

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОЛЯРНЫЙ ЛИПИДОМ STREBLONEMA
CORYMBIFERUM (ECTOCARPALES, PHAEOPHYCEAE)**

Чадова Оксана Андреевна

аспирант лаборатории сравнительной биохимии Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского Дальневосточного отделения Российской академии наук, РФ, г. Владивосток

Веланский Петр Владимирович

канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории сравнительной биохимии Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского Дальневосточного отделения Российской академии наук, Россия, г. Владивосток РФ, г. Владивосток

**EFFECT OF TEMPERATURE ON THE POLAR LIPIDOME OF STREBLONEMA
CORYMBIFERUM (ECTOCARPALES, PHAEOPHYCEAE)**

Oksana Chadova

Post-graduate student of the Laboratory of Comparative Biochemistry A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Russia, Vladivostok

Peter Velansky

Candidate of Science, Senior Researcher of the Laboratory of Comparative Biochemistry A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Russia, Vladivostok

Аннотация. Впервые исследованы термоадаптационные изменения на уровне молекулярных видов полярных липидов бурой эндофитной водоросли *Streblonema corymbiferum*. Показано, что температура культивирования оказывает значительное влияние на профиль полярных липидов *S. corymbiferum*. Во всех классах липидов в разной степени прослеживалась зависимость между уровнем ненасыщенности и температурой. Установлено, что температура культивирования влияет на баланс между хлоропластным и цитоплазматическим путями синтеза анионных липидов тилакоидных мембран сульфохиновозилдиацилглицерина (СХДГ) и фосфатидилглицерина (ФГ).

Abstract. Thermal adaptation changes at the level of molecular species of polar lipid of brown endophytic alga *Streblonema corymbiferum* have been studied for the first time. It was shown that the polar lipid profile of *S. corymbiferum* significantly changes at different temperatures of cultivation. The relationship between the level of unsaturation and temperature was observed to varying degrees in all classes of lipids. It was found that the temperature of cultivation affects the balance between the chloroplast and cytoplasmic pathways of the synthesis of anionic lipids of thylakoid membranes sulfoquinovosyl diacylglycerol (SQDG) and phosphatidylglycerol (PG).

Ключевые слова: полярный липидом; термоадаптация; эндофит; водоросли.

Keywords: polar lipidome; thermal adaptation; endophyte; algae.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-34-90112.

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 20-34-90112.

Температура является одним из главных абиотических факторов, влияющих на физиологическое состояние организма. Во время эволюции у растений и водорослей выработались многочисленные компенсаторные механизмы, позволяющие сглаживать негативные эффекты воздействия низких и высоких температур [1, 6]. Клеточные мембраны наиболее подвержены температурному стрессу. Процесс регулирования состава липидов клеточных мембран с целью поддержания жидкостности бислоя, необходимой для нормальной жизнедеятельности организма, называется гомеовязкостной адаптацией [2, 5]. Компенсаторные механизмы включают в себя модификации структуры ацильных цепей, положения жирных кислот (ЖК) в молекулах полярных липидов, а также содержания нейтральных липидов. В настоящее время опубликовано множество исследований, касающихся изменений общего ЖК состава и содержания индивидуальных классов липидов под влиянием температуры [3, 4]. Изменения, происходящие на уровне молекулярных видов отдельных классов липидов, остаются малоизученными. В данной работе мы исследовали влияние температуры на состав молекулярных видов полярных классов липидов бурой эндофитной водоросли *Streblonema corymbiferum*.

Споры *S. corymbiferum* выделяли с *Eualaria fistulosa* (Laminariales, Phaeophyceae) и выращивали как свободноживущие культуры при 5°C, 10°C, 15°C, 20°C и 25°C в течение трех недель. Экстракцию липидов проводили смесью хлороформ : метанол (1:1, об.). Состав молекулярных видов полярных липидов анализировали с помощью ВЭЖХ-МС/МС. Для разделения использовали колонку с обращенной неподвижной фазой Ascentis Express C18 (15 см / 2,1 мм / зернение 2,7мкм), детекцию осуществляли на масс-спектрометре с тройным квадруполем Shimadzu LCMS-8060. Для определения положения ацильных групп сравнивали интенсивности фрагментов, образованных отщеплением в sn-1 / sn-2 положении при проведении МС/МС.

Анализ липидного состава образцов водоросли показал наличие 9 классов полярных липидов, в том числе трех классов пластид-локализованных гликолипидов – моногалактозилдиациглицерина (МГДГ), дигалактозилдиациглицерина (ДГДГ) и сульфохиновозилдиациглицерина (СХДГ), фосфолипида фосфатидилглицерина (ФГ), который содержится как в пластидных, так и экстрапластидных мембранах, а также фосфолипидов фосфатидилхолина (ФХ), фосфатидилэтаноламина (ФЭ), фосфатидилинозита (ФИ), фосфатидилгидроксиэтилглицина (ФГЭГ), и бетаинового липида диацилглицеротриметилгомосерина (ДГТС), являющихся компонентами экстрапластидных мембран.

В составе МГДГ и ДГДГ преобладали молекулярные виды С18/С18 и С20/С18. Сходный качественный состав обусловлен биосинтетической взаимосвязью этих галактолипидов. В МГДГ доминировали молекулярные виды с С18 жирными кислотами (ЖК) в обоих положениях, а в ДГДГ – С20/С18. Характер изменения содержания молекулярных видов МГДГ и ДГДГ под влиянием температуры был сходным. Максимальный уровень 18:4/18:4 и 20:5/18:4 наблюдался при самой низкой температуре. С повышением температуры содержание этих молекулярных видов снижалось, а увеличивалось содержание видов с более насыщенными ЖК, таких как 18:3/18:3, 18:3/18:2, 18:3/18:1, 20:5/18:3, 20:5/18:2 и 20:5/18:1. Главные молекулярные виды СХДГ и ФГ содержали С16 и С18 ЖК. Содержание 18:3/16:0 СХДГ

снижалось по мере роста температуры, тогда как содержание 18:3/16:0 ФГ, наоборот, увеличивалось. Уровень 18:1/16:0 в СХДГ и ФГ был максимальный при 15°С. С ростом температуры снижался уровень СХДГ и ФГ, содержащих С18 полиненасыщенные ЖК (ПНЖК) и увеличивался уровень молекулярных видов, содержащих насыщенные (НЖК) и мононенасыщенные ЖК (МНЖК). Общий уровень СХДГ и, в особенности, ФГ, синтезированных хлоропластным путем увеличивался с повышением температуры.

В составе главных экстрапластидных липидов ФХ и ФЭ преобладали молекулярные виды с С20 ПНЖК в обоих положениях, и, в меньшей степени, виды с НЖК в sn-1 и С20 ПНЖК в sn-2. ФХ – один из наиболее разнообразных по составу класс липидов. С ростом температуры увеличивалось содержание 14:0/18:1, 16:0/18:1, 20:5/18:1 и 20:4/18:1 и уменьшалось 16:0/20:5, 16:0/20:4, 20:5/20:5. Молекулярные виды 14:0/20:5, 14:0/20:4, 20:4/20:5 и 20:4/20:4 достигали максимального уровня при 15-20°С. В ФЭ при 5°С содержание 20:4/20:5 и 20:5/20:5 было максимальным, с повышением температуры оно снижалось, зато увеличивался уровень 20:4/20:4 с максимальным значением при 20°С. Содержание молекулярных видов с НЖК в sn-1 положении, таких как 14:0/20:4, 16:0/20:4, 20:0/20:4 и 22:0/20:4 увеличивалось с повышением температуры. Таким образом, в ФЭ наблюдалась обратная зависимость между уровнями ПНЖК/ПНЖК и НЖК/ПНЖК при изменении температуры. В ФХ характер термоадаптационных изменений был более сложный – по мере роста температуры снижался уровень ПНЖК/ПНЖК и НЖК/ПНЖК, и увеличивалось содержание НЖК/МНЖК и ПНЖК/МНЖК.

Основной молекулярный вид ДГТС содержал 18:1 в обоих положениях. Содержание этого вида оставалось относительно постоянным при температуре более 15°, при более низких температурах оно снижалось, зато увеличивалось содержание 18:1/18:2. Уровень ДГТС, содержащего НЖК увеличивался при температуре более 15°С.

Содержание молекулярных видов ФИ и ФГЭГ практически не изменялось под влиянием температуры. Главные молекулярные виды ФИ содержали преимущественно 16:0 в sn-1 и С18 ЖК с разной степенью насыщенности в sn-2. ФГЭГ имел всего два главных молекулярных вида – 20:4/20:5 и 20:4/20:4.

Список литературы:

1. Beney L., Gervais P. Influence of the fluidity of the membrane on the response of microorganisms to environmental stresses // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 2001. Vol. 57. P. 34-42.
2. Ernst R., Ejlsing C.S., Antonny B. Homeoviscous adaptation and the regulation of membrane lipids // *J. Mol. Biol.* – 2016. Vol. 428. № 24. – P. 4776-4791.
3. Gerasimenko N.I., Skriptsova A.V., Busarova N.G. et al. Effects of the season and growth stage on the contents of lipids and photosynthetic pigments in brown alga *Undaria pinnatifida* // *Russ. J. Plant Physiol.* – 2011. Vol. 58. № 5. P. 885-891.
4. Sanina N.M., Goncharova S.N., Kostetsky E.Y. Seasonal changes of fatty acid composition and thermotropic behavior of polar lipids from marine macrophytes // *Phytochem.* – 2008. Vol. 69. № 7. P. 1517-1527.
5. Sinensky M. Homeoviscous adaptation—A homeostatic process that regulates the viscosity of membrane lipids in *Escherichia coli* // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 1974. Vol. 71. № 2. – P. 522-525.
6. Török Z., Tsvetkova N.M., Balogh G. et al. Heat shock protein coinducers with no effect on protein denaturation specifically modulate the membrane lipid phase // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 2003. Vol. 100. № 6. – P. 3131-3136.