

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ НА СПЕКТРАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ КАРОТИНОИДОВ У ДРОЖЖЕЙ РОДОВ RHODOTORULA, SPOROBOLOMYCES, CYSTOBASIDIUM¹

Грибанова Екатерина Александровна

Аспирант, старший преподаватель, Белорусский
Государственный Университет, г. Минск, Беларусь
lika-den98@mail.ru

INFLUENCE OF NUTRIENT MEDIUM COMPOSITION ON THE SPECTRAL PROFILE OF CAROTENOIDS IN YEASTS OF THE GENERA RHODOTORULA, SPOROBOLOMYCES, CYSTOBASIDIUM

E. Gribanova

Summary. In the presented study, the spectral profile of carotenoid pigments produced by psychrotolerant yeasts of the genera *Rhodotorula* (3 strains), *Sporobolomyces* (6 strains), and *Cystobasidium* (2 strains) was studied. The analysis showed that the composition of the nutrient medium affects not only the amount of synthesized pigments, but also their profile. It was noted that the total yield of carotenoids during growth in a medium with the addition of corn flour was 1,6–2,2 times more than in Sabouraud's medium and 2,0–6,1 times more than during growth in TSB broth.

Keywords: yeast, spectrophotometry, carotenoids, psychrophiles, torulene, carotene, torularhodin, Antarctica.

Аннотация. В приведенном исследовании изучали спектральный профиль каротиноидных пигментов продуцируемых психротолерантными дрожжами родов *Rhodotorula* (3 штамма), *Sporobolomyces* (6 штаммов), *Cystobasidium* (2 штамма). Анализ показал, что состав питательной среды оказывает влияние не только на количество синтезируемых пигментов, но и на их профиль. Было отмечено, что суммарный выход каротиноидов при росте в среде с добавлением кукурузной муки было в 1,6–2,2 раза больше, чем в среде Сабуро и в 2,0–6,1 раза больше, чем при росте в TSB-бульоне.

Ключевые слова: дрожжи, спектрофотометрия, каротиноиды, психрофилы, торулен, каротин, торулародин, Антарктида.

Введение

Дрожжи класса базидиомицетов преобладают среди грибов в полярных регионах [25], и, по оценкам, на сегодняшний день распознано не более 5 % видов, существующих в природе (приблизительно 50 родов и 250 видов). Имея важное сельскохозяйственное и медицинское значение, эта группа микроорганизмов вызывает все больший интерес у ученых как с точки зрения их биоразнообразия и экологической роли, так и с экономической точки зрения. Кроме того, некоторые базидиомицетовые дрожжи производят пигменты, в основном каротиноиды (также называемые тетратерпеноидами), такие как γ - и β -каротин, торулен и торулародин (*Rhodotorula* spp. и *Sporobolomyces roseus*) или астаксантин (*Phaffia rhodozyma*) [8, 15]. Натуральные пигменты составляют около 30 % рынка красящих веществ [24]. Они широко используются в пищевой, фармацевтической, косметической и пищевой промышленности. Каротиноиды не только полезны в качестве красителей, но и

играют важную роль в защите организма человека и животных от фотоокислительного повреждения, включая катаракту, а также в защите кожи и профилактике рака [8, 11, 23]. Некоторые из них являются предшественниками витамина А и поэтому считаются высокоценными питательными веществами.

Хотя микробное производство каротиноидов давно и активно изучается, их промышленное производство остаётся нерентабельным. Для снижения себестоимости производства целесообразно использовать сельскохозяйственные отходы, например, лигноцеллюлозу и сыворотку. Однако это непростая задача, поскольку эти отходы вряд ли будут ферментированы микроорганизмами и требуют предварительной обработки и гидролиза перед ферментацией. Это влечет за собой дополнительные затраты, которые можно было бы снизить, применяя микроорганизмы, способные не только продуцировать большое количество каротиноидов, но и секретировать внеклеточные гидролазы. Кроме того,

¹ Данная работа была выполнена при поддержке проекта, финансируемого Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований № 20231168 («Продукция биологически активных веществ психрофильными дрожжами, выделенными из образцов почв Восточной Антарктиды»).

сельскохозяйственные отходы богаты источниками углерода, например, ксилозой, целлобиозой или лактозой, которые обычно не ферментируются дрожжами. Хотя сообщалось, что несколько видов дрожжей-базидиомицетов производят гидролазы (например, полисахаразы, липазы) [20] или лигнолитические ферменты [19], мы до сих пор очень мало знаем об их применении в биопроцессах, например, для преобразования органических отходов в каротиноиды.

Среди базидиомицетов наименее изученную группу дрожжей составляют представители рода *Cystobasidium*. Поиск разнообразия в природе недавно привел к признанию новых видов дрожжей в пределах рода *Cystobasidium*, таких как *Cystobasidium oligophagum*, *Cystobasidium laryngis*, *Cystobasidium iriomotense*. Они, по-видимому, способны перерабатывать побочные продукты агропромышленного комплекса и были предложены в качестве продуцентов масла или ферментов [8]. Таким образом, представляет большой интерес дальнейшее изучение этой области и поиск новых дрожжей-базидиомицетов и изучение их биотехнологического потенциала.

Ранее в исследованиях авторами было определено, что психротолерантные дрожжи родов *Rhodotorula*, *Sporobolomyces* и *Cystobasidium* способны синтезировать различные комплексы каротиноидных пигментов, что приводило к окрашиванию колоний дрожжей в кораллово-красный, светло-розовый или оранжевый цвета [3, 12].

Целью данного исследования являлось определение влияния состава питательной среды на профиль синтезируемых пигментов дрожжами.

Материалы и методы

Штаммы дрожжей. *Rhodotorula glutinis* БИМ Y-375, *Rh. glutinis* БИМ Y-376, *Rh. glutinis* БИМ Y-369, *Sporobolomyces phaffii* БИМ Y-378, *Sp. phaffii* БИМ Y-367, *Sp. phaffii* БИМ Y-374, *Sp. phaffii* БИМ Y-370, *Sp. phaffii* БИМ Y-371, *Sp. phaffii* БИМ Y-372, *Cystobasidium ritchiei* БИМ Y-366, *C. ritchiei* БИМ Y-368. Дрожжи были выделены [13] из образцов мелкозёма Восточной Антарктиды, собранных на территории Земли Эндерби, станции Молодежная, полевой базе Гора Вечерняя, а также гор Принс-Чарльз [1, 3].

Культивирование дрожжей. Штаммы дрожжей были инокулированы в бульонную среду Сабуро (30 мл) в колбы Эрленмейера при аэрации 140 об/мин до достижения середины экспоненциальной фазы роста при температуре 18 °C [2]. После чего осуществлен засев дрожжей до ОП₆₀₀=0,1 А в следующие жидкие среды: Сабуро (панкреатический гидролизат рыбной муки 10,0 г/л, пан-

креатический гидролизат казеина 10,0 г/л, дрожжевой экстракт 2,0 г/л, NaH₂PO₄ 2,0 г/л, Д-глюкоза 40,0 г/л), TSB («Trypticasein soy broth» — панкреатический гидролизат казеина 17 г/л, NaCl 5 г/л, папаиновый гидролизат соевых бобов 3 г/л, K₂HPO₄ 2,5 г/л, моногидрат глюкозы 2,5 г/л), Сабуро с добавлением кукурузной муки 20 г/л и NH₄NO₃ 3 г/л. После засева культивировали до достижения стационарной фазы роста.

Экстракция каротиноидов. С целью идентификации продуцируемых пигментов и обеспечения максимального выхода биомассы дрожжевых клеток, всю накопленную биомассу отделяли от культуральной жидкости, промывали и подвергали анализу пигментного состава. Извлечение пигментов проводили кислотным методом с использованием 96 % этилового спирта [14].

Спектрофотометрическое исследование пигментов. Исследования спектров поглощения экстрактов проводили в видимом диапазоне длин волн с применением спектрофотометра Solar PV 1251C («Солар», Москва). Количество пигментов рассчитывали по величине максимума поглощения с использованием уравнения Келли и Хармона [17, 22]. Типичной характеристикой каротиноидов является наличие трех пиков поглощения в видимом спектре [17, 21].

Статистический анализ результатов был выполнен в программном обеспечении Microsoft office Excel 2016. Расчеты были произведены в трех биологических повторях с учетом стандартного отклонения. Полученные данные были представлены в виде средних арифметических значений со стандартным отклонением.

Результаты и их обсуждение

В предварительных исследованиях было определено, что психротолерантные дрожжи родов *Rhodotorula*, *Sporobolomyces* и *Cystobasidium*, выделенные из образцов почв Восточной Антарктиды, способны синтезировать комплексы пигментов, включающие торулен, торулародин, ζ-каротин, β-каротин, γ-каротин и δ-каротин в различных соотношениях [3, 12].

Исследование влияния состава питательной среды на рост и синтез пигментов антарктическими дрожжами позволит выявить оптимальные условия синтеза пигментов для каждого исследуемого штамма [5].

Одними из основных компонентов питательной среды Сабуро являются панкреатический гидролизат рыбной муки и дрожжевой экстракт. Эти продукты получают путем ферментативного гидролиза рыбной муки и биомассы дрожжей, в результате которого образуются пептиды, аминокислоты и другие биологически активные вещества, в том числе и витамины. В гидролизате при-

существуют все 20 основных аминокислот, включая незаменимые, а также соли Na, Ca, K, Mg, P и другие, которые необходимы для роста и развития микроорганизмов.

Результаты гравиметрических исследований зависимости роста психротолерантных дрожжей от состава питательной среды для культивирования показали, что среда Сабуро содержит оптимальные компоненты среды и их соотношение для увеличения выхода влажной биомассы для большинства исследуемых штаммов психротолерантных дрожжей родов *Rhodotorula* и *Sporobolomyces* (рисунок 1). При этом наибольший выход биомассы среди представителей данных родов был зафиксирован у штаммов *Rh. glutinis* БИМ Y-375 и *Sp. phaffii* БИМ Y-378 и составил 1,93 г и 1,61 г соответственно.

Кукурузную муку, используемую в микробиологических исследованиях в качестве источника азотистых веществ (40–50 % от сухого веса), получают в крахмалопаточном производстве в результате гидротермической обработки кукурузного зерна. В состав входит 65–75 % крахмала и до 10 % других углеводов (клетчатка, пентозаны), 10–12 % белка, до 4 % жира, 0,8–1 % минеральных веществ [6].

Добавление в питательную среду Сабуро кукурузной муки и нитрата аммония, обеспечило увеличение выхода влажной биомассы у штаммов *Rh. glutinis* БИМ Y-376, *Sp. phaffii* БИМ Y-374, *C. ritchiei* БИМ Y-366 и *C. ritchiei* БИМ Y-368 и составило 2,31 г, 1,07 г, 1,94 г и 1,63 г соответственно (рисунок 1).

Триптиказеиновый соевый бульон (TSB-бульон) содержит в своем составе папаиновый гидролизат соевых

бобов, который представляет собой смесь аминокислот, пептидов и других азотистых соединений, полученных в результате ферментативного гидролиза соевых бобов с помощью папаина. Данный гидролизат служит источником азота и других питательных веществ для роста микроорганизмов.

При росте в TSB-бульоне выход влажной биомассы значительно снизился. Для штаммов рода *Rhodotorula* прирост снизился на 65,9–72,4 % от максимального, для штаммов рода *Sporobolomyces* — на 44,15–68,7 %, для штаммов рода *Cystobasidium* — на 74,04–77,03 %. Полученные данные свидетельствуют о том, что компоненты гидролизата соевых бобов плохо метаболизируются исследуемыми штаммами антарктических дрожжей, что сказывается на заметном снижении их темпов роста.

Спектрофотометрическое исследование пигментов

Профили синтезируемых каротиноидов дрожжей родов *Rhodotorula* и *Sporobolomyces* были исследованы с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) и спектрофотометрического анализа [7, 9, 10, 18]. В исследованиях было показано, что эти дрожжи способны синтезировать такие каротиноиды как торулен, торулародин, β -каротин и γ -каротин в различных соотношениях. Также, в работе Кудрицкой С.Е. [4] были описаны и охарактеризованы спектральные профили всех известных каротиноидов различного происхождения, что дает возможность использовать спектрофотометрический анализ экстрактов из клеток дрожжей в идентификации каротиноидных пигментов.

Спектрофотометрические профили экстрактов из клеток антарктических дрожжей родов *Rhodotorula*,

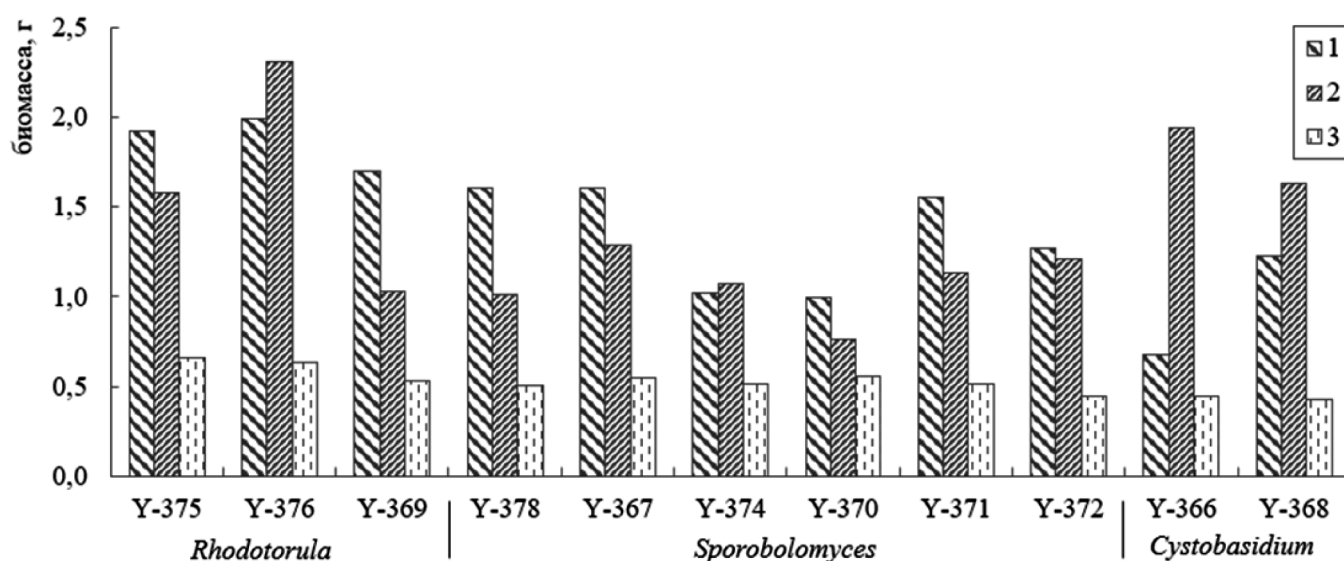


Рис. 1. Гравиметрические исследования прироста биомассы антарктических дрожжей при росте в средах различного состава: Сабуро (1), Сабуро с кукурузной мукой и NH_4NO_3 (2), TSB (3)

Sporobolomyces и *Cystobasidium* показали наличие комплексов пигментов с характерными для каротиноидов максимумами поглощения (рисунок 2). Полученные данные пиковых значений соотносили с известными [4], что позволило провести их идентификацию (таблица 1).

Проведенный спектральный анализ показал, что состав питательной среды оказывал влияние не только на количество синтезируемых пигментов, но и на их профиль (рисунок 2).

Штаммы рода *Rhodotorula* при росте в среде Сабуро способны синтезировать преимущественно либо комплекс ζ -каротин и торулародин, либо ζ -каротин и торулен. При изменении состава среды наблюдали смещение спектрального профиля в сторону каротинов (ζ -, β - и γ -каротина) (рисунок 2А).

Представители рода *Sporobolomyces* при росте в среде с добавлением кукурузной муки синтезировали преимущественно комплекс каротинов (ζ - и γ -каротин), в среде Сабуро и TSB-бульоне спектральный профиль менялся либо в сторону каротинов (ζ - и β -каротина), либо торулена (комплекс с ζ -каротином) (рисунок 2Б).

Спектральный профиль пигментов штаммов рода *Cystobasidium* отличался наличием только каротинов (преимущественно комплекс ζ - и δ -каротинов), при этом в присутствии кукурузной муки в среде происходил синтез ζ -каротина, без выраженного дополнительного пика сопутствующих пигментов (рисунок 2В).

В 2018 году в исследованиях М. Кот [15] был предложен путь биосинтеза торулена и торулародина в дрожжевых клетках. В процессе синтеза молекула ζ -каротина выступает предшественником для биосинтеза γ -каротина,

который в свою очередь является предшественником для синтеза β -каротина и торулена. Последний, в ходе реакций гидроксирования и окисления, трансформируется до торулародина.

Наличие в спектральном профиле исследуемых экстрактов преимущественно каротинов в различных соотношениях свидетельствует о том, что процессов их последующей трансформации с образованием торулена и торулародина практически не происходит. Исключение составили штаммы рода *Rhodotorula*, штамм *Sp. phaffii* Y-374 (при росте в среде Сабуро), а также штамм *Sp. phaffii* Y-372 (при росте в TSB-бульоне) способные синтезировать торулен и торулародин.

При анализе особенностей синтеза пигментов клетками дрожжей при росте в средах различного состава было определено, что суммарный выход каротиноидных пигментов уменьшался в следующем порядке: рост в среде Сабуро с добавлением кукурузной муки и нитрата аммония > в среде Сабуро > в TSB-бульоне. При этом содержание пигментов при росте в среде с добавлением кукурузной муки было в 1,6–2,2 раза больше, чем в среде Сабуро и в 2,0–6,1 раза больше, чем при росте в TSB-бульоне (таблица 1).

Исключение составили штаммы *Rh. glutinis* БИМ Y-375 и *C. ritchiei* БИМ Y-366, наибольший суммарный выход пигментов которых был определен при росте в TSB-бульоне и составил 128,8 $\mu\text{g/g}$ и 104,9 $\mu\text{g/g}$ соответственно. Также у штаммов *Rh. glutinis* БИМ Y-376 и *C. ritchiei* БИМ Y-368 — при росте в среде Сабуро, с общим выходом пигментов 239,1 $\mu\text{g/g}$ и 138,5 $\mu\text{g/g}$ соответственно (таблица 1).

В ходе проведенного исследования **наибольший суммарный выход** пигментов был определен у штамма

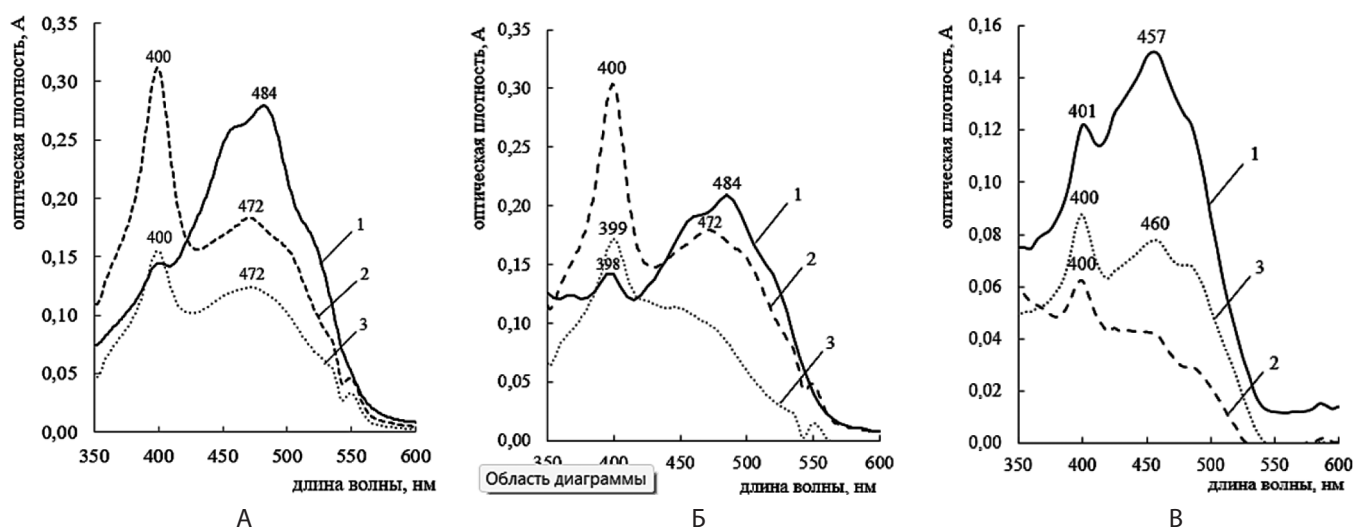


Рис. 2. Спектрофотометрические исследования этанольных экстрактов из клеток *Rh. glutinis* БИМ Y-369 (А), *Sp. phaffii* БИМ Y-374 (Б), *C. ritchiei* БИМ Y-368 (В) при росте в средах различного состава: Сабуро (1), Сабуро с кукурузной мукой и NH_4NO_3 (2), TSB (3)

Таблица 1.

Влияние состава питательной среды для культивирования на синтез каротиноидов штаммами дрожжей родов *Rhodotorula*, *Sporobolomyces*, *Cystobasidium*

штаммы	БИМ	Сабуро			Сабуро + кукурузная мука + NH ₄ NO ₃			TSB		
		пигмент	N, %	C, мкг/г	пигмент	N, %	C, мкг/г	пигмент	N, %	C, мкг/г
<i>Rhodotorula glutinis</i>	Y-375	ζ-каротин	38,3	55,85±0,42	ζ-каротин	100,0	113,51±0,75	ζ-каротин	50,9	128,82±0,58
		торулародин	61,7					β-каротин	49,1	
	Y-376	ζ-каротин	26,1	239,11±1,45	ζ-каротин	100,0	86,40±0,69	ζ-каротин	50,6	123,24±1,05
		торулародин	73,9					γ-каротин	49,4	
	Y-369	ζ-каротин	35,8	217,32±1,45	ζ-каротин	64,9	451,86±2,73	ζ-каротин	58,2	126,69±0,83
		торулен	64,2					γ-каротин	41,8	
<i>Sporobolomyces phaffii</i>	Y-378	ζ-каротин	39,4	163,10±1,25	ζ-каротин	55,8	296,47±2,53	ζ-каротин	56,2	117,16±0,77
		β-каротин	60,6					β-каротин	43,8	
	Y-367	ζ-каротин	38,4	184,90±1,67	ζ-каротин	65,5	307,72±1,70	ζ-каротин	57,5	94,55±0,81
		торулен	61,6					β-каротин	42,6	
	Y-374	ζ-каротин	37,5	318,00±1,80	ζ-каротин	65,0	504,99±2,93	ζ-каротин	100,0	83,32±0,57
		торулен	62,5					γ-каротин	35,0	
	Y-370	ζ-каротин	46,9	230,90±1,98	ζ-каротин	62,3	373,73±2,29	ζ-каротин	51,9	184,09±1,11
		γ-каротин	53,1					β-каротин	48,1	
	Y-371	ζ-каротин	39,2	216,20±1,63	ζ-каротин	62,4	438,39±3,57	ζ-каротин	54,3	164,95±1,29
		β-каротин	60,8					β-каротин	45,7	
	Y-372	ζ-каротин	56,4	78,30±0,74	ζ-каротин	100,0	169,07±1,14	ζ-каротин	56,3	74,99±0,56
		β-каротин	43,6					торулен	43,7	
<i>Cystobasidium ritchiei</i>	Y-366	ζ-каротин	43,9	80,50±0,38	ζ-каротин	100,0	86,60±0,46	ζ-каротин	60,1	104,98±0,71
		δ-каротин	56,1					δ-каротин	39,9	
	Y-368	ζ-каротин	53,9	138,50±0,77	ζ-каротин	100,0	34,83±0,26	ζ-каротин	61,9	90,74±0,89
		δ-каротин	46,1					δ-каротин	38,1	

Примечание: «C» — общее содержание пигментов, «N» — состав пигментов, выраженный в процентном соотношении

Sp. phaffii БИМ Y-374 при росте в среде Сабуро с добавлением кукурузной муки и составил 504,9 мкг/г. Более того, у данного штамма был определен наибольший выход толулена (при росте в среде Сабуро), ζ— и γ-каротина (при добавлении кукурузной муки в среду), который составил 198,7±1,59 мкг/г, 328,39±1,64 мкг/г и 176,60±0,88 мкг/г соответственно. Наибольший выход толулародина определен у штамма *Rh. glutinis* БИМ Y-376 (в среде Сабуро) — 176,76±1,04 мкг/г, β-каротина — 131,4±1,05 мкг/г у штамма *Sp. phaffii* БИМ Y-371 (в среде Сабуро), δ-каротина — 63,9±0,45 мкг/г у штамма *C. ritchiei* БИМ Y-368 (в среде Сабуро).

Заключение

Таким образом, идентификация каротиноидных пигментов посредством спектрофотометрического анализа позволяет определить профиль и количество синтезируемых пигментов клетками дрожжей. В свою очередь, психротолерантные дрожжи, выделенные из образцов мелкоземя Восточной Антарктиды, способны продуцировать различные формы каротинов, а также толулен и толулародин.

Экспериментально установлено, что добавление кукурузной муки в среду для культивирования приво-

дит к увеличению содержания пигментов в экстракте в 1,6–2,2 раза. В свою очередь папаиновый гидролизат соевых бобов не оказывает стимулирующего эффекта ни на количество биомассы, ни на синтез пигментов клетками дрожжей.

Полученные данные подчеркивают важность исследований влияния химических факторов среды на состав каротиноидных комплексов дрожжей, перспективных для применения в различных отраслях биотехнологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грибанова, Е.А. Разнообразие и биотехнологический потенциал дрожжей, выделенных из различных экосистем Восточной Антарктиды / Е.А. Грибанова, В.Е. Мямин // Современная микология в России. — 2024. — № 2. — С. 55–58.
2. Грибанова, Е.А. Особенности утилизации углеводов у психротолерантных дрожжей / Е.А. Грибанова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики: Серия «Естественные и Технические науки». — 2025. — № 5. — С. 7–16.
3. Грибанова Е.А., Косило А.Ю. Спектрофотометрическое определение каротиноидных пигментов в клетках психротолерантных дрожжей / Е.А. Грибанова, А.Ю. Косило // New trends in science, society and technology: Collection of articles II International Scientific and Practical Conference. — Melbourne: ICSRD «Scientific View». — 2025. — С. 5–17.
4. Кудрицкая, С.Е. Каротиноиды плодов и ягод / С.Е. Кудрицкая, Киев: Выща школа. — 1990. — 210 с.
5. Савчик А.В., Новик Г.И. Каротиноидсинтезирующие дрожжевые грибы и их применение в биотехнологии / А.В. Савчик, Г.И. Новик // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2020. — Т. 13, № 3 — С. 70–83.
6. Шульц Л.В., Красноштанова А.А. Оптимизация процесса экстракции белка из кукурузной муки / Л.В. Шульц, А.А. Красноштанова // Успехи в химии и химической технологии. — 2020. — Т. 34, № 11. — С. 19–20.
7. Buzzini, P. Carotenoid profiles of yeasts belonging to the genera *Rhodotorula*, *Rhodospiridium*, *Sporobolomyces*, and *Sporidiobolus* / P. Buzzini, M. Innocenti, B. Turchetti [et al] // Canadian Journal of Microbiology. — 2007. — V. 53, № 8. — P. 1024–1031.
8. Chreptowicz, K. Carotenoid-producing yeasts: identification and characteristics of environmental isolates with a valuable extracellular enzymatic activity / K. Chreptowicz, J. Mierzejewska, J. Tkáčová [et al] // Microorganisms. — 2019. — V. 7, № 12. — P. 1–18.
9. Davoli, P. Carotenoids and fatty acids in red yeasts *Sporobolomyces roseus* and *Rhodotorula glutinis* / P. Davoli, V. Mierau, R. W. S. Weber // Applied Biochemistry and Microbiology. — 2004. — V. 40, № 4. — P. 392–397.
10. Ferdes, M. The Influence of the carbon source on torularhodin pigment biosynthesis / M. Ferdes, C. Ungureanu, A. Mihalcea [et al] // REV. CHIM. — 2011. — V. 62, № 3. — P. 339–343.
11. Fraser, P.D. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids / P.D. Fraser, P. M. Bramley // Progress in Lipid Research. — 2004. — V. 43, № 3. — P. 228–265.
12. Griбанова, Е.А. Effect of carbohydrate source on the synthesis of carotenoid pigments by psychrotolerant yeasts *Rhodotorula*, *Sporobolomyces* and *Cystobasidium* / Е.А. Griбанова // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration. — 2025. — P. 134–141.
13. Griбанова Е.А., Мямин В.Е. Physiological and biochemical traits of yeasts from soils of various ecosystems of East Antarctica / Е.А. Griбанова, В.Е. Мямин // Ukrainian Antarctic Journal. — 2021. — № 2. — P. 106–116.
14. Holzapfel, N.P. The potential role of lycopene for the prevention and therapy of prostate cancer: from molecular mechanisms to clinical evidence / N.P. Holzapfel, B.M. Holzapfel, S. Champ [et al] // International Journal of Molecular Sciences. — 2013. — V. 14, № 7. — P. 14620–14646.
15. Kot, A.M. Torulene and torularhodin: “new” fungal carotenoids for industry? / A.M. Kot, St. Błażej, I. Gientka [et al] // Microbial Cell Factories. — 2018. — V. 17, № 1. — P. 1–14.
16. Liu, C. Study on the wall-breaking method of carotenoids producing yeast *Sporidiobolus pararoseus* and the antioxidant effect of four carotenoids on SK-HEP-1 cells / C. Liu, Y. Cheng, Ch. Du [et al] // Preparative Biochemistry and Biotechnology. — 2019. — V. 49, № 8. — P. 767–774.
17. Maldonado, I.R. Carotenoids of yeasts isolated from the Brazilian ecosystem / I.R. Maldonado, D.B. Rodriguez-Amaya, A.R.P. Scamparini // Food Chemistry. — 2008. — V. 107, № 1. — P. 145–150.
18. Matselyukh, B.P. Isolation of *Phaffia rhodozyma* yeasts mutants under increased carotenoid content / B.P. Matselyukh, D.Ya. Matselyukh, S.L. Golembiowska [et al] // Biotechnologia Acta. — 2014. — V. 7, № 4. — P. 49–53.
19. Mendonça Maciel, M.J. Industrial and biotechnological applications of ligninolytic enzymes of the basidiomycota: a review / M.J. Mendonça Maciel, A. Castro E Silva, H.C. Telles Ribeiro // Electronic Journal of Biotechnology. — 2010. — V. 13, № 6. — P. 1–13.
20. Peralta, R.M. Enzymes from Basidiomycetes—peculiar and efficient tools for biotechnology, Elsevier. — Academic Press, 2017. — P. 119–149.
21. Sakaki, H. Torularhodin as a potent scavenger against peroxyl radicals isolated from a soil yeast, *Rhodotorula glutinis* / H. Sakaki, T. Nakanishi, S. Komemushi, [et al] // Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition. — 2001. — V. 30. — P. 1–10.
22. Schmidt, I. Biotechnological production of astaxanthin with *Phaffia rhodozyma*/*Xanthophyllomyces dendrorhous* / I. Schmidt, H. Schewe, S. Gassel [et al] // Applied Microbiology and Biotechnology. — 2011. — V. 89, № 3. — P. 555–571.
23. Stahl, W. Carotenoids and protection against solar UV radiation / W. Stahl, H. Sies // Skin Pharmacology and Physiology. — 2002. — V. 15, № 5. — P. 291–296.
24. Stolarzewicz, I. Mikrobiologiczne źródła barwników w technologii żywności / I. Stolarzewicz, A. Kapturowska, E. Bialecka-Florjanczyk // Postępy Mikrobiologii. — 2012. — V. 51, № 3. — P. 167–176.
25. Tsuji, M. *Cystobasidium tubakii* and *Cystobasidium ongulense*, new basidiomycetous yeast species isolated from East Ongul Island, East Antarctica / M. Tsuji, M. Tsujimoto, S. Imura // Mycoscience. — 2017. — V. 58, № 2. — P. 103–110.

© Грибанова Екатерина Александровна (lika-den98@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»