].

Засоление почвы также один из наиболее значимых факторов абиотического стресса [10]. Во время засоления растения испытывают ионную токсичность, осмотический стресс и сложные вторичные эффекты. Оно воздействует на различные физиологические процессы в растениях, уменьшая тургор, усиливая окислительные повреждения и изменяя газообмен в листьях, что приводит к замедлению роста, развития и уменьшению урожайности [4].

Высокая концентрация  $\text{Na}^+$  в почве ведет к высокому осмотическому давлению в почве, препятствует поглощению воды и питательных веществ из почвы и нарушает клеточный ионный гомеостаз. Солевой стресс влияет практически на все аспекты роста и развития сои: прорастание, вегетативный и репродуктивный рост, образование клубеньков, высоту растения, размер листьев, длину корней, сухую массу корней и побегов, вес и размер семян. При последовательном повышении уровня засоления содержание белка и азота в семенах сои снижается [11].

Определение физиологической основы различий между сортами сои в устойчивости к стрессовым условиям дает селекционерам ориентиры для отбора признаков, которые могут повысить урожайность в условиях стресса [12].

---

Растения выработали механизмы регуляции в ответ на различные стрессовые сигналы, чтобы адаптироваться к определенным изменениям окружающей среды [13]. В ответ на абиотические стрессы активируются различные сигнальные пути, способствующие восприятию растениями раздражителей, а затем запускаются адекватные клеточные реакции [14]. Экспрессия широкого спектра генов индуцируется под воздействием стрессовых факторов, и продукты их кодирования участвуют в молекулярных и клеточных реакциях на различные стрессы. Среди этих генов важную роль играют гены факторов транскрипции. Они регулируют устойчивость растений, усиливая или подавляя экспрессию нижестоящих генов-мишеней, связанных с устойчивостью к стрессу. Таким образом, транскрипционный контроль экспрессии генов имеет важную роль в реакции растений на различные стрессовые факторы [15].

Изменения условий окружающей среды могут повлиять на содержание запасных белков семян и их соотношение. Изучение влияния таких стрессовых факторов позволит получить представление о накоплении и содержании глобулинов 7S и 11S в семенах. Чтобы определить возможное участие отдельных генов в реакции на абиотический стресс, используют методы для анализа дифференциальной экспрессии генов, такие как РНК-секвенирование и количественная полимеразная цепная реакция (кПЦР) в реальном времени.

Оценка уровня экспрессии генов глобулинов 7S и 11S и факторов транскрипции, отвечающих за накопление этих запасных белков во время развития семян, позволяет определить, как влияют изменения в условиях окружающей среды на накопление запасных белков на разных стадиях R5–R8. Такая оценка экспрессии генов может помочь дальнейшей селекционной работе при создании наиболее благоприятных сортов для повышения качества белка при воздействии основных абиотических стрессов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Guo B., Sun L., Jiang S., Ren H., Sun R., Wei Zh. [et al.]. Soybean genetic resources contributing to sustainable protein production // Theoretical and Applied Genetics. 2022. Vol. 135. No. 11. P. 4095–4121.
2. Liu S., Liu Z., Hou X., Li X. Genetic mapping and functional genomics of soybean seed protein // Molecular Breeding: New Strategies in Plant Improvement. 2023. Vol. 43. No. 4. P. 29.
3. Mertz-Henning L. M., Ferreira L. C., Henning F. A., Mandarino J. M. G. Effect of water deficit-induced at vegetative and reproductive stages on protein and oil content in soybean grains // Agronomy. 2018. Vol. 8. No. 1. P. 3.
4. Otie V., Udo A., Shao Ya., Itam M. Salinity effects on morpho-physiological and yield traits of soybean (*Glycine max* L.) as mediated by foliar spray with brassinolide // Plants. 2021. Vol. 10. No. 3. P. 541.
5. Fang Y., Cao D., Yang H., Guo W. Genome-wide identification and characterization of soybean *GmLOR* gene family and expression analysis in response to abiotic stresses // International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22. No. 22. P. 12515.
6. Kang L., Li Ch., Qin A., Liu Z., Li X., Zeng L. [et al.]. Identification and expression analysis of the Nucleotidyl Transferase Protein (NTP) family in soybean (*Glycine max*) under various abiotic stresses // International Journal of Molecular Sciences. 2024. Vol. 25. No. 2. P. 1115.
7. Zhang M., Liu Ya., Cai H., Guo M. The bZIP transcription factor GmbZIP15 negatively regulates salt- and drought-stress responses in soybean // International Journal of Molecular Sciences. 2020. Vol. 21. No. 20. P. 7778.
8. Du Ya., Zhao Q., Chen L., Yao X. Effect of drought stress during soybean R2–R6 growth stages on sucrose metabolism in leaf and seed // International Journal of Molecular Sciences. 2020. Vol. 21. No. 2. P. 618.
9. Poudel S., Vennam R. R., Shrestha A., Reddy K. R. Resilience of soybean cultivars to drought stress during flowering and early-seed setting stages // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. No. 1. P. 1277.
10. Noor J., Ullah A., Saleem M. H., Tariq A. Effect of jasmonic acid foliar spray on the morpho-physiological mechanism of salt stress tolerance in two soybean varieties // Plants. 2022. Vol. 11. No. 5. P. 651.
11. Hu J., Zhuang Yo., Li X., Sun Ch., Ding Zh., Xu R. [et al.]. Time-series transcriptome comparison reveals the gene regulation network under salt stress in soybean (*Glycine max*) roots // BMC Plant Biology. 2022. Vol. 22. No. 1. P. 157.
12. Gebre M. G., Rajcan I., Earl H. J. Genetic variation for effects of drought stress on yield formation traits among commercial soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] cultivars adapted to Ontario, Canada // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. P. 1020944.

---

13. Wang D., Liu Yu.-X., Yu Q., Zhao Sh.-P. Functional analysis of the soybean GmCDPK3 gene responding to drought and salt stresses // International Journal of Molecular Sciences. 2019. Vol. 20. No. 23. P. 5909.

14. Yu. Q., Liu Ya.-L., Sun G.-Zh., Liu Yu.-X. Genome-wide analysis of the soybean calmodulin-binding protein 60 family and identification of GmCBP60A-1 responses to drought and salt stresses // International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22. No. 24. P. 13501.

15. Li B., Zheng J.-Ch., Wang T.-T., Min D. H. Expression analyses of soybean VOZ transcription factors and the role of GmVOZ1G in drought and salt stress tolerance // International Journal of Molecular Sciences. 2020. Vol. 21. No. 6. P. 2177.

### References

1. Guo B., Sun L., Jiang S., Ren H., Sun R., Wei Zh. [et al.]. Soybean genetic resources contributing to sustainable protein production. Theoretical and Applied Genetics, 2022;135;11:4095–4121.

2. Liu S., Liu Z., Hou X., Li X. Genetic mapping and functional genomics of soybean seed protein. Molecular Breeding: New Strategies in Plant Improvement, 2023;43;4:29.

3. Mertz-Henning L. M., Ferreira L. C., Henning F. A., Mandarino J. M. G. Effect of water deficit-induced at vegetative and reproductive stages on protein and oil content in soybean grains. Agronomy, 2018;8;1:3.

4. Otie V., Udo A., Shao Ya., Itam M. Salinity effects on morpho-physiological and yield traits of soybean (*Glycine max* L.) as mediated by foliar spray with brassinolide. Plants, 2021;10;3:541.

5. Fang Y., Cao D., Yang H., Guo W. Genome-wide identification and characterization of soybean *GmLOR* gene family and expression analysis in response to abiotic stresses. International Journal of Molecular Sciences, 2021;22;22:12515.

6. Kang L., Li Ch., Qin A., Liu Z., Li X., Zeng L. [et al.]. Identification and expression analysis of the Nucleotidyl Transferase Protein (NTP) family in soybean (*Glycine max*) under various abiotic stresses. International Journal of Molecular Sciences, 2024;25;2:1115.

7. Zhang M., Liu Ya., Cai H., Guo M. The bZIP transcription factor GmbZIP15 negatively regulates salt- and drought-stress responses in soybean. International Journal of Molecular Sciences, 2020;21;20:7778.

8. Du Ya., Zhao Q., Chen L., Yao X. Effect of drought stress during soybean R2–R6 growth stages on sucrose metabolism in leaf and seed. International Journal of Molecular Sciences, 2020;21;2:618.

9. Poudel S., Vennam R. R., Shrestha A., Reddy K. R. Resilience of soybean cultivars to drought stress during flowering and early-seed setting stages. Scientific Reports, 2023;13;1:1277.

- 
10. Noor J., Ullah A., Saleem M. H., Tariq A. Effect of jasmonic acid foliar spray on the morpho-physiological mechanism of salt stress tolerance in two soybean varieties. *Plants*, 2022;11;5:651.
  11. Hu J., Zhuang Yo., Li X., Sun Ch., Ding Zh., Xu R. [et al.]. Time-series transcriptome comparison reveals the gene regulation network under salt stress in soybean (*Glycine max*) roots. *BMC Plant Biology*, 2022;22;1:157.
  12. Gebre M. G., Rajcan I., Earl H. J. Genetic variation for effects of drought stress on yield formation traits among commercial soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] cultivars adapted to Ontario, Canada. *Frontiers in Plant Science*, 2022;13:1020944.
  13. Wang D., Liu Yu.-X., Yu Q., Zhao Sh.-P. Functional analysis of the soybean GmCDPK3 gene responding to drought and salt stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, 2019;20;23:5909.
  14. Yu. Q., Liu Ya.-L., Sun G.-Zh., Liu Yu.-X. Genome-wide analysis of the soybean calmodulin-binding protein 60 family and identification of GmCBP60A-1 responses to drought and salt stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, 2021;22;24:13501.
  15. Li B., Zheng J.-Ch., Wang T.-T., Min D. H. Expression analyses of soybean VOZ transcription factors and the role of GmVOZ1G in drought and salt stress tolerance. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020;21;6:2177.

© Катрушенко А. А., 2025

Статья поступила в редакцию 07.02.2025; одобрена после рецензирования 21.02.2025; принята к публикации 17.04.2025.

The article was submitted 07.02.2025; approved after reviewing 21.02.2025; accepted for publication 17.04.2025.