

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКО- И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО СТРЕССА НА МЕТАБОЛОМ МИКРОКЛОНОВ *N. SIBIRICA* PALL. И *NITRARIA SCHOBERI* L. *IN VITRO*

Н.В.Терлецкая^{1,2*}, Н.К. Корбозова^{1,2}, Д. Дайырбекова^{1,2}, Н.О. Кудрина^{1,2}, А. Мамирова^{1,2}, К. Ашимулы^{1,2}, Э.А. Шаденова¹

¹Институт генетики и физиологии МНВО РК, 050090, Казахстан, Алматы, аль-Фараби, 93

²Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, 050090, Казахстан, Алматы, аль-Фараби, 72

* Автор для корреспонденции: teni02@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты изучения действия высокотемпературного и холодового стрессов на метаболом микроклонов *N. sibirica* Pall. и *Nitraria schoberi* L. *in vitro*. Согласно анализам газовой хроматографии–масс-спектрометрии (ГХ–МС), выявлены значительные стресс-индуцированные изменения метаболомных спектров изучаемых видов. Эти результаты важны для развития метабономики и улучшения нашего понимания реакций растений на абиотические стрессовые факторы. Кроме того, результаты исследования помогают определить роль отдельных метаболитов в этих процессах, что имеет важное значение для разработки стратегий направленной индукции ценных вторичных метаболитов *in vitro*.

Ключевые слова: *Nitraria sibirica* Pall., *Nitraria schoberi* L., *in vitro*, микроклоны, температурный стресс, метаболом

ВВЕДЕНИЕ

Во флоре Казахстана семейство Nitrariaceae, род селитрянки (*Nitraria* L.) представлены полиморфными видами *Nitraria schoberi* L. и *N. sibirica* Pall. [1], которые широко распространены в засушливых и полувасушливых районах, в межгорных котловинах, в засоленных пустынях, на солончаках, солончаках, в степях и на соляных болотах и исторически используются как декоративные, мелиоративные, красильные, пищевые и кормовые растения. При этом растения видов *N. sibirica* и *N. schoberi* имеют кормовую ценность и перспективны для использования в медицине, так как способны накапливать ценные БАВ (биологически активные вещества) [2, 3]. Накопление хозяйственно-ценных вторичных метаболитов обеспечивает антибактериальные, антиоксидантные, противоопухолевые, противовоспалительные, спазмолитические, антиаритмические, седативными и коронарорасширяющие свойства видов рода *Nitraria* [4-7].

Данные литературы говорят о том, что среди разнообразных биологически активных соединений, для селитрянок характерны в первую очередь, алкалоиды и флавоноиды. При этом в листьях *N. sibirica* содержится больше флавоноидов, а в листьях *N. schoberi* соответственно алкалоидов [8-11]. Благодаря фармакогностическому и гистохимическому анализу листьев, стеблей, плодов и корней растения установлена локализация отдельных групп биологически активных веществ (фенольных соединений, флавоноидов, алкалоидов, полисахаридов и сесквитерпеновых лактонов) в надземной и подземной частях [12].

Фитохимические исследования способствуют и более глубокому пониманию механизмов адаптации растений к различным факторам среды. В работах российских ученых выявлена взаимосвязь между составом фенольных соединений в листьях *N. sibirica* и средой обитания, что также может отмечаться у родственных видов [13].

С учетом происходящего и прогнозируемого изменения климата, усилением опустынивания и засоления территорий возрастает актуальность комплексных исследо-

ваний стрессоустойчивых растений, среди которых виды рода *Nitraria* занимают первые позиции как галофитные представители древесной растительности.

Одним из возможных решений этой проблемы могут стать альтернативные биотехнологические подходы с использованием культуры клеток, тканей и органов в качестве источников синтеза ценных БАВ [14]. Технологии *in vitro* имеют ряд преимуществ по сравнению с резерватом сбора лекарственных растений, которые дают возможность круглогодичного получения исходных метаболитов в контролируемых условиях, обеспечивая стандартизацию процесса.

Для разных видов *Nitraria* разработаны разнообразные методы культивирования *in vitro*. Так, К. Садерсан с коллегами использовали соматический эмбриогенез и органогенез с помощью пазушных почек [15]. Китайские ученые при размножении селитрянки сибирской [16, 17] и селитрянки тангусской [18] получили каллусные культурные листы и адвентивные побеги стеблевого происхождения. Но клональное микроразмножение, как метод, основанный на тотипотентности растительной клетки, имеет такое важное преимущество перед многими традиционными способами размножения, как сокращение сроков получения и отбора идентичных микроклонов для селекционных исследований. При этом сводится к нулю вероятность повторного заражения растений вирусными инфекциями, так как процесс не предусматривает их контакт с внешней средой. Значительно экономятся площади закрытого грунта, маточников и коллекционных насаждений. Однако условия культивирования растений-регенерантов *in vitro*, а также используемые гормональные добавки и регуляторы роста в питательных средах, к сожалению, существенно ограничивают природный биосинтез видоспецифичных метаболитов.

Поэтому целью данного исследования был анализ возможностей индуцированного накопления ценных БАВ в условиях *in vitro*. Наше исследование отталкивается от того, что высокие и низкие положительные температуры влияют на пластичность растения *in vitro* на начальных

этапах формирования микроклонов. Ранее нами были получены интересные результаты при оценке воздействия низких положительных температур на микроклоны *Junglas regia* [19]. Но в целом, в настоящее время практически нет исследований, направленных на изучение реакции метаболизма микроклонов на эти типы абиотического стресса, и о потенциальных преимуществах таких исследований, что делает этот вопрос важной темой для изучения. Наше исследование предлагает инструмент для теоретического и практического понимания экологических стратегий адаптации видов *N. sibirica* Pall. и *Nitraria schoberi* L., а также потенциал использования этих процессов адаптации для разработки методов целевого синтеза полезных вторичных метаболитов для медицинского использования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Растительный материал для получения микроклонов *N. schoberi* предоставлена Мангышлакским экспериментальным ботаническим садом, г.Актау. Растения *N. sibirica* собраны в национальном парке Буйратау (Акмолинская область). Материалом для исследований служили микроклоны видов *N. sibirica* и *N. schoberi*, где использовали метод активации развития уже существующих в растении меристем. Он основан на снятии апикального доминирования, путем удаления верхушечной меристемы стебля и последующим микрочеренкованием побега *in vitro* на безгормональной среде, а также было использовано добавление в питательную среду веществ, индуцирующих развитие многочисленных пазушных побегов. Культивирование изолированных тканей селитрянки проводили в соответствии с методическими принципами и приемами, описанными Р.Г. Бутенко [20] и Ф.Л. Калинин, В.В. Сарнацкой, В.Б. Полищук [21]. Стерилизацию растительного материала проводили 3%, 6%, 10% и 12% раствора белизны, сулемы, доместоса и перекиси водорода во временной экспозиции 10, 15, 20 мин. На этапах введения в культуру использовали органические соли сред MS [22] и WPM (woody plant medium) [23], с добавками: мезоинозит 180 мг/л; сахароза или глюкоза 20-30 г/л, тиамин, пиридоксин, никотиновая кислота по 1,5 мг/л, агар 6-8 г/л, pH 5,6-6,0. Пробирочные культуры выращивали на светокультуральных стеллажах при температуре 24-26 °C, освещенности 10 000 люкс и 18-ти часовом фотопериоде. Регуляторами роста служили БАП – 0,4-1 мг/л, ИМК – 0,05-0,2 мг/л, кинетин – 1-5 мг/л, зеатин – 8 мг/л, тиадизурон – 0,3-0,5 мг/л. Перед посадкой на питательную среду места срезов у первичных эксплантов обновляли. Субкультивирование эксплантов на свежую питательную среду проводили через каждые 3-5 дня. Культивирование проводили при температуре 24–26 °C, освещенности 10 000 люкс и 18-часовом фотопериоде. Стрессовое воздействие осуществляли путем культивирования микроклонов в контролируемых условиях климатической камеры при повышенной (30 °C) и пониженной (3 °C) температурах и освещении 10 000 люкс и 18-часовом фотопериоде в течение 72 ч. В каждом варианте опыта использовали микроклоны в трех биологических повторностях, по два растения в каждой повторности.

Анализ биологически активных органических сое-

динений проводили с использованием газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС) на системе Agilent 7890A/5975C (Agilent Technologies, Санта-Клара, Калифорния, США). Каждый образец состоял из 3-5 микроклонов. Растительные ткани консервировались в 96% этаноле в соотношении 100 г на 500 мл и дважды экстрагировались в течение 72 ч каждый на орбитальном шейкере, пока этанол не становился прозрачным и бесцветным. Каждый образец (0,7 мкл) вводился в ГХ-МС при 310 °C в режиме без разделения. Разделение соединений проводили на капиллярной колонке DB-17MS (60 м × 0,25 мм × 0,25 мкм, Agilent Technologies, Санта-Клара, Калифорния, США) с использованием гелия в качестве газа-носителя при скорости потока 1 мл/мин. Температура печи была запрограммирована на повышение от 50 до 300 °C со скоростью 5 °C/мин с конечным удержанием при 300 °C в течение 10 мин. Детектирование проводили в режиме SCAN с диапазоном m/z 34–800.

Управление системой и анализ данных проводили с помощью программного обеспечения Agilent MSD ChemStation (v. 1701EA, Agilent Technologies, Санта-Клара, Калифорния, США). Анализировали время удерживания, площади пиков и спектральные данные с масс-спектрометра. Идентификация соединений проводилась путем интерпретации масс-спектров с использованием библиотек Wiley 7th Edition и NIST 11, которые в совокупности содержат более 550 000 спектров.

Для оценки воспроизводимости метода метаболомного профилирования на основе ГХ-МС было рассчитано относительное стандартное отклонение (RSD%) на основе трех независимых повторных анализов для каждого образца. Значения RSD% для основных классов соединений варьировались от 1,7% до 8,8%, что соответствует приемлемому порогу (<10%) для анализов ГХ-МС, тем самым подтверждая надежность и воспроизводимость аналитической процедуры.

Статистический анализ проводился с использованием программного обеспечения RStudio (версия 2023.06.0, сборка 421, RStudio PBC, 2023). Для выявления статистически значимых различий между исследуемыми экспериментальными вариантами проводился однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). При выявлении статистически значимых различий в результате ANOVA для попарного сравнения применялся тест Tukey HSD. Экспериментальные варианты классифицировались в соответствии с результатами теста (по буквам в порядке убывания) при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Первым этапом работы было получение достаточного количества растительного материала микроклонов, что невозможно без оптимизации процессов стерилизации и культивирования эксплантов. В целом, использование большинства стерилизующих агентов приводило к сильному проявлению некроза тканей эксплантов, бактериальному или грибковому заражению и последующей гибели эксплантов.

Результаты, приведённые в таблице 1, показывают, что наибольшее среднее количество регенерирующих побегов у эксплантов (73,3%) отмечено при использовании в

Таблица 1 – Средние показатели влияние концентрации стерилизующих растворов и времени стерилизации на выход жизнеспособных растений-регенерантов

Стерилизующие агенты и концентрации	Время экспозиции, мин.	Число побегов, шт.	Инфицировано, шт.	Некроз, шт.	Жизнеспособность %
Перекись водорода (10%)	5	30	25	0	16,6
	10	30	24	2	13,3
	15	30	6	2	73,3
Domestos 50%	4	30	30	0	0
	8	30	0	30	0
Сулема 20%	4	30	30	0	0
	8	30	19	10	1
Белизна 50%	4	30	24	0	0
	8	30	11	14	5

Таблица 2 – Влияние состава питательной среды на регенерационную способность эксплантов

Виды	Число эксплантов на каждом варианте питательной среды	Количество регенерированных побегов, шт	
		WPM	MS
<i>N. sibirica</i>	30	20	5
<i>N. schoberi</i>	30	25	2

качестве стерилизующего агента 10%-ой перекиси водорода (экспозиция – 15 минут). Стерилизация 10% раствором перекиси обеспечила получение достаточно высокого количества асептических жизнеспособных культур.

При оценке влияния сред Мурасиге и Скуга (MS) и Ллойда-Маккауна (WPM) на регенерацию меристематических верхушек нами было установлено превосходство последней. Морфогенетический потенциал культивируемых тканей и органов, значение генетического, как самого важного отмечено на этапе введения в культуру *in vitro*. Отмечено, что исследуемые объекты имеют хороший морфогенетический потенциал, у которых уже через 1,5 месяца культивирования образовались дополнительные побеги, готовые к клонированию (таблица 2, рисунок 1).

На рисунке 1, представлены микроклоны полученные путем микроклонального размножения за счет оптимизации питательной среды.

На следующем этапе полученные микроклоны подвергали стрессовому воздействию высоких и низких положительных температур. Ювенильное состояние микро-растений в коллекциях *in vitro*, как правило, не позволяет идентифицировать близкородственные виды по морфологическим признакам пробирочных растений. И микроклоны *N. sibirica* и *N. schoberi* морфологически очень слабо дифференцированы. Однако, после 72-часового воздействия температурных стрессоров, когда были отмечены некоторые визуальные морфологические изменения микроклонов *N. sibirica* и *N. schoberi*, эти изменения у изучаемых видов были различными. Так, при высокотемпературном стрессе отмечены завядание и пожелтение листовых пластинок *N. sibirica*, в динамике воздействия стрессора растительные ткани микроклонов этого вида теряли тургор, ослабевала твердость стебля. В ус-

ловиях воздействия низкой положительной температуры – появлялись признаки хлороза листьев микроклонов *N. schoberi*. Таким образом, стрессоустойчивость этих видов явно различается и требует в последующих экспериментах сравнительного анализа анатомических, фотосинтетических параметров и показателей водного режима. Но так как температурные стрессоры в первую очередь изменяют скорость биохимических реакций, нарушая баланс между поглощением энергии и ее использованием в метаболизме, основным этапом данного исследования был анализ влияния высоких и низких положительных температур на изменение спектра вторичных метаболитов у микроклонов *N. sibirica* и *N. schoberi*.

Выявлено, что метаболом микроклонов *in vitro* обоих изучаемых видов, не подвергаемых стрессовым воздействиям, был представлен такими классами соединений, как жирные кислоты и их эфиры, органогетероцикличе-

Рисунок 1. Микроклоны *Nitraria*, развитие боковых побегов, на 5-7 день культивирования

ские соединения и терпены. Помимо этого, в состав метаболома микроклонов *N. sibirica* входили углеводы и их производные (рисунок 2), а в составе метаболома *N. schoberi* отмечены флавоноиды (рисунок 3). Однако, у микроклонов обоих видов, подвергнутых стрессовым воздействиям, наблюдаемая картина была иной (таблица 3).

Как следует из представленных данных, метаболомный профиль микроклонов изучаемых видов в стрессовых условиях был гораздо разнообразнее контрольных. Микроклоны *N. sibirica* после высокотемпературного воздействия содержали такие классы вторичных метаболитов, как жирные кислоты и их эфиры, органогетероциклические соединения, терпены, углеводы и их производные, азотсодержащие соединения, производные фурана, фуранона и пирана, фенольные соединения, эфиры фталевой кислоты, стеролы (обнаружены только данным виде стресса), и амиды жирных кислот (обнаружены только данным виде стресса). Важно отметить, что содержание жирных кислот и их эфиров было статистически достоверно ниже контрольных значений ($p < 0,001$) в 3,33 раза, тогда как концентрация органогетероциклических соединений ($p = 0,166$) и терпенов ($p = 0,196$) оставалась на уровне контроля вне зависимости от стрессовых условий. Иная картина была обнаружена для углеводов и их производных, их содержание было значительно выше контрольных значений (в 1,46 раза) и ниже значений, обнаруженных в условиях холодного стресса (в 1,58 раз). Следует отметить достоверное ($p < 0,001$) повышение концентрации фенольных соединений, что является ярко выраженной стрессовой реакцией.

После холодного воздействия в метаболомном спектре микроклонов *N. sibirica* мы наблюдали следующие соединения: 1) общие с контролем – жирные кислоты и их

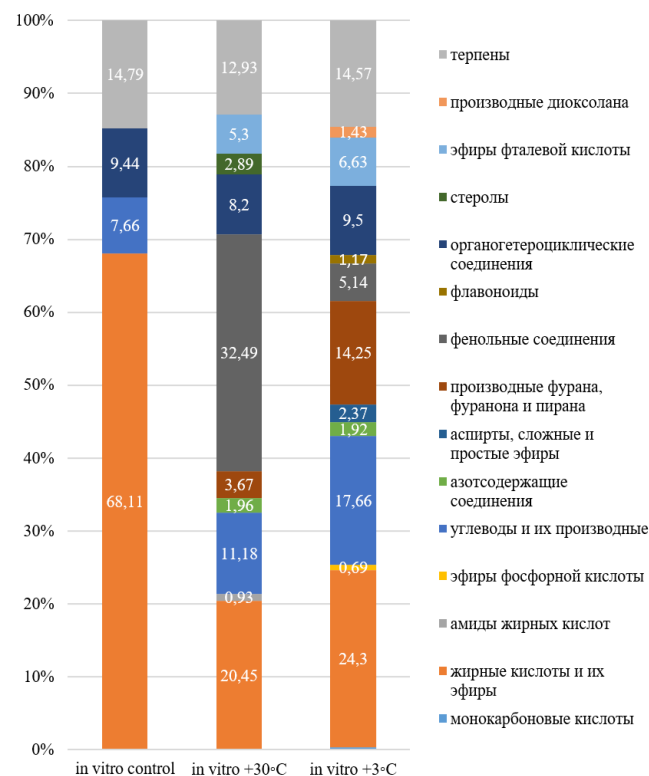


Рисунок 2. Метаболомный профиль микроклонов *N. sibirica* в зависимости от условий культивирования

эфиры, органогетероциклические соединения, терпены, углеводы и их производные; 2) общие с высокотемпературным стрессом – азотсодержащие соединения, производные фурана, фуранона и пирана, фенольные соединения, эфиры фталевой кислоты; 3) обнаруженные только при холодном стрессе – аспирты, сложные и простые эфиры, монокарбоновые кислоты, производные диоксолана, флавоноиды и эфиры фосфорной кислоты (рисунок 1).

Также как и при высокотемпературном стрессе, было обнаружено снижение концентраций жирных кислот и их эфиров (в 2,80 раза) относительно контроля ($p < 0,001$), без статистически достоверных изменений в содержании органогетероциклических соединений ($p = 0,166$) и терпенов ($p = 0,196$). Как было выше упомянуто, содержание углеводов и их производных было значительно выше значений, обнаруженных в условиях контроля и высокотемпературного стресса ($p < 0,001$), в 2,31 и 1,58 раз, соответственно. Что касается второй группы метаболитов, было выявлено, что концентрация азотсодержащих соединений была на том же уровне, что и при высокотемпературном стрессе ($p = 0,687$). Тогда как содержание производных фурана, фуранона и пирана и эфиров фталевой кислоты было достоверно выше значений, полученных в условиях высокотемпературного стресса ($p < 0,001$; в 3,88 раза). Содержание фенольных соединений наоборот снизилось в сравнении с значениями высокотемпературного стресса (в 6,32 раза).

Метаболомный спектр микроклонов *N. schoberi* после высокотемпературного воздействия был представлен жирными кислотами и их эфирами, органогетероциклическими соединениями, терпенами, флавоноидами, азотсодержащими соединениями, производными фурана, фуранона и пирана, фенольными соединениями, эфирами фталевой кислоты, стеролами (обнаружены только при

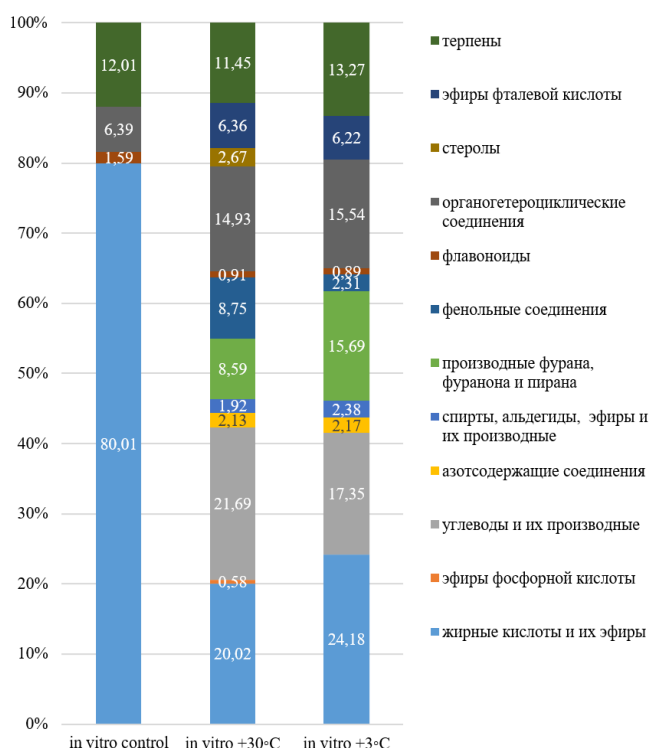


Рисунок 3. Метаболомный профиль микроклонов *N. schoberi* в зависимости от условий культивирования

Таблица 3. Влияние температурных стрессоров на накопление биологически активных веществ в микроклонах *N. Sibirica* и *N. shoberi*

Соединение	Вид	t, °C			p-value [Стресс]
		24-26 °C	3 °C	30 °C	
Алифатические спирты, сложные и простые эфиры	<i>N. sibirica</i>		2.37 ± 0.11		–
Азотсодержащие соединения	<i>N. sibirica</i>		1.92 ± 0.12	1.96 ± 0.11	0.687
	<i>N. shoberi</i>		2.17 ± 0.10	2.13 ± 0.12	0.678
p-value [виды]		–	< 0.10	0.138	–
Амиды жирных кислот	<i>N. sibirica</i>			0.93 ± 0.05	–
Жирные кислоты и их эфиры	<i>N. sibirica</i>	68.1 ± 3.74 ^a	24.3 ± 2.17 ^b	20.5 ± 1.81 ^b	< 0.001
	<i>N. shoberi</i>	80.0 ± 4.50 ^a	24.2 ± 1.49 ^b	20.0 ± 1.53 ^b	< 0.001
p-value [виды]		< 0.05	0.941	0.769	–
Монокарбоновые кислоты	<i>N. sibirica</i>		0.37 ± 0.03		–
Органогетероциклические соединения	<i>N. sibirica</i>	9.44 ± 0.84	9.50 ± 0.94	8.20 ± 0.61	0.166
	<i>N. shoberi</i>	6.39 ± 0.43 ^b	15.5 ± 1.39 ^a	14.9 ± 1.00 ^a	< 0.001
p-value [виды]		< 0.01	< 0.01	< 0.001	
Производные диоксолана	<i>N. sibirica</i>		1.43 ± 0.10		–
Производные фурана, фуранона и пирана	<i>N. sibirica</i>		14.3 ± 1.09 ^a	3.67 ± 0.23 ^b	< 0.001
	<i>N. shoberi</i>		15.7 ± 0.86 ^a	8.59 ± 0.40 ^b	< 0.001
p-value [виды]		–	0.147	< 0.001	–
Спирты, альдегиды, эфиры и их производные	<i>N. shoberi</i>		2.38 ± 0.16 ^a	1.92 ± 0.17 ^b	< 0.05
Стероиды	<i>N. sibirica</i>			2.89 ± 0.16	–
	<i>N. shoberi</i>			2.67 ± 0.24	–
p-value [виды]		–	–	0.257	–
Терпены	<i>N. sibirica</i>	14.8 ± 1.13	12.9 ± 1.15	14.6 ± 1.30	0.196
	<i>N. shoberi</i>	12.0 ± 1.07	13.3 ± 1.14	11.5 ± 1.19	0.213
p-value [виды]		< 0.05	0.735	< 0.05	
Углеводы и их производные	<i>N. sibirica</i>	7.66 ± 0.43 ^c	17.7 ± 1.09 ^a	11.2 ± 0.53 ^b	< 0.001
	<i>N. shoberi</i>		17.4 ± 0.95 ^b	21.7 ± 1.94 ^a	< 0.05
p-value [виды]		–	0.729	< 0.001	–
Фенольные соединения	<i>N. sibirica</i>		5.14 ± 0.32 ^b	32.5 ± 1.79 ^a	< 0.001
	<i>N. shoberi</i>		2.31 ± 0.14 ^b	8.75 ± 0.49 ^a	< 0.001
p-value [виды]		–	< 0.001	< 0.001	–
Флавоноиды	<i>N. sibirica</i>		1.17 ± 0.06		–
	<i>N. shoberi</i>	1.59 ± 0.14 ^a	0.89 ± 0.05 ^b	0.91 ± 0.06 ^b	< 0.001
p-value [виды]		–	< 0.01	–	–
Эфиры фосфорной кислоты	<i>N. sibirica</i>		0.69 ± 0.03		–
	<i>N. shoberi</i>		–	0.58 ± 0.05	–
p-value [виды]		–	–	–	–
Эфиры фталевой кислоты	<i>N. sibirica</i>		6.63 ± 0.37 ^a	5.30 ± 0.35 ^b	< 0.05
	<i>N. shoberi</i>		6.22 ± 0.56	6.36 ± 0.58	0.778
p-value [виды]		–	0.348	0.055	–

Примечания: разные буквы указывают на существенную разницу между стрессовыми условиями в пределах одного растения; жирный шрифт обозначает значительно более высокие значения между растениями в пределах одного стрессового условия.

данном виде стресса), спиртами, альдегидами, эфирами и их производными, углеводами и их производными, эфирами фосфорной кислоты (обнаружены только при дан-

ном виде стресса). Схожая динамика с *N. sibirica* была обнаружена для содержания жирных кислот и их эфиров и терпенов, а именно концентрация жирных кислот и их

эфиров была статистически достоверно ниже контрольных значений ($p < 0,001$) в 4,00 раза, тогда как концентрация терпенов не изменялась вне зависимости от стресса ($p = 0,213$). В отличие от *N. sibirica*, содержание органо-гетероциклических соединений увеличилось в 2,34 раза ($p < 0,001$). После холодового воздействия в метаболомном спектре микроклонов *N. schoberi* мы наблюдали следующие соединения, что можно разделить на две группы: 1) общие с контролем – жирные кислоты и их эфиры, органо-гетероциклические соединения, терпены и флавоноиды; 2) общие с высокотемпературным стрессом – азотсодержащие соединения, производные фурана, фуранона и пирана, фенольные соединения, эфиры фталевой кислоты, спирты, альдегиды, эфиры и их производные, углеводы и их производные (рисунок 3).

Также как при высокотемпературном воздействии, содержание жирных кислот и их эфиров снижалось в 3,31 раза ($p < 0,001$), а содержание органо-гетероциклических соединений увеличилось в 2,43 раза ($p < 0,001$) в отношении контроля, оставаясь на уровне значений при высокотемпературном стрессе. Тогда как концентрация терпенов не изменялась вне зависимости от стресса ($p = 0,213$). Схожая с *N. sibirica* динамика была обнаружена для азотсодержащих соединений, производных фурана, фуранона и пирана, фенольных соединений, в точности: содержание азотсодержащих соединений оставалось на уровне, полученном при высокотемпературном воздействии ($p = 0,678$); концентрация производных фурана, фуранона и пирана была достоверно выше значений, полученных в условиях высокотемпературного стресса (в 1,83 раза; $p < 0,001$); концентрация фенольных соединений была достоверно ниже значений (в 3,79 раза; $p < 0,001$), полученных при высокотемпературном стрессе. Что касается эфиров фталевой кислоты, их содержание осталось на том же уровне, что и при высокотемпературном воздействии ($p = 0,778$).

Таблица 4. Биологически активные свойства метаболитов, выявленных в микроклонах *N. sibirica* и *N. schoberi* в стрессовых условиях культивирования.

БАВ	<i>N. sibirica</i>		<i>N. schoberi</i>		Свойства
	+30°C	+3°C	+30°C	+3°C	
1	2	3	4	5	6
монокарбоновые кислоты					
Butanoic acid, 4-hydroxy-	-	+	-	-	Выполняет функции общего анестетика, агониста рецепторов ГОМК, седативного средства и нейротоксина.
жирные кислоты и их эфиры					
9,12,15-Octadecatrienoic acid, (Z,Z,Z)- 9,12,15-Octadecatrienoic acid, ethyl ester, (Z,Z,Z)-	+	-	+	-	α -Линоленовая кислота относится к незаменимым жирным кислотам, которые должны поступать с пищей для нормальной жизнедеятельности организма человека, и относится к классу омега-3-ненасыщенных жирных кислот
Hexadecanoic acid, ethyl ester	+	+	+	+	Пальмитиновая кислота – предельная жирная кислота. используются в производстве стеарина (смесь со стеариновой кислотой), моющих средств, косметических средств, продуктов питания, смазочных масел и пластификаторов;

Исходя из представленных данных, мы можем говорить о том, что реакция метаболома двух видов нитрарии на температурные стрессы является схожей, но имеются и существенные качественные и количественные различия по компонентному составу, что требует дальнейшего более глубокого изучения.

Безусловно, и в природных, и в лабораторных условиях температура является важнейшим физическим фактором, который влияет на рост и развитие растений посредством обычных термодинамических эффектов. Данные литературы свидетельствуют о том, что любая биологически активная молекула может являться термосенсором [24]. Симптомы стресса обычно проявляются через 48–72 часа после воздействия низких температур, хотя эта продолжительность может варьировать в зависимости от типа растения, стадии роста и индивидуальной восприимчивости к температурному фактору [19]. Наш анализ масс-спектров показал, что выбранные для эксперимента стрессовые условия существенно изменяют доминирующий метаболомный спектр микроклонов *Nitraria in vitro*. В то время как, согласно данным литературы, удаление анионного радикала (O^{2-}) в основном достигается антиоксидантным ферментом супероксиддисмутазой [25], синглетный кислород 1O_2 , являющийся следствием окислительного действия стрессоров, может контролироваться только неферментативными растительными антиоксидантами [26–29]. Активные формы кислорода, образующиеся в результате сбоев электрон-транспортных цепей, в стрессовых условиях способны вызывать изменение уровня полисахаридов, флавоноидов, органических кислот и т.д.

Выявленные нами в стрессовых условиях культивирования микроклонов двух видов нитрарии *in vitro* метаболиты имеют высокую биологическую активность, хозяйственную ценность, и многие из них являются лекарственными веществами [30, 31] (таблица 4).

Octadecanoic acid, ethyl ester	+	-	+	+	Стеариновая кислота – наиболее распространённая в природе жирная кислота, которая входит в состав липидов, триглицеридов жиров животного происхождения, участвует в энергообмене.
9,12-Octadecadienoic acid, ethyl ester	+	+	+	+	Линолевая кислота (цис, цис, -9,12-октадекадиеновая кислота) – одноосновная карбоновая кислота, питательное вещество, относится к незаменимым Омега-6-ненасыщенным жирным кислотам, необходима для нормальной жизнедеятельности организма.
эферы фосфорной кислоты					
Phosphoric acid, diethyl octyl ester	-	+	+	-	Обладает эмульгирующим эффектом, может использоваться в качестве мягкого источника кислоты при разложении красителей, нейтрализован и обладает антикоррозионными свойствами, используется в смазочных материалах в качестве противозадирных присадок (EP-присадки) или противоизносных присадок (AW-присадки), а также действуют как дисперсионные присадки
углеводы и их производные					
Sucrose	+	+	+	+	В фармацевтической промышленности сахароза используется в качестве вспомогательного вещества, т. е. неактивного вещества, которое действует как носитель дозировки для активного препарата. Ее роль в фармацевтике варьируется от добавления объема и консистенции таблеткам до придания неприятным на вкус лекарствам приятного вкуса
α -D-Glucopyranoside, methyl	-	-	+	+	Биологически активное соединение, способное избирательно убивать раковые клетки
Ethyl α -D-glucopyranoside	+	+	+	+	Обладает увлажняющим и кондиционирующим кожу действием, вкусовой компонент ферментированных продуктов, таких как очищенное sake, вино и сладкое sake
азотсодержащие соединения					
2-Propanamine, N-methyl-N-nitroso-	-	+	+	+	Используется для производства текстильных смол, лекарств, пестицидов и других химикатов. Пропиламин включен в список опасных веществ, поскольку он упоминается DOT, NFPA и EPA. Способна вызвать образование опухолей у мышей
3-Dodecyne, 2-amino-2-methyl-	+	+	+	+	Полярный органический растворитель, используется в химических и молекулярно-биологических лабораториях
2-Pyrrolidinecarboxylic acid-5-oxo-, ethyl ester	-	-	+	+	Используется как неприродная аминокислота для синтеза биологически активных молекул и разработки лекарств. Он также используется как антиоксидант, способный снижать окислительный стресс и повреждение клеток. Кроме того, этил D-(-)-пироглутамат также используется в животноводстве, что может улучшить показатели роста и иммунную функцию животных
1,3-Dicyclohexylurea	+	+	+	+	Мощный и селективный ингибитор растворимой эпоксидгидролазы (sEH), снижает артериальное давление в доклинических моделях гипертензии на животных
спирты, альдегиды, эфиры и их производные					
1,4-Butanediol, diacetate	-	-	-	+	

Cyclopropyl carbinol	-	+	+	+	Используется в качестве промежуточного продукта в органическом синтезе, в частности, в производстве бензоконденсированных азотных колец и (гетеро) арилконденсированных циклогекса-1,3-диенов. Имеют важное применение в разработке биологически активных соединений и фармацевтических препаратов
Allyl acetate	-	+	-	-	Используется как ароматизатор в напитках, мороженом, конфетах, выпечке и молочных продуктах. Также используется как средство от тараканов. Ингредиент фармпрепаратов
Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-, acetate	-	+	+	+	Используется в водоразбавляемых внутренних красках и покрытиях
(Hexahydropyrrolizin-3-ylidene)-acetaldehyde	-	-	+	-	Входит в состав алкалоидов
производные фурана, фуранона и пирана					
butyrolactone	-	-	+	+	Антибиотик. Обладает противо-глаукомными, нейропротекторными, противогрибковыми и диуретическими свойствами, а также некоторыми противодиабетическими свойствами
2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl-	-	+	-	-	Применяется в качестве синтетического промежуточного продукта в таких областях, как медицина, сельское хозяйство и косметика. Потенциальный антимикробный и препятствующий образованию биопленки агент
2(5H)-Furanone	-	+	+	+	Потенциальный антимикробный и препятствующий образованию биопленки агент
2,5-Dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone	-	-	+	-	Играет роль ароматизатора, отдушки и растительного метаболита.
2-Hydroxy-gamma-butyrolactone	-	+	+	+	Обладает широким спектром биологической активности, включая противо-глаукомное, антибиотическое, нейропротекторное, противогрибковое и диуретическое действие, а также некоторыми противодиабетическими свойствами. Используется для улучшения спортивных результатов, а также в качестве одурманивающих средств
4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-	+	+	+	+	Соединение, обладающее противовоспалительными и антиоксидантными свойствами
Maltol	-	+	+	+	Улучшает нейронную функцию, смягчая окислительный стресс и апоптоз клеток. Является ингибитором окислительного повреждения нервных клеток и эффективен в профилактике диабетической периферической нейропатии (ДПН). Усилитель вкуса, используется для придания приятного аромата продуктам питания и отдушкам
фенольные соединения					
Acetamide, N-(4-ethoxy-3-hydroxyphenyl)-	+	+	-	-	Обладает анальгезирующим и жаропонижающим действием
Phenol, 2,6-dimethoxy-	-	-	+	-	ароматизатор
Phenol, 2,2'-methylenebis[6-(1,1-dimethylethyl)-4-methyl-	+	+	+	+	Широко используется в сельском хозяйстве в качестве гербицида и инсектицида
Phenol, 3,5-bis(1-pyrrolidinyl)-	-	-	+	-	Средство, используемое для лечения или профилактики сердечных аритмий

2-Methoxy-4-vinylphenol	-	-	-	+	Ароматическое вещество, используемое в качестве вкусовой добавки
Acetamide, N-(4-ethoxy-3-hydroxyphenyl)-	-	-	+	-	Анальгезирующее и жаропонижающее действие
3',5'-Dimethoxyacetophenone	+	-	-		Антиоксидант
флавоноиды					
2H-1-Benzopyran-3,4-diol, 2-(3,4-dimethoxyphenyl)-3,4-dihydro-6-methyl-, (2a,3a,4a)-	-	+	+	+	Антиоксидант. Играет важную роль в предотвращении окислительного стресса в биологических системах, удаляя свободные радикалы
2,9-Dimethyldecahydroquinol-4-one	-	-	-	+	Входит в состав средства для депигментации или осветления кожи, используется для лечения областей дисхромии
органогетероциклические соединения					
2-Pyrrolidinone, 5-(cyclohexylmethyl)-	-	-	-	+	Участвует в метаболизме липидов
2-Methyl-9-β-d-ribofuranosylhypoxanthine	-	-	-	+	Обладает антибактериальной активностью
1-Acetyl-2-methyl-6-(prop-2-enyl)piperidine (N-Acetylpinidine)	+	-	+	+	Может быть использован в синтезе флуоресцентного зонда ближнего инфракрасного диапазона для мониторинга изменений pH в живых клетках. Биологически активных лигандов для получения различных металлических комплексов, включая Co(II), Ni(II), Cu(II) и Zn(II).
2-Pyridineacetic acid, hexahydro-	+	-	+	-	Играет роль человеческого ксенобиотического метаболита. Он является членом пиридинов и монокарбоновой кислоты. используется как важное сырье и промежуточное вещество в органическом синтезе, фармацевтике, агрохимии и красителях. Он также используется как промежуточное вещество в органическом синтезе
Oxazole, 5-hexyl-2,4-dimethyl	+	+	+	+	Психотроп
Pyrazine, 2-ethyl-5-methyl-	-	-	+	-	Ароматизатор. Используется в индустрии рома, косметической промышленности, пищевой промышленности, ароматизаторах, парфюмерной промышленности.
1-(1'-pyrrolidiny)-2-propanone	-	-	+	-	Используется как психостимулятор в рекреационных целях, также используется как средство для увеличения объема крови
стеролы					
Stigmasterol	+	-	+	-	Обладает противораковой, противовоспалительной, противоартритной и противоаллергической активностями
эфир фталевой кислоты					
Dibutyl phthalate	+	+	+	+	Является эндокринным разрушителем и используется в некоторых лекарственных покрытиях, таких как месаламин для лечения воспалительных заболеваний кишечника
производные диоксолана					
1,3-Dioxol-2-one,4,5-dimethyl-	-	+			Используется при изготовлении синтетических химиотерапевтических антибиотиков, таких как пурифлоксацин (P838885)

терпены					
Phytol	+	+	+	+	помогает стимулировать тонус и жизнедеятельность клеток; придает упругость и эластичность коже молочных желез; способствует восстановлению обменных процессов в железистой ткани; обладает рассасывающим, легким обезболивающим действием

Растения, природный ареал которых находится в маргинальных зонах с, как правило, жестким аридным климатом, развивают эффективные механизмы адаптации к разнообразным природно-климатическим стрессам, которые определяют, как процессы роста, так и точные физиологические настройки для выживания и развития в сложных и постоянно меняющихся условиях окружающей среды [32]. Они, являясь генетически обусловленными признаками, в процессе жизни и развития регулируются условиями окружающей среды [33]. В процессе адаптации организм может активировать одни физиологические и биохимические системы или замедлять другие. Этот процесс мы и наблюдали у микроклонов двух видов нитрарии в лабораторных условиях *in vitro*. Если условия произрастания усугубляются стрессами, в том числе, действием высоких или низких температур, защитные реакции стимулируют метаболические изменения. Данные литературы свидетельствуют о том, что растения способны производить до 200 000 уникальных химических структур [34]. Из них только относительно небольшое подмножество бывает в обычных условиях в изобилии в растительных тканях различных видов растений [35]. При этом некоторые виды, особенно те, которые мы называем лекарственными, развили особенно богатое метаболическое разнообразие, как правило, именно в ответ на экологические особенности их среды обитания.

Поэтому результаты, полученные в нашей экспериментальной работе, демонстрирующие расширение метаболомного спектра микроклонов *N. sibirica* Pall. и *Nitraria schoberi* L., при обработке *in vitro* высокими и низкими положительными температурами, безусловно интересны и вносят вклад в понимание механизмов адаптации растений к стрессовым факторам.

Представленные данные можно рассматривать не только как пример реакции биологической системы на неблагоприятные факторы внешней среды, но и как вариант модельной системы, позволяющей сделать шаг на пути разработки эффективных технологий направленного синтеза ценных вторичных растительных метаболитов в лабораторных условиях.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (ИРН: BR21882180).

ЛИТЕРАТУРА

1. Байтенов М. С. Флора Казахстана. Т. 2. Родовой комплекс флоры. – Алматы: Гылым, 2001. – С. 129.

2. Бадгаа Д. Исследование культурных и дикорастущих плодов и ягод Монгольской Народной Республики с целью их рационального использования: Автореф. дис. ...

д-ра с.х наук. М., 1978 – 36 с.

3. Высочина Г. И., Банаев Е. В., Кукушкина Т. А., Шалдаева Т. М., Ямтыров М. Б. Фитохимическая характеристика сибирских видов рода *Nitraria* (Nitrariaceae) // Растительный мир Азиатской России, – 2011. – Т. 2, №8. – С. 108–113.

4. Дикорастущие полезные растения России / Отв. ред. А. Л. Буданцев, Е. Е. Лесновская. – СПб.: Изд-во СПХФА, 2001. – С. 384.

5. Растительные ресурсы России. Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 3. Семейства Fabaceae–Apiaceae / Отв. ред. А. Л. Буданцев. – СПб., М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2010. – С. 106–107;.

6. Bakri M., Yang Y. I., Ling-Dan C., Aisa H. A., MongHeng W. Alkaloids of *Nitraria sibirica* Pall. decrease hypertension and albuminuria in angiotensin II-salt hypertension // Chin. J. Natural Med., – 2014. – Т. 12, № 4. – С. 266–272;.

7. Sharifi-Rad J., Hoseini-Alfatemi S. M., Sharifi-Rad M., Teixeira da Silva J. A. Antibacterial, antioxidant, antifungal and anti-inflammatory activities of crude extract from *Nitraria schoberi* fruits // 3 Biotech., 2015. –Vol. 5(5). – P. 677–684. <https://doi.org/10.1007/s13205-014-0266-1>

8. Osmanov Z., Ibragimov A. A., Yunusov S. Y., Nigmatullaev A., Taizhanov K. Dynamics of the accumulation of the alkaloids of *Nitraria sibirica* // Chem Nat Compd. – 1982. – Т. 18. – С. 372. <https://doi.org/10.1007/BF00580477>

9. Du Q, Xin H, Peng C. Pharmacology and phytochemistry of the *Nitraria* genus (Review) // Mol. Med. Rep., – 2015. – Т. 116 №1. – С.11–20. <https://doi.org/10.3892/mmr.2014.2677>

10. Воронкова М. С., Банаев Е. В., Томошевич М. А. Сравнительное изучение состава и содержания фенольных соединений листьев растений рода *Nitraria* (Nitrariaceae) // Химия растительного сырья, 2017. – № 4. – С. 107–116.

11. Назаров О. М., Ибрагимов А. А. Изучение химических компонентов *Nitraria schoberi* L. // World science: problems and innovations, 2017. – С. 38–40.

12. Abdrakhmanova G. M., Ishmuratova M. Yu., Ivasenko S. A., Losseva I. V., Kukula-Koch W. Histochemical Analysis of Medicinal Raw Material *Nitraria schoberi* L., growing in the Territory of Central Kazakhstan // Research Journal of Pharmacy and Technology, 2023. – Т. 166 №9 – 4188-2. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2023.00685>

13. Banaev E. V., Voronkova M. S., Vysochina G. I., Tomoshevich M. A. Population Structure and Differentiation of the Siberian Representatives of the Genus *Nitraria* L. (Nitrariaceae) Based on the Composition and Content of Phenolic Compounds in Leaves // Contemporary problems

of ecology, – 2015. – T. 86 №6. – C. 735–742.

14. Rao S.R., Ravishankar G.A. Plant cell cultures: Chemical factories of secondary metabolites // *Biotechnology Advances*, – 2002. №20 – C.101-153.

15. Sudharsan C, AboEl-Nil M., Hussain J. Tissue culture technology for the conservation and propagation of certain native plants // *Journal of Arid Environments*, – 2003. – T.54. – C.133-147

16. Zhang Qichang, Li Shuangfu, Qi Qige. Micropropagation of *Nitraria sibirica* // *J. of northeast forestry university*, – 2008. – № 4. – C. 12-28.

17. Qu Qi-ge, Li Shuang-fu, Zhang Qi-chang, Zhang Ying-nan. Multiple Shoots Induction and Rapid Propagation of *Nitraria sibirica* // *Acta Horticulturae Sinica*, – 2007. – №3. – C. 791-792

18. Guo YeHong; Lin HaiMing; Wu Rui. Research on tissue culture and medium of *Nitraria tangutorum* // *Acta Prataculturae Sinica*, – 2009. – № 6. – C. 59-64.

19. Terletskaia, N.V.; Shadenova, E.A.; Litvinenko, Y.A.; Ashimuly, K.; Erbay, M.; Mamirova, A.; Nazarova, I.; Meduntseva, N.D.; Kudrina, N.O.; Korbozova, N.K.; et al. Influence of Cold Stress on Physiological and Phytochemical Characteristics and Secondary Metabolite Accumulation in Microclones of *Juglans regia* L. *Int. J. Mol. Sci.* – 2024, – №25, – 4991. <https://doi.org/10.3390/ijms25094991>

20. Бутенко Р. Г. Культура изолированных тканей и физиология морфогенеза растений. М.: Наука, 1964. – 272 с.

21. Калинин Ф.Л., Сарнацкая В.В., Полищук В.Е. Методы культуры тканей в физиологии и биохимии растений. Киев.: «Наукова думка», 1980, – 486 с.

22. Murashige, T. and Skoog, F. (1962) A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Plant Physiology*, – №15, – C. 473-497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052>.

23. McCown, B.H. and Lloyd, G. (1981) Woody Plant Medium (WPM)—A Mineral Nutrient Formulation for Microculture of Woody Plant Species. *HortScience*, – №16, – C.453-453

24. Markovskaya E.F., Shibaeva T.G. Low temperature sensors in plants: Hypotheses and assumptions // *Biol. Bull.* – 2017. – T. 44, № 2. – C. 150–158.

25. Moustaka J. et al. Leaf Age-Dependent Photoprotective and Antioxidative Response Mechanisms to Paraquat-Induced Oxidative Stress in *Arabidopsis thaliana*: 6 // *Int. J. Mol. Sci. Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 2015. – T. 16, № 6. – C. 13989–14006.

26. Majer P. et al. Singlet oxygen scavenging by leaf flavonoids contributes to sunlight acclimation in *Tilia platyphyllos* // *Environ. Exp. Bot.* – 2014. – T. 100. – C. 1–9.

27. Liu S. et al. Antioxidants and unsaturated fatty acids are involved in salt tolerance in peanut // *Acta Physiol. Plant.* – 2017. – T. 39, № 9. – C. 207.

28. Naikoo M.I. et al. Chapter 9 - Role and Regulation of Plants Phenolics in Abiotic Stress Tolerance: An Overview // *Plant Signaling Molecules* / ed. Khan M.I.R. et al. – Woodhead Publishing, 2019. – C. 157–168.

29. Iba K. Acclimative response to temperature stress in higher plants: Approaches of Gene Engineering for Temperature Tolerance // *Annu. Rev. Plant Biol. Annual Reviews* – 2002.

30. Trchounian A., Petrosyan M., Sahakyan N. Plant Cell Redox Homeostasis and Reactive Oxygen Species // *Redox State as a Central Regulator of Plant-Cell Stress Responses* / ed. Gupta D.K., Palma J.M., Corpas F.J. – Cham: Springer International Publishing, 2016. – C. 25–50.

31. Yurttas H. c., Schafer H. w., Warthesen J. j. Antioxidant Activity of *Nontocopherol Hazelnut* (*Corylus* spp.) Phenolics // *J. Food Sci.* – 2000. – T. 65, № 2. – C. 276–280.

32. Atkinson N.J., Urwin P.E. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field // *J. Exp. Bot.* – 2012. – T. 63, № 10. – C. 3523–3543.

33. Edreva A.M., Velikova V.B., Tsonev T.D. Phenylamides in plants // *Russ. J. Plant Physiol.* – 2007. – T. 54, № 3. – C. 287–301.

34. Tyunin A.P. et al. The effect of explant origin and collection season on stilbene biosynthesis in cell cultures of *Vitis amurensis* Rupr. // *Plant Cell Tissue Organ Cult. PCTOC.* – 2019. – T. 136, № 1. – C. 189–196.

35. Solar A. et al. Seasonal variations of selected flavonoids, phenolic acids and quinones in annual shoots of common walnut (*Juglans regia* L.) // *Plant Sci.* – 2006. – T. 170, № 3. – C. 453–461.

ӨОК 581.143.6

N. SIBIRICA* PALL ЖӘНЕ *NITRARIA SCHOBERI* L. МИКРОКЛОНДАРЫНЫҢ МЕТАБОЛОМЫНА *IN VITRO* ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ЖОҒАРЫ ЖӘНЕ ТӨМЕН ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ СТРЕССТІҢ ӘСЕРІ.*Н.В.Терлецкая^{1,2*}, Н.К. Корбозова^{1,2}, Д. Дайырбекова^{1,2}, Н.О. Кудрина^{1,2}, А. Мамирова^{1,2}, К. Ашимулы^{1,2}, Э.А. Шаденова¹**¹ҚР ҒЖБМ Генетика және физиология институты, 050090 Қазақстан, Алматы, әл-Фараби, 93²әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, 050090 Қазақстан, Алматы, әл-Фараби, 72* Корреспондент автор: teni02@mail.ru**ТҮЙІН**

N. sibirica Pall микроклондары және *Nitraria schoberi* L. *in vitro* метаболомына ұсынылған жоғары температура мен суық стресстің әсерін зерттеу нәтижелері. Газ хроматографиясы – масс-спектрометрия (GC–MS) талдауларына сәйкес, зерттелетін түрлердің метаболомикалық спектрлерінде стресстен туындаған елеулі өзгерістер анықталды. Бұл нәтижелер метаболомиканы дамыту және абиотикалық стресс факторларына өсімдіктердің жауаптары туралы түсінікті жақсарту үшін маңызды. Сонымен қатар, зерттеу нәтижелері осы процестердегі жеке метаболиттердің рөлін анықтауға көмектеседі, бұл *in vitro* жағдайында құнды екіншілік метаболиттерді мақсатты индукциялау стратегияларын әзірлеу үшін маңызды.

Кілтті сөздер: *N. sibirica* Pall., *Nitraria schoberi* L., *in vitro*, микроклоны, температурный стресс, метаболом

UDC: 581.143.6

EFFECT OF HIGH- AND LOW-TEMPERATURE STRESS ON THE METABOLOME OF *N. SIBIRICA* PALL. AND *NITRARIA SCHOBERI* L. MICROCLONES *IN VITRO***N.V. Terletskaia^{1,2*}, N.K. Korbozova^{1,2}, D. Dayyrbekova^{1,2}, N.O. Kudrina^{1,2}, A. Mamirova^{1,2}, K. Ashimuly^{1,2}, E.A. Shadenova¹**¹Institute of Genetic and Physiology, Almaty, Kazakhstan, 050090, Kazakhstan, Almaty, al-Farabi av. 93²Al-Farabi Kazakh National University, 050090, Kazakhstan, Almaty, al-Farabi av. 72*Corresponding author: teni02@mail.ru**ABSTRACT**

The results of an *in vitro* study of the effects of high temperature and cold stress on the metabolome of *N. sibirica* Pall. and *Nitraria schoberi* L. microclones are presented. Gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) analysis revealed significant stress-induced changes in the metabolome spectra of the studied species. These results are important for the development of metabolomics and for improving our understanding of plant responses to abiotic stress factors. Furthermore, the study's results help determine the role of individual metabolites in these processes, which is important for developing strategies for the targeted induction of valuable secondary metabolites *in vitro*.

Keywords: *Nitraria sibirica* Pall., *Nitraria schoberi* L., *in vitro*, microclones, temperature stress, metabolome