

А. С. Кирюхина¹, Т. С. Лозовая¹, С. Н. Адамович²

ВЛИЯНИЕ ПРОТАТРАНОВ НА РАЗВИТИЕ КЛЕТОК
И БИОСИНТЕЗ ВНУТРИКЛЕТОЧНОГО БЕЛКА ДРОЖЖЕЙ
CANDIDA ETHANOLICA ВКМ У-2300 Т

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия

²Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского СО РАН, г. Иркутск, Россия
Поступила в редакцию 20.03.2024 г.
Принята к публикации 25.04.2024 г.
doi: 10.5922/vestniknat-2024-2-8

118

Для цитирования: Кирюхина А. С., Лозовая Т. С., Адамович С. Н. Влияние протатранов на развитие клеток и биосинтез внутриклеточного белка дрожжей *Candida Ethanolica* ВКМ У-2300 Т // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные и медицинские науки. 2024. №2. С. 118 – 130. doi: 10.5922/vestniknat-2024-2-8.

Применение синтетических стимуляторов роста является перспективным направлением повышения продуктивности процесса ферментации. К достоинствам таких соединений можно отнести минимальный расход, стабильность при хранении, невысокую стоимость по сравнению с натуральными стимуляторами роста. Целью работы стало изучение влияния протатранов на развитие клеток и биосинтез внутриклеточного белка для дрожжей *Candida ethanolica*. Установлено, что результат влияния протатранов зависит от концентраций данных соединений, а также от способа их применения (раздельного либо совместного). Положительное воздействие синтетических стимуляторов на развитие клеток и накопление внутриклеточного белка выявлено в случае их совместного нахождения в составе питательной среды. Таким образом, изученные протатраны могут быть использованы для повышения эффективности стадии ферментации дрожжей *Candida ethanolica*. Также обнаружены такие характерные особенности воздействия изученных стимуляторов как скачкообразность, наличие нескольких пиков максимума и минимума, наличие негативного влияния. Причины разнонаправленного воздействия протатранов на процессы биосинтеза в клетке дрожжей требуют дальнейшего изучения.

Ключевые слова: протатраны, *Candida ethanolica*, клетки, биомасса, белок, продуктивность

Введение

Микроорганизмы имеют колоссальное значение для хозяйственной деятельности человека. Биомасса микроорганизмов и / или продукты ее жизнедеятельности применяются в самых разнообразных целях: для по-



лучения пищевых продуктов или лекарственных средств, для удаления загрязнений из окружающей среды или добычи полезных ископаемых, для получения сельскохозяйственных биоудобрений, биоинсектицидов, служат источником энергии, биотоплива, компонентов для небιологических отраслей промышленности и др. [1–4].

В производственном процессе получения из клеток микроорганизмов ценных компонентов или биомассы ключевой стадией является ферментация. От скорости и продуктивности данной стадии зависит, насколько эффективным будет весь сложный производственный процесс, основанный на биохимических реакциях клеток [5–7].

Эффективность ферментации зависит от условий, в которых находится продуцент, и может быть повышена путем использования, например, различных биостимуляторов. В их числе могут быть такие компоненты питательной среды, как факторы роста (аминокислоты, витамины, органические кислоты), экстракты растительного, животного или микробиологического происхождения (кукурузный, мясной, дрожжевой экстракты, автолизаты), искусственно синтезированные органические соединения. Такой подход часто оказывается эффективным, но при этом большинство из перечисленных компонентов питательной среды отличаются относительно большим расходом, высокой стоимостью, нестабильностью химического состава [8; 9].

Как альтернативу привычным биостимуляторам и как способ снижения расходов при проведении ферментации можно рассмотреть такие соединения как протатраны. Это одна из разновидностей атранов (биологически-активных веществ), которые синтезируются искусственно путем взаимодействия биогенных аминов и биологически активных аналогов фитогормонов. Данные соединения хорошо растворяются в воде, устойчивы при хранении, нетоксичны ($LD_{50} = 1300-6000$ мг/кг). Воздействие прототранов уже изучено на нескольких биологических объектах, на которые они оказывают в основном положительное влияние, стимулируя рост или синтез ценных метаболитов. В сравнении с другими стимуляторами роста протатраны дешевле, так как применяются и действуют в значительно более низких концентрациях $1 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-8}$ % масс [10–12].

Эффективность микробиологического производства также в значительной степени зависит от стоимости сырья и степени его переработки. Продуценты, способные расти на дешевом сырье, предпочтительны, в связи с чем определенный интерес представляют дрожжи *Candida ethanolica*. Они обладают способностью к росту на этаноле, дешевом сырье, не содержащем примесей, хорошо растворяющемся в воде [13–15]. Данный вид, кроме того, является перспективным источником кормового белка (SCP), интерес к которому значительно вырос в последние годы в связи с растущим спросом на белки, альтернативные растительным и животным [16; 17]. Однако дрожжи *Candida ethanolica* не применяются для получения кормового белка, хотя их пробовали использовать за рубежом для уменьшения концентрации в пище канцерогена этилкарбамата (EC) [18], для изготовления сброженных соков, пива, сидра, маниоки [19–21] или в составе биоудобрений [22]. Вероятно, причиной этого является недостаточное изучение возможностей данных



дрожжей. Более глубокое их исследование позволит расширить спектр полезных продуцентов в биотехнологии, а также создаст возможность для получения новых целевых продуктов с использованием этанола как субстрата.

В связи с вышеизложенным цель настоящей работы состояла в изучении влияния некоторых соединений из ряда протатранов на образование внутриклеточного белка дрожжей *Candida ethanolica*.

Материалы и методики исследования

В качестве продуцента использовали дрожжи *Candida ethanolica* Rybarova, Stros et Kockova-Kratochvilova 1980 штамм ВКМ У-2300 Т из коллекции Института биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г. К. Скрыбина РАН.

Дрожжи культивировали в течение 40 ч в колбах Эрленмейера на синтетической питательной среде следующего состава, г/л [15]: $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ – 10,0; K_2HPO_4 – 10,0; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,7; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,0125; $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,0125; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,0125; NaCl – 0,0063, pH среды 7,0, режим стерилизации – 1 атм в течение 15 мин. В качестве источника углерода для дрожжей использовали этанол в количестве 1,5 % об. Аэробные условия создавали культивированием в инкубационном шейкере «CERTOMAT BS-1» (Sartorius Stedim Biotech, Германия). Корректировку pH проводили внесением в питательную среду стерильных растворов 1 % H_2SO_4 и 1 % Na_2CO_3 .

В качестве стимуляторов проверены протатраны **Пр1** и **Пр2**, синтезированные на основе биогенных этаноламинов и арилхалькогенилуксусных кислот (табл. 1) в Иркутском институте химии им. А. Е. Фаворского. Растворы данных химических соединений стерилизовали методом вакуумной мембранной фильтрации (диаметр пор мембраны 0,1 мкм) и вносили в питательную среду перед началом культивирования дрожжей как по отдельности, так и вместе в концентрациях $1 \cdot 10^{-6}$, $1 \cdot 10^{-7}$, $1 \cdot 10^{-8}$ % масс.

Таблица 1

Структуры использованных протатранов

Комплексное соединение	Название вещества	Структурная формула
Протатран 1	Трис-(2-гидроксиэтил) аммоний-4-хлорфенил-сульфанилацетат	
Протатран 2	Трис-(2-гидроксиэтил) аммоний-4-хлорфенил-сульфонилацетат	



Действие протатранов на развитие клеток изучали по следующим критериям: по количеству клеток (путем измерения оптической плотности на фотометре КФК-3 (ЗОМЗ, Россия) при длине волны 540 нм и длине оптического пути 10 мм); по удельной скорости роста и периоду генерации [23]. Содержание биомассы определяли гравиметрическим методом после высушивания фильтров до постоянного значения массы [24]. Для определения внутриклеточного белка использовали метод, в основе которого лежит взаимодействие аминокислотной группы белка с сульфогруппой красителя. В качестве красителя использовали амидо-черный 10В. Количество белка определяли по изменению оптической плотности на фотометре КФК-3 (ЗОМЗ, Россия) при длине волны 615 нм и длине оптического пути 10 мм с использованием калибровочного графика [25].

Результаты исследований обработаны методом вариационной статистики на персональном компьютере с использованием программы Microsoft Excel, представлены в виде средней арифметической из трех повторностей, стандартной ошибки среднего; статистическую значимость различий оценивали по t-критерию Стьюдента ($p < 0,05$).

Результаты исследования и обсуждение

Ранее было показано, что дрожжи *Candida ethanolica* могут быть использованы как продуценты кормового белка [17]. Обычно его синтез в клетках микроорганизмов сопровождается увеличением их количества и биомассы. Поэтому основными параметрами для оценки влияния стимуляторов роста на данный штамм выбраны такие показатели как количество клеток, биомасса, количество внутриклеточного белка. Протатраны **Пр1** и **Пр2** вносили в питательную среду в определенной концентрации как по отдельности, так и вместе с целью выяснить, могут ли они менять свое воздействие и влиять друг на друга. Так как условия, в которых находятся дрожжи, при периодической ферментации меняются, то оценку влияния протатранов проводили в динамике, отбирая пробы в течение 40 ч через определенные промежутки времени.

Исследования показали, что **Пр1** и **Пр2** схожим образом влияют на показатели роста дрожжей.

Во время анализа процесса образования клеток дрожжей оказалось, что в присутствии изученных концентраций воздействие **Пр1** на данный параметр имело скорее негативный характер в сравнении с контролем. Так, кривые роста дрожжей под его влиянием отличались удлинением лаг-фазы на 10–13 ч. Также они имели скачкообразный характер, причем минимальные значения кривых иногда оказывались ниже исходного количества клеток (2 и 4 ч, концентрации 10^{-6} и 10^{-8} % масс). Незначительное повышение количества клеток было отмечено в период с 2 до 12 ч на 2,8 % (для концентрации 10^{-7} % масс); а также после 36 ч на 3,6–6,0 % (концентрации 10^{-6} и 10^{-8} % масс) (рис. 1).

Похожая картина наблюдалась при внесении в питательную среду **Пр2**. Более того, динамика образования клеток дрожжей в опытных колбах приобрела более размашистую амплитуду; в течение всего периода

культивирования уровень клеток в основном не достигал уровня контроля (за исключением концентрации 10^{-7} % масс, с 2 до 12 ч — был немного выше контроля) (рис. 2).

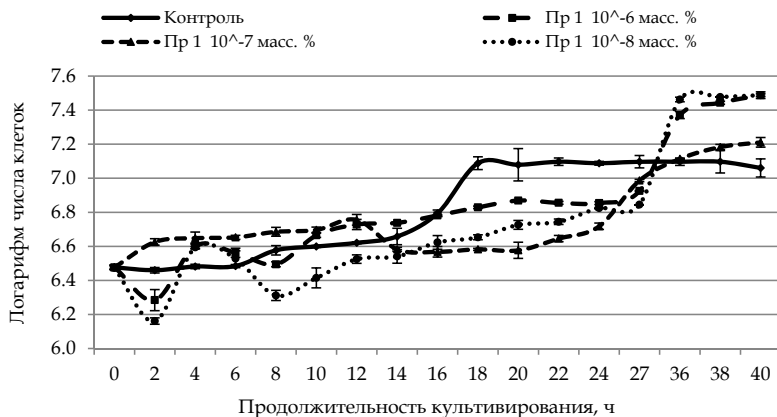


Рис. 1. Влияние Пр1 на динамику накопления клеток дрожжей

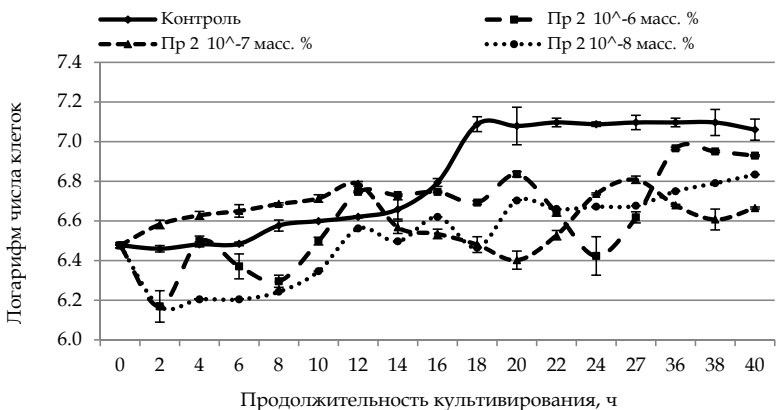


Рис. 2. Влияние Пр2 на динамику накопления клеток дрожжей

В случае внесения в питательную среду одновременно двух протатранов их присутствие оказывало разнонаправленное воздействие на клетки (рис. 3). Положительный эффект заключался в том, что сглаживалась скачкообразность S-кривых в случае всех концентраций; в результате прослеживались первые три стадии роста клеток. Кроме того, в концентрации 10^{-7} % масс не наблюдалось удлинения лаг-фазы: увеличение количества клеток началось в тот же период, что и в контроле, с 14 ч. При этом отмечалось более значительное повышение количества клеток (6,2–10,9 % выше контроля). Из таблицы 2 видно, что удельная скорость роста в данной концентрации увеличивается в 1,97 раз, а период генерации — в 3 раза. Отрицательное воздействие двух протатранов проявилось в удлинении лаг-фазы и едва заметного прироста клеток в конце культивирования в остальных концентрациях.

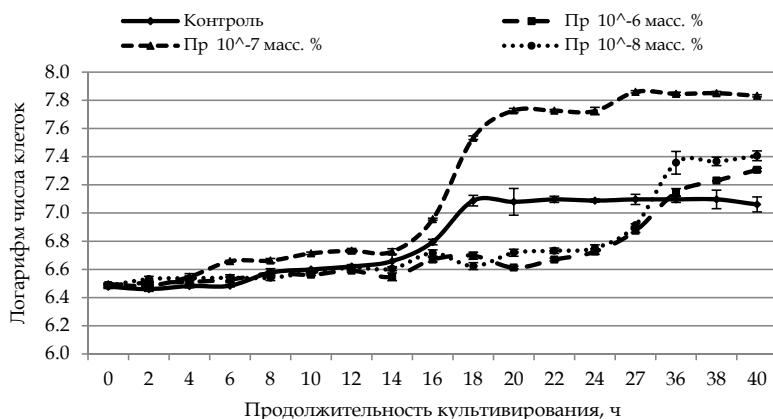


Рис. 3. Влияние одновременного использования Пр1 и Пр2 1 и 2 на динамику накопления клеток дрожжей

Таблица 2

Влияние одновременного использования Пр1 и Пр2 на показатели роста дрожжей

Концентрация протатрана	Удельная скорость роста, $\mu, \text{ч}^{-1}$	Период генерации, g, ч
Контроль	$0,34 \pm 0,07$	$2,06 \pm 0,22$
10^{-6} % масс	$0,07 \pm 0,07$	$10,04 \pm 0,07$
10^{-7} % масс	$0,67 \pm 0,018$	$1,04 \pm 0,003$
10^{-8} % масс	$0,11 \pm 0,021$	$6,3 \pm 1,06$

Применение Пр1 и Пр2 по отдельности также не оказало положительного воздействия на образование биомассы: снижение ее уровня ниже уровня контроля оказалось общим признаком для всех изученных концентраций; скачкообразность кривых также сохранялась (рис. 4, 5).

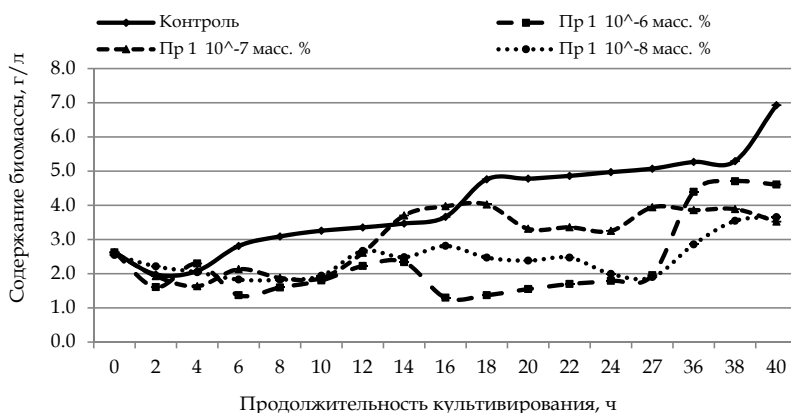


Рис. 4. Влияние Пр1 на накопление биомассы дрожжей

Рис. 5. Влияние **Pr2** на накопление биомассы дрожжей

Однако при одновременном использовании **Pr1** и **Pr2** они оказывали положительное воздействие, но только в концентрации 10^{-7} масс (рис. 6). Так, накопление биомассы начиналось на 4 ч раньше контроля, прирост биомассы составлял 24,4–34,8 %, скачкообразность кривых уменьшалась.

Рис. 6. Влияние одновременного использования **Pr1** и **Pr2** на накопление биомассы дрожжей

Добавление стимуляторов в питательную среду повлияло на синтез белка в дрожжах в основном положительным образом (в сравнении с количеством клеток). Так, **Pr1** и **Pr2**, вносимые по отдельности, значительно усиливали синтез белка, особенно в концентрации 10^{-6} масс. Причем в контроле, начиная с 4 ч культивирования, процесс синтеза белка постепенно затухал, тогда как наличие **Pr1** и **Pr2** продлеvalo биосинтез, а также позволяло достичь более высокого его уровня (на 16,4–24,1 %). Однако скачкообразность кривых при этом сохранялась, поэтому в некоторые периоды культивирования уровень белка снижался (рис. 7, 8).

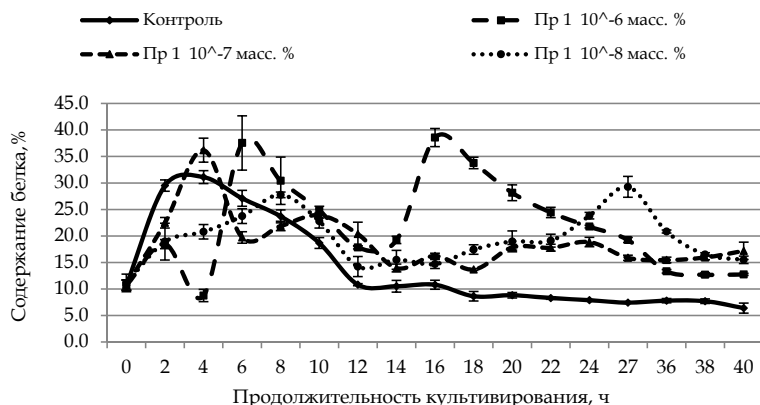


Рис. 7. Влияние Пр1 на накопление белка в клетках дрожжей

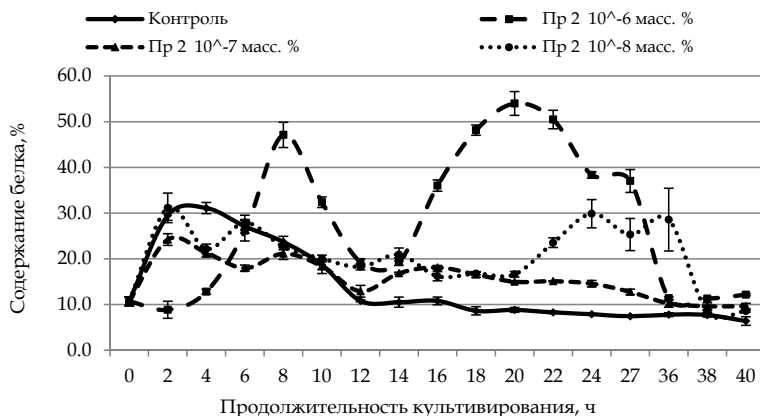


Рис. 8. Влияние Пр2 на накопление белка в клетках дрожжей

Одновременное присутствие стимуляторов в питательной среде сгладило скачкообразность кривых накопления белка, однако не позволило достичь его контрольного уровня белка в клетках дрожжей или продлить период синтеза (рис. 9), то есть положительного воздействия не оказало.

Наиболее продуктивной концентрацией из всех изученных оказалась микроконцентрация 10⁻⁷ % масс – она чаще остальных приводила к значительному накоплению клеток (на 6,2–10 %), удельной скорости (в 1,97 раз), периода генерации (в 3 раза), биомассы (на 24,4–34,8 %). Для накопления белка наиболее эффективной концентрацией оказалась 10⁻⁶ % масс (на 16,4–24,1 %).

То есть изученные соединения оказывали как положительное, так отрицательное воздействие на дрожжи.

Положительным оно было в случае накопления клеток и биомассы при условии одновременного присутствия протатранов в составе пита-

тельной среды. А при раздельном внесении они положительно влияли только на синтез белков. Во всех остальных вариантах концентраций и внесения эффект от их присутствия был негативным.



Рис. 9. Влияние одновременного использования **Pr1** и **Pr2** на накопление белка в клетках дрожжей

Особенностью протатранов оказалось скачкообразная динамика накопления различных компонентов клетки (при раздельном применении), которая сглаживалась при одновременном применении **Pr1** и **Pr2**.

Положительное воздействие протатранов можно объяснить благоприятным сочетанием в их молекулах нескольких эффектов: двойным воздействием биологически активных этаноламинов и арилхалькогенилуксусных кислот, а также быстрым проникновением в живую клетку за счет водородных связей и диполь-дипольного взаимодействия с полярными группами белков и липидов [26; 27].

Отрицательное воздействие, а также его скачкообразность, вероятно, можно объяснить слишком интенсивным воздействием данных веществ на дрожжи при внесении их в определенных концентрациях, возможно, из-за строения клеточной стенки дрожжей, особенностей их метаболизма, состава питательной среды [28].

При этом в целом воздействие **Pr1** мало отличалось от воздействия **Pr2**, что, вероятно, обусловлено схожестью их строения.

Вывод

Таким образом, синтетические биологически активные вещества – протатраны **Pr1** и **Pr2** – при внесении в питательную среду разнонаправленно влияли на биосинтез компонентов клетки дрожжей *Candida ethanolica*. Это выразалось в том, что на ряд показателей они воздействовали положительно, а на другие компоненты – негативно. Положительный или отрицательный эффект зависел как от концентраций, так и от способа применения – раздельного или совместного. При анализе их влияния на динамику образования компонентов дрожжей также



наблюдалась скачкообразность. То есть они могут быть использованы для повышения эффективности стадии ферментации *Candida ethanolica*, но при определенных условиях их внесения. Причинами разнонаправленного воздействия протатранов на биосинтез в клетке дрожжей и его скачкообразности могут быть особенности вида или штамма, состав питательной среды, особенности строения протатранов, взаимодействие комплексов с компонентами среды. Данные явления и их причины требуют дальнейшего изучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области (проект № 23-26-10007). Исследования частично проводились на оборудовании Байкальского аналитического центра коллективного пользования СО РАН.

Список литературы

1. *Иванищев В. В.* От биотехнологии к нанобиотехнологии // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2008. №2. С. 208 – 215.
2. *Оанесянц Л. А., Федоренко Б. Н.* Перспективы организации инновационных биотехнологий // Пищевая промышленность. 2015. №5. С. 51 – 54.
3. *Кулишов Б. А., Туан Л. А.* Применение технологии твердофазной ферментации в производстве биопродуктов // Вестник казанского технологического университета. 2014. Т. 17, №23. С. 258 – 261.
4. *Красникова Л. В., Сибирицев В. С., Скобелева И. И.* Биотехнология функционального кисломолочного продукта с разным соотношением пробиотических культур // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2016. №35 (61). С. 60 – 63.
5. *Максимова В. О.* Стадия ферментации в биотехнологии // Science Time. 2016. №12 (36). С. 407 – 411.
6. *Руденко А. П.* Особенности практического использования биореакторов нового поколения // Хвойные бореальной зоны. 2018. Т. 36, №3. С. 279 – 282.
7. *Филиппова А. С.* Анализ различных типов процесса ферментации и аппаратов для ее реализации // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. №7. С. 396 – 402. <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2022-7-396-403>.
8. *Paalme T., Kevvai K., Vilbaste A. et al.* Uptake and accumulation of B-group vitamins in *Saccharomyces cerevisiae* in ethanol-stat fed-batch culture // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2014. Vol. 30. P. 2351 – 2359. <https://doi.org/10.1007/s11274-014-1660-x>.
9. *Пермякова Л. В.* Классификация стимуляторов жизненной активности дрожжей // Техника и технология пищевых производств. 2016. №3 (42). С. 46 – 55.
10. *Поморцев А. В., Дорофеев Н. В., Адамович С. Н., Оборина Е. Н.* Влияние протатранов на физиологические параметры яровой пшеницы при хлоридном засолении // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12, №3 (42). С. 485 – 490. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-3-485-490>.
11. *Глызина О. Ю., Адамович С. Н., Белых О. А. и др.* Перспективы использования синтетических биостимуляторов при развитии аквакультуры сиговых рыб озера Байкал // Известия Байкальского государственного университета. 2020. Т. 30, №3. С. 463 – 471. [https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30\(3\)](https://doi.org/10.17150/2500-2759.2020.30(3)).



12. Привалова Е.А., Тигунцева Н.П., Адамович С.Н. и др. Трис-(2-гидроксиэтил)аммониевые ионные жидкости – новые биостимуляторы роста спиртовых дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. №11 (106). С. 136–141.

13. Reihani S. F. S., Khosravi-Darani K. Influencing factors on single cell protein production by submerged fermentation: A review // Electron Journal. Biotechnology. 2019. Vol. 37. P. 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2018.11.005>.

14. Ugalde U. O., Castrillo J. I. Single cell proteins from fungi and yeasts // Applied Mycology and Biotechnology. 2002. Vol. 2. P. 123–149. [https://doi.org/10.1016/S1874-5334\(02\)80008-9](https://doi.org/10.1016/S1874-5334(02)80008-9).

15. Бравичева Р.Н., Сатрутдинов А.Д., Благодатская В.М. и др. Штамм дрожжей *Candida ethanolica* – продуцент биомассы : пат. Рос. Федерации 2061751. №RU2061751C1; заявл. 13.04.92 ; опубл. 10.06.96. Бюл. №16.

16. Rasool K., Hussain S., Shahzad A. et al. Comprehensive insights into sustainable conversion of agricultural and food waste into microbial protein for animal feed production // Reviews in environmental science and bio-technology. 2023. <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09651-6>.

17. Ribeiro G. O., Rodrigues L. A. P., Santos T. B. S. et al. Innovations and developments in single cell protein: Bibliometric review and patents analysis. Front. Microbiol. 2023. №13. P. 1093464. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1093464>.

18. Xue Siyu, Dong N., Xiong K. et al. The Screening and Isolation of Ethyl-Carbamate-Degrading Strains from Fermented Grains and Their Application in the Degradation of Ethyl Carbamate in Chinese Baijiu // Foods. 2023. Vol. 12. P. 1–12. <https://doi.org/10.3390/foods12152843>.

19. Penido F. C. L., Piló F. B., Sandes S. H. de C. et al. Selection of starter cultures for the production of sour cassava starch in a pilot-scale fermentation process // Brazilian Journal of Microbiology. 2018. Vol. 49. Iss. 4. P. 823–831. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2018.02.001>.

20. Coulibaly W. H., Jean-Paul Bouatenin K. M., Kouamé A. K. et al. Use of non-*Saccharomyces* yeast strains as starter cultures to enhance fermented mango juice production // Scientific African. 2020. Vol. 7. P. e00226. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00226>.

21. Tyakht A., Kopeliovich A., Klimenko N. et al. Characteristics of bacterial and yeast microbiomes in spontaneous and mixed-fermentation beer and cider // Food Microbiology. 2021. Vol. 94. P. 103658. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103658>.

22. Raimi A., Roopnarain A., Chirima G. J., Adeleke R. Insights into the microbial composition and potential efficiency of selected commercial biofertilizers // Heliyon. 2020. Vol. 6. Iss.7. P. e04342. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04342>.

23. Maier R. M., Pepper I. L., Gerba C. P. Bacterial Growth // Environmental Microbiology, 2nd ed. Elsevier, 2009. P. 37–54. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370519-8.00003-1>.

24. Sonnleitner B., Locher G., Fiechter A. Biomass determination. J Biotechnol. 1992. №25 (1-2). P. 5–22. [https://doi.org/10.1016/0168-1656\(92\)90107-k](https://doi.org/10.1016/0168-1656(92)90107-k).

25. Аешина Е.Н., Плынская Ж.А., Величко Н.А. Аминокислотный состав белков надземной части *Orthilia secunda* (L.) // Химия растительного сырья. 2009. №1. С. 137–140.

26. Pavlova O. N., Adamovich S. N., Novikova A. S. et al. Protatranes, effective growth biostimulants of hydrocarbon-oxidizing bacteria from Lake Baikal, Russia // Biotechnol Rep (Amst). 2019. №20 (24). P. e00371. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00371>.



27. Мирскова А. Н., Адамович С. Н., Мирсков Р. Г., Воронков М. Г. Фармакологически активные соли и ионные жидкости на основе 2-гидроксиэтиламинов, арилхалькогенилуксусных кислот и эссенциальных металлов // Известия Академии наук. Сер. химическая. 2014. №9. С. 1869 – 1883.

28. Seter M., Thomson M. J., Stoimenovski J. et al. Dual active ionic liquids and organic salts for inhibition of microbially influenced corrosion // Chem Commun (Camb). 2012. №48 (48). P. 5983 – 5985. <https://doi.org/10.1039/c2cc32375c>.

Об авторах

Александра Сергеевна Кирюхина – аспирант, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия.

E-mail: alexandra.kirukhina@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0009-0305-6556>

Татьяна Сергеевна Лозовая – канд. биол. наук, доц., Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия.

E-mail: tnike75@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0002-1905-6250>

Сергей Николаевич Адамович – д-р хим. наук, ведущ. науч. сотр., Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского Сибирского отделения РАН, Россия.

E-mail: mir@iriocch.irk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1276-924X>

A. S. Kiryukhina¹, T. S. Lozovaya¹, S. N. Adamovich²

EFFECT OF PROTATRANES ON CELL DEVELOPMENT AND BIOSYNTHESIS OF INTRACELLULAR PROTEIN IN THE YEAST CANDIDA ETHANOLICA BKM Y-2300 T

¹ Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

² A. E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

Received 20 March 2024

Accepted 25 April 2024

doi: 10.5922/vestniknat-2024-2-8

To cite this article: Kiryukhina A.S., Lozovaya T.S., Adamovich S.N., 2024, Effect of protatranes on cell development and biosynthesis of intracellular protein in the yeast *Candida ethanolica* BKM Y-2300 T, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural and Medical Sciences*, №2. P. 118 – 130. doi: 10.5922/vestniknat-2024-2-8.

*The use of synthetic growth stimulants is a promising approach to enhancing the productivity of the fermentation process. The advantages of such compounds include minimal consumption, stability during storage, and lower cost compared to natural growth stimulants. The aim of this study was to investigate the effects of protatrans on cell development and intracellular protein biosynthesis in the yeast *Candida ethanolica*. It was established that the*



effects of protatrans depend on the concentrations of these compounds as well as the method of their application (separate or combined). Positive effects of synthetic stimulants on cell development and intracellular protein accumulation were observed when they were jointly present in the nutrient medium. Thus, the studied protatrans can be used to improve the efficiency of the fermentation stage of *Candida ethanolica* yeast. Additionally, characteristic features of the stimulants' effects, such as abrupt changes, the presence of multiple peaks of maxima and minima, and negative impacts, were identified. The reasons for the diverse effects of protatrans on biosynthesis processes in yeast cells require further research.

Keywords: protatranes; *Candida ethanolica*; cells; biomass; single cell protein; productivity

The authors

Aleksandra S. Kiryukhina, Postgraduate Student, Irkutsk National Research Technical University, Russia.

E-mail: alexandra.kirukhina@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0009-0305-6556>

Dr Tatyana S. Lozovaya, Associate Professor, Irkutsk National Research Technical University, Russia.

E-mail: tnike75@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0002-1905-6250>

Prof Sergei N. Adamovich, Leading Researcher, A. E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry SB RAS, Russia.

E-mail: mir@irioch.irk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1276-924X>