



# ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X

http://ecobiotech-journal.ru



УДК 577.352:577.115



КОРОТКОЕ СООБЩЕНИЕ | SHORT COMMUNICATION

## СРАВНЕНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКИХ И НЕСПЕЦИФИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ЛИПИДОВ ПЛАЗМАЛЕММЫ И ТОНОПЛАСТА ПРИ РАЗНЫХ ВИДАХ АБИОТИЧЕСКОГО СТРЕССА

**Озолина Н.В., Капустина И.С.\*, Гурина В.В., Спиридонова Е.В., Нурминский В.Н.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия

\*E-mail: nirinka24@mail.ru

## COMPARISON OF SPECIFIC AND NON-SPECIFIC CHANGES IN PLASMA AND TONOPLASTIC LIPIDS UNDER DIFFERENT TYPES OF ABIOTIC STRESS

**Ozolina N.V., Kapustina I.S.\*, Gurina V.V., Spiridonova E.V., Nurminsky V.N.**

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

\*E-mail: nirinka24@mail.ru

### Аннотация

Анализ липидного профиля плазмалеммы и тонопласта после воздействия разных абиотических стрессов (гиперосмотический, гипоосмотический и окислительный) позволяет выделить специфические и неспецифические изменения в содержании основных классов липидов. Специфические и неспецифические изменения липидов связаны с количеством и разнообразием защитных механизмов, используемых растительной клеткой при стрессовых воздействиях. Чем меньше количество механизмов, используемых для защиты от стресса, тем менее разнообразны изменения липидного состава. Большинство наблюдаемых при изучаемых стрессах реакций среди мембранных липидов пограничных мембран являлись специфическими, заметно различающимися при действии разных факторов. К неспецифическим процессам, происходящим в клетках растений, относят однотипные ответные реакции на действие разных стрессоров. Неспецифические изменения заметно преобладали среди гликоглицеролипидов и стероидов. Специфические изменения преобладали среди фосфолипидов и жирных кислот. Изменения в составе мембранных липидов происходящие при разных видах стресса в плазмалемме и тонопласте имели существенные отличительные особенности. При сравнении изменений в содержании липидов у этих двух пограничных мембран растительной клетки выявлено заметное преобладание специфических изменений в составе липидов тонопласта по сравнению с плазмалеммой при всех изучаемых стрессовых воздействиях, что может говорить о значительно большей вариабельности изменений мембранных липидов тонопласта и, соответственно, более значимом их влиянии в защитных механизмах растительной клетки.

### Ключевые слова:

адаптационные механизмы, мембранные липиды, абиотические стрессы, плазмалемма, тонопласт

Поступила в редакцию: 10.12.2025

Принято в печать: 25.12.2025

### Abstract

Analysis of the plasma membrane and tonoplast lipid profiles after exposure to various abiotic stresses (hyperosmotic, hypoosmotic, and oxidative) revealed specific and nonspecific changes in the major lipid class content. The majority of membrane lipid reactions observed in the studied stresses were specific and varied significantly depending on the stress factor. Nonspecific processes occurring in plant cells include similar responses to various stressors. Changes in the plasma membrane and tonoplast lipid composition under different types of stress exhibited significant distinctive features. Nonspecific changes were significantly predominant among glycolipids and sterols. Specific changes were predominant among phospholipids and fatty acids. Comparison of changes in lipid content between the boundary membranes of plant cells revealed a significant predominance of specific changes among tonoplast lipids compared to the plasma membrane under all studied stress conditions. This suggests significantly greater variability in changes in tonoplast membrane lipids and a more significant influence on plant cell defense mechanisms.

### Keywords:

adaptive mechanisms, membrane lipids, abiotic stress, plasma membrane, tonoplast

Received: 10.12.2025

Accepted: 25.12.2025

Цитировать | Cite as

DOI: <http://doi.org/10.31163/2618-964X/2026-1> EDN: <https://www.elibrary.ru/adghed>

## ВВЕДЕНИЕ

Резкое изменение условий окружающей среды вызывает стресс у растений [Chaudhry, Sidhu 2022]. В зависимости от того, чем вызван стресс, недостатком или избытком воды, его подразделяют на гипер- и гипоосмотический. Любой стресс приводит к образованию в клетке активных форм кислорода и к окислительному стрессу [Nalina *et al.* 2021]. При воздействии факторов среды происходят различные перестройки метаболизма и, в том числе, изменения на уровне клеточных мембран и мембранных липидов, что приводит к защите растительного организма [Okazaki, Saito 2014]. В растительных клетках плазмалемма (плазматическая мембрана) и тонопласт (вакуолярная мембрана) являются пограничными мембранами протопласта. В проводимых ранее исследованиях мы обнаружили изменения в содержании разных классов липидов при гипо-, гиперосмотическом и окислительном стрессах у этих двух пограничных мембран растительной клетки. Рассматривались изменения в содержании жирных кислот (ЖК), фосфолипидов, гликолипидов и стероидов [Ozolina *et al.* 2020, 2021]. В результате этих экспериментов липиды были разделены на две группы, содержание которых при разных видах абиотических стрессов менялось специфическим или неспецифическим образом. К неспецифическим процессам, происходящим в клетках растений, относят однотипные ответные реакции на действие разных стрессоров. К специфическим относят реакции, качественно отличающиеся при разных воздействиях [Пятыгин 2008]. Ранее нами проводилось выявление специфических и неспецифических изменений в содержании липидов плазмалеммы при разных видах абиотического стресса. Это исследование выявило разный характер изменений в содержании основных классов мембранных липидов плазмалеммы [Озолина *и др.* 2025]. Цель данного исследования состояла в сравнении специфических и неспецифических изменений в содержании основных классов липидов у двух пограничной мембран – плазмалеммы и тонопласта при разных видах абиотического стресса.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили корнеплоды столовой свеклы (*Beta vulgaris* L.), сорт Бордо. В экспериментах были использованы корнеплоды в период покоя, хранящиеся в течение нескольких месяцев при температуре 4–5°C.

Плазматические мембраны выделяли из контрольных корнеплодов и корнеплодов, подвергнутых стрессовым воздействиям используя двухфазную систему (декстран - ПЭГ) по методу [Larsson *et al.* 1987]. Тонопласт выделяли по методу [Салеев *и др.* 1981]. Чистоту полученных мембранных фракций оценивали по активности мембранных ферментов [Ozolina *et al.* 2020].

Корнеплоды подвергали осмотическим (гипер- и гипоосмотическому) и окислительному стрессам. Методики создания используемых в экспериментах видов стресса и эффективности их воздействия подробно описаны ранее [Ozolina *et al.* 2020]. Для создания гиперосмотического стресса корнеплоды в течение 3-х суток выдерживали (подсушивали) на открытом воздухе при комнатной температуре, что приводило к снижению массы корнеплодов и увеличению осмоляльности клеточного сока (общая концентрация растворенных частиц в 1 кг воды). Для создания гипоосмотического стресса корнеплоды выдерживали в течение суток в дистиллированной воде при комнатной температуре, в результате чего уменьшалась осмоляльность клеточного сока. Осмоляльность оценивали на осмометре ОМКА 1Ц-01 (Россия). Осмотика в контрольных корнеплодах составляла  $645 \pm 35$  мОсм кг<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O, после гиперосмотического стресса –  $749.4 \pm 42.3$ , а после гипоосмотического –  $568.3 \pm 7.6$  мОсм кг<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O. Для создания окислительного стресса кусочки ткани корнеплода размером 1 см × 1 см × 1 см инкубировали в растворе 100 мМ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в течение суток также при комнатной температуре. В контрольном варианте использовали корнеплоды, не подвергнутые стрессам. Для выяснения влияния осмотического и окислительного стресса были использованы разные контроли, поскольку осмотическому стрессу подвергались целые корнеплоды, а окислительному – кусочки ткани корнеплода.

Суммарные липиды плазматических мембран, выделенных из контрольных и подвергнутых разным видам стрессового воздействия корнеплодов, экстрагировали по методу [Folch *et al.* 1957]. Количество суммарных липидов в экстрактах определяли гравиметрическим методом, выпаривая экстракты под вакуумом до постоянного веса аликвот. Для анализа основных классов липидов был использован метод тонкослойной хроматографии [Ozolina *et al.* 2024]. Для оценки изменений в составе стероидов и жирных кислот был использован метод ГХ-МС [Ozolina *et al.* 2024].

Для статистической обработки данных использовали программный пакет SigmaPlot 12.5. Эксперименты проводили не менее чем в пяти независимых повторностях. Различия между экспериментальными данными считали статистически значимыми при  $p < 0.05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты анализа данных полученных в экспериментах по изучению изменений в составе разных классов липидов плазмалеммы и тонопласта при гипер- гипоосмотическом и окислительном стрессе приведены в таблице 1. Рассматривая основные классы липидов хорошо видно, что содержание большинства представителей класса фосфолипидов при разных абиотических стрессах менялось не одинаково, то есть менялось специфически и в тонопласте и в плазмалемме. По-видимому, разные фосфолипиды принимали участие в разных защитных механизмах. Неспецифические изменения были выявлены только у нескольких фосфолипидов. В плазмалемме у фосфатидилэтаноламинов (ФЭ) и фосфатидилглицеринов (ФГ), тогда как в тонопласте эти изменения были отмечены только для фосфатидной кислоты (ФК). Во всех случаях происходило снижение содержания этих липидов, что могло способствовать усилению защитных механизмов растительных клеток, поддержанию бислоевой структуры мембраны, повышению текучести, усилению процессов дегидратации [Jouhet 2013; Narayanan *et al.* 2016]. В специфических изменениях, отмеченных при некоторых стрессовых воздействиях содержание ряда фосфолипидов не изменялось. Например, содержание фосфатидилхолинов (ФХ) и фосфатидинозитолов (ФИ) в плазмалемме при гипоосмотическом стрессе не изменялось, что не наблюдалось при других видах стрессах. Но при этом стрессе происходили изменения содержания других фосфолипидов, которые, по-видимому, принимают участие в защитных механизмах. Однако при гиперосмотическом и окислительном стрессах содержание ФХ и ФИ существенно изменялось, что могло быть связано с их функциональной ролью. Рассматривая следующие классы липидов хорошо видно, что большинство наблюдаемых при стрессе изменений среди липидов тонопласта можно отнести к специфическим, качественно различающимися в зависимости от воздействующего фактора. К неспецифическим процессам, происходящим в клетках растений, относят однотипные ответные реакции на действие разнородных стрессоров, что в значительной степени было характерно для изменений, происходящих в содержании липидов плазмалеммы. Особенно это касается класса гликоглицеролипидов, содержание которых в плазмалемме изменялось одинаково при всех изучаемых стрессах, тогда как у тонопласта изменения в содержании каждого гликоглицеролипидов происходили специфически. По-видимому, представители этого класса липидов в разных пограничных мембранах задействованы в разных адаптационных механизмах. Например, в плазмалемме гликоглицеролипиды принимают участие при всех изучаемых стрессах в одном и том же защитном механизме, который хорошо известен и связан со стабилизацией липидного бислоя при увеличении содержания ДГДГ и снижении МГДГ [Su *et al.* 2009]. В тонопласте защитный механизм с участием этих липидов будет другим.

Подобные результаты были получены при анализе липидов из класса стериннов (Табл. 1). В плазмалемме содержание всех стериннов изменялось неспецифическим образом, то есть при всех видах стресса одинаково. Тогда как у стериннов тонопласта неспецифические изменения наблюдались только у кампестерина. У всех остальных стериннов при разных видах стресса изменения можно было охарактеризовать как специфические. Эта же тенденция в определённой степени прослеживалась и при анализе изменений в содержании жирных кислот (ЖК). Большая часть из них менялась специфическим образом и в плазмалемме, и в тонопласте. Однако были отмечены ЖК, изменения в содержании которых менялось одинаково, т.е. неспецифично. В плазмалемме при всех видах стресса возрастало содержание пентодекановой (C15:0) ЖК и уменьшалось содержание арахидовой (C20:0), тогда как в тонопласте было отмечено одновременное при всех стрессах увеличение только у лауриновой (C20:0) ЖК. У некоторых ЖК тонопласта содержание при разных стрессах не менялось, что на наш взгляд, связано с тем, что они не принимают активное участие в защитных механизмах. В результате проведённого анализа можно сделать вывод, что выявленные изменения в содержании основных классов липидов при разных стрессах в плазмалемме и тонопласте заметно отличались. Эти отличия могут быть связаны с участием липидов в разных адаптационных механизмах, используемых растительной клеткой для защиты, что должно приводить к стабилизации липидного бислоя, изменению биофизических характеристик изучаемых мембран, таких как вязкость, текучесть и т.д.

Анализ липидного профиля плазмалеммы и тонопласта после воздействия разных абиотических стрессов (гиперосмотический, гипоосмотический и окислительный) позволил выявить специфические и неспецифические изменения в содержании основных классов липидов. Сравнение этих изменений у двух пограничных мембран растительной клетки показало, что в тонопласте, по сравнению с плазмалеммой, в большей степени происходило специфическое изменение липидов, что может свидетельствовать о большей вариабельности изменений мембранных липидов тонопласта и, соответственно, более значимом их вкладе в защитные механизмы растительной клетки.

Таблица 1. Липиды плазмалеммы и тонопласта, в содержании которых при гипоосмотическом, гиперосмотическом и окислительном стрессах происходили специфические и неспецифические изменения

Table 1. Plasma membrane and tonoplast lipids whose contents showed specific and non-specific changes under hypoosmotic, hyperosmotic, and oxidative stresses

<b>НЕСПЕЦИФИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛИПИДОВ</b> (гипоосмотический, гиперосмотический и окислительный стрессы)		
<b>КЛАСС</b>	<b>ПЛАЗМАЛЕММА</b>	<b>ТОНОПЛАСТ</b>
<b>Фосфолипиды</b>	ФЭ ↓ ↓ ↓	ФК ↓ ↓ ↓
	ФГ ↓ ↓ ↓	-
<b>Гликоглицеролипиды</b>	МГДГ ↓ ↓ ↓	-
	ДГДГ ↑ ↑ ↑	-
	ДГДГ/МГДГ ↑ ↑ ↑	-
<b>Стерины</b>	Холестерин ↓ ↓ ↓	-
	Кампестерин ↓ ↓ ↓	Кампестерин ↑ ↑ ↑
	Стигмастерин ↓ ↓ ↓	-
	β-ситостерин ↑ ↑ ↑	-
<b>Жирные кислоты</b>	Пентодекановая (C15:0) ↑ ↑ ↑	Лауриновая (C12:0) ↑ ↑ ↑
	Арахидиновая (C20:0) ↓ ↓ ↓	-
<b>СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛИПИДОВ</b> (гипоосмотический, гиперосмотический и окислительный стрессы)		
<b>Фосфолипиды</b>	ФК ↓ = ↓	ФЭ = ↓ ↓
	ФХ = ↓ ↓	ФХ = ↓ =
	ФИ = ↑ ↑	ФИ ↓ = =
	ФС ↓ ↓ =	ФС = ↓ ↓
<b>Гликоглицеролипиды</b>	-	МГДГ ↓ ↓ =
	-	ДГДГ = ↓ ↑
	-	ДГДГ/МГДГ ↑ ↓ ↑
<b>Стерины</b>	-	Холестерин = = ↑
	-	Стигмастерин ↑ = ↑
	-	β-ситостерин ↓ ↓ ↑
<b>Жирные кислоты</b>	Все кроме (C15:0) и (C20:0)	Все кроме (C12:0)

Примечание. ДГДГ – дигалактозилдиацилглицериды; МГДГ – моногалактозилдиацилглицериды; ФГ – фосфатидилглицерины; ФИ – фосфатидилинозитолы; ФК – фосфатидная кислота; ФС – фосфатидилсерины; ФХ – фосфатидилхолины; ФЭ – фосфатидилэтанол-амины.

Стрелками показано направление изменений в содержании липидов (↑ – увеличение, ↓ – снижение, = отсутствие изменений)

Note. ДГДГ – digalactosyldiacylglycerols; МГДГ – monogalactosyldiacylglycerols; ФГ – phosphatidylglycerols; ФИ – phosphatidylinositols; ФК – phosphatidic acid; ФС – phosphatidylserines; ФХ – phosphatidylcholines; ФЭ – phosphatidylethanolamines.

Arrows indicate the direction of change in lipid content (↑ – increase, ↓ – decrease, = – no change)

### ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России для Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского института физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук (№ проекта в гос. задании)

– 0277-2025-0001, рег. № НИОКТР – 125021702323-2) на оборудовании ЦКП “Биоаналитика” Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН (г. Иркутск).

### Конфликт интересов | Conflicts of Interest

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи. The authors declare no actual or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Озолина Н.В., Капустина И.С., Гурина В.В., Спиридонова Е.В., Нурминский В.Н. (2025) Специфические и неспецифические изменения содержания липидов плазмалеммы при разных видах абиотического стресса. *Биологические мембраны*. **42**(3): 235–245. EDN: [TCZGMB](#)
- Пятыгин С.С. (2008) Стресс у растений: физиологический подход. *Журнал общей биологии*. **69**(4): 294–298. EDN: [JHKYNL](#)
- Саяев Р.К., Кузеванов В.Я., Хаптагаев С.Б., Копытчук В.Н. (1981) Выделение и очистка вакуолей и вакуолярных мембран из клеток растений. *Физиология растений*. **28**(6): 1295–1305. EDN: [WCTLVJ](#)
- Chaudhry S., Sidhu G.P.S. (2022) Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: a comprehensive review. *Plant Cell Reports*. **41**(1): 1–31. <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02759-5> EDN: [XUHBJU](#)
- Folch J., Lees M., Stanley G.H.S. (1957) A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*. **226**(1): 497–509. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5)
- Jouhet J. (2013) Importance of the hexagonal lipid phase in biological membrane organization. *Frontiers in Plant Science*. **4** <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00494> EDN: [SPDEIB](#)
- Larsson C., Widell S., Kjellbom P. (1987) [52] Preparation of high-purity plasma membranes. In: Packer L., Douce R. (eds.) *Methods in Enzymology*. Academic Press.: 558–568. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48054-3](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48054-3)
- Nalina M., Saroja S., Chakravarthi M., Rajkumar R., Radhakrishnan B., Chandrashekara K.N. (2021) Water deficit-induced oxidative stress and differential response in antioxidant enzymes of tolerant and susceptible tea cultivars under field condition. *Acta Physiologiae Plantarum*. **43**(1): 10. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03174-1> EDN: [SKODVW](#)
- Narayanan S., Tamura P.J., Roth M.R., Prasad P.V.V., Welti R. (2016) Wheat leaf lipids during heat stress: I. High day and night temperatures result in major lipid alterations. *Plant, Cell & Environment*. **39**(4): 787–803. <https://doi.org/10.1111/pce.12649> EDN: [WUJJPJ](#)
- Okazaki Y., Saito K. (2014) Roles of lipids as signaling molecules and mitigators during stress response in plants. *The Plant Journal*. **79**(4): 584–596. <https://doi.org/10.1111/tpj.12556> EDN: [YEKLFZ](#)
- Ozolina N. V., Kapustina I.S., Gurina V. V., Bobkova V.A., Nurminsky V.N. (2021) Role of plasmalemma microdomains (rafts) in protection of the plant cell under osmotic stress. *The Journal of Membrane Biology*. **254**(4): 429–439. <https://doi.org/10.1007/s00232-021-00194-x> EDN: [BGDUCV](#)
- Ozolina N. V., Kapustina I.S., Gurina V. V., Spiridonova E. V., Nurminsky V.N. (2024) Influence of oxidative stress upon the lipid composition of raft structures of the vacuolar membrane. *Russian Journal of Plant Physiology*. **71**(1): 29. <https://doi.org/10.1134/S102144372460449X> EDN: [AXMNNE](#)
- Ozolina N. V., Nesterkina I.S., Gurina V. V., Nurminsky V.N. (2020) Non-detergent isolation of membrane structures from beet plasmalemma and tonoplast having lipid composition characteristic of rafts. *The Journal of Membrane Biology*. **253**(5): 479–489. <https://doi.org/10.1007/s00232-020-00137-y> EDN: [WXPOTS](#)
- Su K., Bremer D.J., Jeannotte R., Welti R., Yang C. (2009) Membrane lipid composition and heat tolerance in cool-season turfgrasses, including a hybrid bluegrass. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. **134**(5): 511–520. <https://doi.org/10.21273/JASHS.134.5.511> EDN: [NAJXJF](#)

### REFERENCES

- Ozolina N.V., Kapustina I.S., Gurina V.V., Spiridonova E.V., Nurminsky V.N. (2025) Specific and non-specific changes in plasmalemma lipid content induced by different types of abiotic stress. *Membrane and Cell Biology*. **42**(3): 235–245. EDN: [TCZGMB](#) (In Rus.)

- Pyatygin S.S. (2008) Stress in plants: a physiological approach. *Journal of General Biology*. **69**(4): 294–298. EDN: [JHKYNL](#) (In Rus.)
- Salyaev R.K., Kuzevanov V.Ya., Khaptagaev S.B., Kopytchuk V.N. (1981) Isolation and purification of vacuoles and vacuolar membranes from plant cells. *Russian Journal of Plant Physiology*. **28**(6): 1295–1305. EDN: [WCTLVJ](#) (In Rus.)
- Chaudhry S., Sidhu G.P.S. (2022) Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: a comprehensive review. *Plant Cell Reports*. **41**(1): 1–31. <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02759-5> EDN: [XUHBJU](#)
- Folch J., Lees M., Stanley G.H.S. (1957) A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*. **226**(1): 497–509. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5)
- Jouhet J. (2013) Importance of the hexagonal lipid phase in biological membrane organization. *Frontiers in Plant Science*. **4** <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00494> EDN: [SPDEIB](#)
- Larsson C., Widell S., Kjellbom P. (1987) [52] Preparation of high-purity plasma membranes. In: Packer L., Douce R. (eds.) *Methods in Enzymology*. Academic Press.: 558–568. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48054-3](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48054-3)
- Nalina M., Saroja S., Chakravarthi M., Rajkumar R., Radhakrishnan B., Chandrashekara K.N. (2021) Water deficit-induced oxidative stress and differential response in antioxidant enzymes of tolerant and susceptible tea cultivars under field condition. *Acta Physiologica Plantarum*. **43**(1): 10. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03174-1> EDN: [SKODVW](#)
- Narayanan S., Tamura P.J., Roth M.R., Prasad P.V.V., Welti R. (2016) Wheat leaf lipids during heat stress: I. High day and night temperatures result in major lipid alterations. *Plant, Cell & Environment*. **39**(4): 787–803. <https://doi.org/10.1111/pce.12649> EDN: [WUJJPJ](#)
- Okazaki Y., Saito K. (2014) Roles of lipids as signaling molecules and mitigators during stress response in plants. *The Plant Journal*. **79**(4): 584–596. <https://doi.org/10.1111/tpj.12556> EDN: [YEKLFZ](#)
- Ozolina N. V., Kapustina I.S., Gurina V. V., Bobkova V.A., Nurminsky V.N. (2021) Role of plasmalemma microdomains (rafts) in protection of the plant cell under osmotic stress. *The Journal of Membrane Biology*. **254**(4): 429–439. <https://doi.org/10.1007/s00232-021-00194-x> EDN: [BGDUCV](#)
- Ozolina N. V., Kapustina I.S., Gurina V. V., Spiridonova E. V., Nurminsky V.N. (2024) Influence of oxidative stress upon the lipid composition of raft structures of the vacuolar membrane. *Russian Journal of Plant Physiology*. **71**(1): 29. <https://doi.org/10.1134/S102144372460449X> EDN: [AXMNNF](#)
- Ozolina N. V., Nesterkina I.S., Gurina V. V., Nurminsky V.N. (2020) Non-detergent isolation of membrane structures from beet plasmalemma and tonoplast having lipid composition characteristic of rafts. *The Journal of Membrane Biology*. **253**(5): 479–489. <https://doi.org/10.1007/s00232-020-00137-y> EDN: [WXPQTS](#)
- Su K., Bremer D.J., Jeannotte R., Welti R., Yang C. (2009) Membrane lipid composition and heat tolerance in cool-season turfgrasses, including a hybrid bluegrass. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. **134**(5): 511–520. <https://doi.org/10.21273/JASHS.134.5.511> EDN: [NAJXJF](#)

Цитировать как

Озолина Н.В., Капустина И.С., Гурина В.В., Спиридонова Е.В., Нурминский В.Н. (2026) Сравнение специфических и неспецифических изменений липидов плазмалеммы и тонопласта при разных видах абiotического стресса. *Экобиотех*. **9**(1): 7-13. DOI: <http://doi.org/10.31163/2618-964X/2026-1> EDN: <https://www.elibrary.ru/adghed>

Сведения об авторах

**Наталья Владимировна Озолина**, д.б.н., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия. E mail: [ozol@sifibr.irk.ru](mailto:ozol@sifibr.irk.ru), SPIN-код: [7587-9979](#), ORCID: [0000-0002-0436-8166](#), Scopus Author ID: [6603589496](#), WoS Research ID: [J-6387-2018](#)

Cited as

Ozolina N.V., Kapustina I.S., Gurina V.V., Spiridonova E.V., Nurminsky V.N. (2026) Comparison of specific and non-specific changes in plasma and tonoplasmic lipids under different types of abiotic stress. *Ecobiotech*. **9**(1): 7-13. DOI: <http://doi.org/10.31163/2618-964X/2026-1> EDN: <https://www.elibrary.ru/adghed>

Information About the Authors

**Natalia V. Ozolina**, D.Sc. (Biology), Federal State Budgetary Institution of Science Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia. E mail: [ozol@sifibr.irk.ru](mailto:ozol@sifibr.irk.ru), SPIN-code: [7587-9979](#), ORCID: [0000-0002-0436-8166](#), Scopus Author ID: [6603589496](#), WoS Research ID: [J-6387-2018](#)

**Ирина Сергеевна Капустина**, к.б.н., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия. E mail: [nirinka24@mail.ru](mailto:nirinka24@mail.ru), [SPIN-код: 5302-4690](#), [ORCID: 0000-0001-5159-9816](#), [Scopus Author ID: 57221051987](#), [WoS Research ID: HKO-5137-2023](#)

**Вероника Валериевна Гурина**, к.б.н., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия. E mail: [nichka.g@bk.ru](mailto:nichka.g@bk.ru), [SPIN-код: 9450-2258](#), [ORCID: 0000-0001-7552-0818](#), [Scopus Author ID: 54781473600](#), [WoS Research ID: CAA-0522-2022](#)

**Екатерина Владимировна Спиридонова**, к.б.н., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия. E mail: [yatakol@mail.ru](mailto:yatakol@mail.ru), [SPIN-код: 1573-5197](#), [ORCID: 0000-0001-7440-5658](#), [Scopus Author ID: 57193714724](#), [WoS Research ID: J-7334-2018](#)

**Вадим Николаевич Нурминский**, к.б.н., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия. E mail: [cell@sifibr.irk.ru](mailto:cell@sifibr.irk.ru), [AuthorID: 109841](#), [ORCID: 0000-0003-1265-1639](#), [Scopus Author ID: 6505600003](#), [WoS Research ID: J-6618-2018](#)

**Irina S. Kapustina**, PhD in Biological Sciences, Federal State Budgetary Institution of Science Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia. E mail: [nirinka24@mail.ru](mailto:nirinka24@mail.ru), [SPIN-code: 5302-4690](#), [ORCID: 0000-0001-5159-9816](#), [Scopus Author ID: 57221051987](#), [WoS Research ID: HKO-5137-2023](#)

**Veronika V. Gurina**, PhD in Biological Sciences, Federal State Budgetary Institution of Science Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia. E mail: [nichka.g@bk.ru](mailto:nichka.g@bk.ru), [SPIN-code: 9450-2258](#), [ORCID: 0000-0001-7552-0818](#), [Scopus Author ID: 54781473600](#), [WoS Research ID: CAA-0522-2022](#)

**Ekaterina V. Spiridonova**, PhD in Biological Sciences, Federal State Budgetary Institution of Science Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia. E mail: [yatakol@mail.ru](mailto:yatakol@mail.ru), [SPIN-code: 1573-5197](#), [ORCID: 0000-0001-7440-5658](#), [Scopus Author ID: 57193714724](#), [WoS Research ID: J-7334-2018](#)

**Vadim N. Nurminsky**, PhD in Biological Sciences, Federal State Budgetary Institution of Science Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia. E mail: [cell@sifibr.irk.ru](mailto:cell@sifibr.irk.ru), [AuthorID: 109841](#), [ORCID: 0000-0003-1265-1639](#), [Scopus Author ID: 6505600003](#), [WoS Research ID: J-6618-2018](#)