

Жазыкбаева С.С.,
Туфуминова Я.С.,
Гончарова А.В., Карпенюк Т.А.

Казахский национальный университет
им. аль-Фараби, Казахстан, Алматы

**Селекция микроорганизмов,
содержащих практически
значимые полиненасыщенные
жирные кислоты**

Перспективными продуцентами полиненасыщенных жирных кислот считаются микроорганизмы, в связи с их высокой скоростью роста на простых средах, возможностью накопления большого количества липидов и полиненасыщенных жирных кислот, а также возможностью манипулировать их метаболизмом. В работе было изучено содержание липидов и жирнокислотный состав мицелиальных грибов, дрожжей и бактерий, выделенных из воды и почв Казахстана. Было показано, что исследуемые микроорганизмы содержат от $4,3 \pm 0,4$ до $15,1 \pm 1,5\%$ липидов от сухой массы, а также содержат практически значимые полиненасыщенные жирные кислоты: линолевую, α - и γ -линоленовые, эйкозапентаеновую. В качестве перспективных продуцентов липидов и ценных полиненасыщенных жирных кислот были отобраны мицелиальные грибы *Petromyces alliaceus*, *Mucor circinelloides* и дрожжи *Auerobasidium commune*, *Yarrowia lipolytica*. Они могут быть рекомендованы для разработки технологии получения препаратов практически значимых полиненасыщенных жирных кислот.

Ключевые слова: микроорганизмы, полиненасыщенные жирные кислоты, жирнокислотный состав, газовая хроматография, продуценты.

Zhazykbayeva S.S.,
Tufuminova Y.S.,
Goncharova A.V., Karpenyuk T.A.

Al-Farabi Kazakh national university,
Kazakhstan, Almaty

**Selection of microorganisms
containing valuable
polyunsaturated fatty acids**

Currently, the sources for obtaining polyunsaturated fatty acid, used vegetable oil and seafood. But due to the decrease of fish stocks suitable for planting land, the actual problem is the search for new alternative sources of polyunsaturated fatty acids. Prospective producers are considered to be microorganisms because of their high growth rate on simple media, the possibility of accumulation of large amounts of lipids and polyunsaturated fatty acids, as well as the ability to manipulate their metabolism. In this work was studied the lipid content and fatty acid composition of microscopic fungi, yeasts and bacteria isolated from freshwater and soil of Kazakhstan. It was shown that the investigated microorganisms contain lipids from $4,3 \pm 0,4$ to $15,1 \pm 1,5\%$ from the dry weight and contain practically important polyunsaturated fatty acids: linoleic, α - and γ -linolenic and eicosapentaenoic. Promising as producers of valuable lipids and polyunsaturated fatty acids were selected microscopic fungi *Petromyces alliaceus*, *Mucor circinelloides* and yeast *Auerobasidium commune*, *Yarrowia lipolytica*. They can be recommended to develop the technology of obtaining practically important preparations of polyunsaturated fatty acids.

Key words: microorganisms, polyunsaturated fatty acids, fatty acid composition, gas chromatography, producers.

Жазыкбаева С.С.,
Туфуминова Я.С.,
Гончарова А.В., Карпенюк Т.А.

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық
университеті, Қазақстан, Алматы

**Практикалық маңызды
полиқанықпаған май
қышқылдары бар
микроорганизмдерді
селекциялау**

Қазіргі кезде полиқанықпаған май қышқылдарының көзі ретінде өсімдік шикізаты мен теңіз өнімдері қолданылады. Алайда балық қоры, өсімдіктерді егетін жерлердің азайғандықтан, жаңа полиқанықпаған май қышқылдарының көздерін табу өзекті мәселе болып табылады. Қарапайым қоректік орталарда жоғары өсу жылдамдылығы, липид және жеке полиқанықпаған май қышқылдарының түрлерін көп мөлшерде жинақтау мүмкіндігі және сондай-ақ олардың метаболизмдерімен басқару мүмкіндіктеріне байланысты липидтер және полиқанықпаған май қышқылдарының перспективті өндірушілері ретінде микроорганизмдер болып табылады. Жұмыста Қазақстанның суы мен топырағынан алынған мицелиалды санырауқұлақтар, ашытқылар және бактериялардың липидтік және май қышқыл құрамы зерттелді. Зерттелген микроорганизмдердің құрғақ салмағынан $4,3$ тен $15,1\%$ липидтер құрайды, сонымен қатар құрамында практикалық маңызы зор полиқанықпаған май қышқылдар: линол, α - және γ -линолен, эйкозопентаен екені бар екені анықталды. Липидтер және полиқанықпаған май қышқылдарының перспективті продуценттер ретінде мицелиялық санырауқұлақтар *Petromyces alliaceu*, *Mucor circinelloides*, *Rhodotorula mucilaginose*, ашытқылары *Auerobasidium commune*, *Yarrowia lipolytica* бөлініп алынды. Олар практикалық маңызы зор полиқанықпаған май қышқылдар препараттарын алу технологиясында ұсынылуы мүмкін.

Түйін сөздер: микроорганизмдер, полиқанықпаған май қышқылдар, май қышқылдық құрам, газдық хроматография, продуценттер.

**СЕЛЕКЦИЯ
МИКРООРГАНИЗМОВ,
СОДЕРЖАЩИХ
ПРАКТИЧЕСКИ
ЗНАЧИМЫЕ
ПОЛИНЕНАСЫЩЕННЫЕ
ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ****Введение**

Полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) – длинно-цепочечные жирные кислоты, содержащие две и более двойных связей, в настоящее время привлекают к себе все более пристальное внимание ввиду их большой физиологической, промышленной и фармацевтической значимости.

ПНЖК алифатического ряда принадлежит одно из важных мест среди природных биологически активных соединений. Особое значение среди них имеют полиеновые кислоты ряда C:18 – *цис* – 9,12-октадекадиеновая (α -линоленовая кислота), *цис* – 6,9,12-октадекатриеновая (γ -линоленовая) и ряда C:20 – *цис*-8,11,14-эйкозатриеновая (дигомо- γ -линоленовая), *цис*-5,8,11,14-эйкозатетраеновая (арахидоновая), *цис*-5,8,11,14,17-эйкозопентаеновая. Они являются не только структурными компонентами липидов клеточных мембран, липопротеидных комплексов головного и спинного мозга, сердца, печени и других органов, но и предшественниками целого ряда биологически важных метаболитов – простагландинов, циклопентенонов, простациклинов, тромбоксанов, лейкотриенов, липоксинов, гепоксилинов [1].

Недостаточный уровень производства ПНЖК и значительный спрос на них привели в конечном итоге к поиску альтернативных биоресурсов их получения.

Альтернативным путем для коммерческого получения ПНЖК является использование уникальных биосинтетических возможностей микроорганизмов, способных синтезировать полный набор ПНЖК.

Микроорганизмы являются весьма перспективными продуцентами липидов и их компонентов (таких как ПНЖК) в связи с их высокой скоростью роста на простых средах и возможностью манипулировать их метаболизмом. В последние два десятилетия достигнуты определенные успехи в области биотехнологического получения ПНЖК с помощью низших грибов и морских водорослей. Однако, существующие на сегодняшний день биотехнологии получения ПНЖК далеко несовершенны [2].

Для развития эффективного микробиологического производства липидов и ПНЖК, особое внимание следует уделять

условиям культивирования микроорганизмов. Варьирование условий культивирования приводит к улучшению ростовых характеристик микроорганизмов, а также стимуляции биосинтетических процессов [3].

Мицелиальные грибы изучаются многими исследователями в качестве производителей липидов и ПНЖК. Среди них выделены представители родов *Cunninghamella*, *Mortierella*, *Cryptococcus*, *Mucor*, *Aspergillus*, *Humicola* и другие, синтезирующие до 86% липидов от веса сухой биомассы. Однако, при одинаковых условиях культивирования содержание липидов у представителей грибов сильно варьирует. Так, у штаммов *M. elasson* и *M. simplex* содержится 1% липидов по сухому весу, а у *M. isabellina* NRRL 1757 – до 37% от сухой биомассы. Мутантный штамм *M. alpina Peyronel BC-2* может накапливать 45-55% липидов в пересчете на сухое вещество [4]. Микромицеты являются одними из самых перспективных продуцентов ПНЖК [5]. Среди них в настоящее время используются представители родов *Mortierella*, *Mucor*, *Cunninghamella* и *Absidia*. В промышленности налажено производство γ – линоленовой кислоты с помощью гриба *Mucor* и арахидоновой и эйкозопентаеновой кислот с помощью гриба *Mortierella*. Так, *Mucor* синтезирует до 20% γ – линоленовой кислоты, а *Mortierella* может производить до 35% арахидоновой и до 30% эйкозопентаеновой кислот от суммы жирных кислот, в зависимости от условий культивирования [4, 5].

Дрожжи были первыми микроорганизмами, признанными в качестве продуцентов липидов. Большинство идентифицированных олеогенных дрожжей принадлежат к базидиомицетам, но некоторые перспективные виды относятся к аскомицетам (например, *Yarrowiia lipilytica* и *Debarymyces hansenii*). Среди изученных дрожжей, накапливающих высокое количество липидов (20-72%) можно отметить представителей родов *Rhodotorula*, *Lipomyces*, *Yarrowia*, *Cryptococcus*, *Candida*, *Rhodospodidium*, *Trichosporon* [5]. Основной недостаток дрожжевых липидов состоит в том, что в их составе нет длинноцепочечных ПНЖК, основную массу занимают пальмитиновая и олеиновая кислоты (более 70%), среди ПНЖК отмечаются только линолевая в количестве до 15% и α – линоленовая кислоты – до 5% от суммы жирных кислот [5]. Поэтому усилия исследователей направлены на манипуляции с генами дрожжей, кодирующими отдельные стадии метаболизма жирных кислот.

В ряде работ сообщается, что содержание липидов у бактерий ниже, чем у дрожжей и мицелиальных грибов [3, 4, 6]. К бактериям, способным накапливать до 50% липидов от сухой массы, относятся представители родов *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Alcaligenes*, *Acinetobacter*, *Actinomyces*, *Streptomyces*, *Rhodococcus*, *Mycobacterium*, *Nocardia* и др. [3, 4]. В качестве продуцентов ПНЖК среди бактерий в литературе отмечаются представители родов *Shewanella*, *Collwellia*, *Moritella*. Эти бактерии выделяются, в основном, из экстремальных источников, таких как, глубоководные, низкотемпературные регионы, полярные области, и, из кишечника морских животных [7].

В настоящее время продукты, содержащие ПНЖК активно используются в пищевой промышленности и медицине. ПНЖК, выделенные из микроорганизмов, широко применяются в фармацевтике, медицине, косметологии, диетпитании, сельском хозяйстве и других областях. Расширение сфер применения ПНЖК и их невысокое содержание в традиционных источниках делают актуальной проблему развития микробиологического способа производства [8].

Целью данного исследования является отбор микроорганизмов, выделенных из почв и вод Казахстана, содержащих наибольшее количество практически значимых полиненасыщенных жирных кислот.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись мицелиальные грибы *Penicillium citrinum*, *Penicillium restrictum*, *Penicillium bilaiae*, *Penicillium aculeatum*, *Petromyces alliaceus*, *Aspergillus sp.*, *Mucor circinelloides*, дрожжи *Rhodotorula mucilaginosa*, *Auerobasidium commune*, *Yarrowia lipolytica* и бактерии *Kocuria erythromyx*, *Bacillus endophyticus*, *Rhodococcus roseae*, выделенные из водоемов и почв Казахстана.

Материалом исследования служили липиды и жирные кислоты, выделенные из биомассы данных микроорганизмов.

Микроорганизмы культивировали на универсальных питательных средах: Сабуро, мясопептонный бульон (МПБ), мясопептонный агар (МПА) [9]. Динамику роста культур бактерий и дрожжей оценивали нефелометрически (фотоколориметрирование на приборе КФК – ЗОМЗ при длине волны 590 нм) [9].

Динамику роста культур мицелиальных грибов оценивали весовым методом (по прирос-

ту биомассы). Биомассу мицелиальных грибов наращивали в чашках Петри (ЧП) на среде Сабу-ро 3-4 суток. Начальную биомассу вносили в количестве 0,0001 г/чашка Петри.

Для определения веса биомассы в предварительно высушенные при 65°C до постоянного веса и взвешенные бюксы вносили искомую сырую биомассу и высушивали при 65°C до постоянного веса. Из массы бюкса с сухим остатком вычитали массу пустого бюкса.

Экстракцию липидов из клеток проводили согласно методам Kates и Garbus [10,11]. Общие липиды экстрагировали, используя изопропанол: высушенную биомассу суспендировали в изопропаноле, инкубировали при 70°C в течение 30 минут, затем центрифугировали, супернатант переносили в пробирки. Данную процедуру повторяли дважды. Супернатанты объединяли, упаривали в токе азота и сухой осадок растворяли в смеси хлороформ: метанол (2:1). Далее липидные экстракты очищали с помощью раствора Гарбуса (2М KCl в 0,5М натрий-фосфатном буфере, pH 7,4). Хлороформный остаток выпаривали, и содержание общих липидов определяли гравиметрически. Очищенные липидные экстракты растворяли в определенном объеме хлороформа и хранили при -20°C до проведения дальнейших анализов.

Общее количество липидов определяли весовым методом [11]. Получение метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) осуществляли согласно методике, описанной в работе [12]. Жирнокислотный состав фракции суммарных липидов исследовали методом газовой хроматографии. К определенному количеству общего липидного экстракта добавляли 3 мл 2,5% H₂SO₄ в метаноле: толуоле (2:1), реакция метилирования протекала при 70°C в течение 2 часов. Известное количество жирной кислоты C24:1 (1 мг/мл) добавляли в качестве внутреннего стандарта для количественного определения, как индивидуальных жирных кислот, так и для определения количества общих липидов. МЭЖК экстрагировали из метилирующей смеси гексаном (2x3 мл) после добавления 3 мл 5% NaCl. Гексановые фракции объединяли и выпаривали в токе азота, сухой осадок растворяли в 50-80 мкл гексана и переносили в виалы для анализа.

Хроматографическое разделение эфиров жирных кислот проводили на газовом хроматографе Clarus 500 (PerkinElmer 8500, США) с пламенно – ионизационным детектором, оснащенный капиллярной колонкой 30 м *0,25 мм (Elite 225, Perkin Elmer). Программирова-

ние нагревания: до 170°C – 3 мин, нагрев до 220°C со скоростью 4°/мин, удерживание в течение 15 мин. МЭЖК были определены путем сравнения времен удерживания пиков с таковыми у стандарта G411 FA, содержащего 31 жирную кислоту от C8 до C24:1 (Nu – Chek Prep. Inc., Elysian, MN, США). Программа обработки хроматограмм – Perkin – Elmer Total Chrom Navigator.

Статистическая обработка полученных данных осуществлялись с использованием программы Microsoft Office Excel. Экспериментальный материал был обработан статистически с вычислением среднего арифметического значения и среднего квадратичного отклонения.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования показали, что общее содержание липидов в клетках исследуемых мицелиальных грибов ниже, чем у олеогенных штаммов, то есть меньше 20% от сухого веса. Культуры *P. citrinum*, *P.restrictum*, *P.bilaiae*, *P. aculeatum*, *Pet. alliaceus*, *Aspergillus sp.* и *M. circinelloides* характеризовались содержанием липидов в пределах 5±0,5-7,4±0,7% от сухого веса (рисунок 1). Однако, известно, что наибольшее количество некоторых ценных ПНЖК наблюдается у мицелиальных грибов с невысоким содержанием липидов [13, 14].

Из исследуемых культур дрожжей две – *Y. lipolytica* и *Rhodot. mucilaginosе* характеризовались достаточно высоким содержанием липидов – 15,1±1,5 и 10,4±1% от сухого веса, соответственно, у культуры *A. commune* оно было ниже – 10% от сухого веса (рисунок 1).

Количество липидов у бактерий варьировало в пределах 4,3±0,4 – 8,8±0,9% от сухого веса. Наибольшее содержание липидов было обнаружено в культурах *K. erythromyx* – 8,8±0,9%, *B. endophyticus* – 8,2±0,8% и наименьшее – в *Rh. roseae* – 6,9±0,7% от сухого веса (рисунок 1).

Полученные результаты подтверждают данные литературы о том, что наибольшее количество липидов характерно для представителей дрожжей [5].

Данные, полученные при исследовании состава жирных кислот исследуемых культур, представлены на рисунке 2. У грибов фракция ненасыщенных жирных кислот преобладала над фракцией насыщенных. Так, фракция насыщенных кислот была в пределах 17,6±1,8 – 23,9±2,4% от суммы жирных кислот. Содержание мононенасыщенных кислот (МНЖК) варьировало от

9,8±1 до 38±3,5% от суммы жирных кислот. У 6 из 7 исследованных культур мицелиальных грибов было обнаружено достаточно высокое коли-

чество ПНЖК – от 52,7±5,1 до 70±5,6% от суммы жирных кислот. У культуры *M. circinelloides* оно составило 38,7±3,6% от суммы жирных кислот.

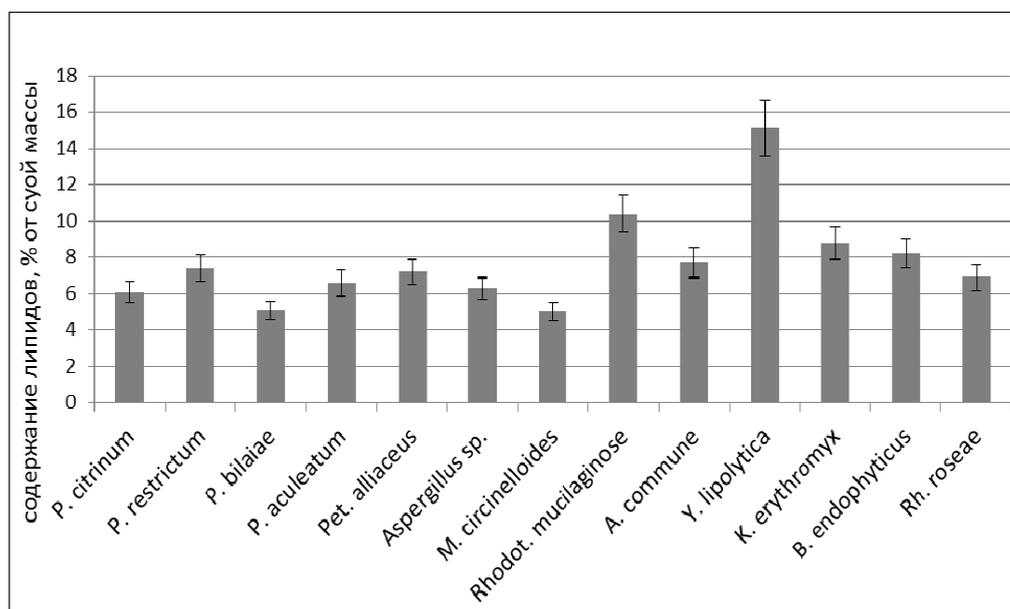


Рисунок 1 – Общее содержание липидов у исследуемых мицелиальных грибов, дрожжей и бактерий

При изучении жирнокислотного состава дрожжей *Rhodot. mucilaginose*, *A. commune* и *Y. lipolytica* было показано преобладание ненасыщенных жирных кислот над насыщенными (рисунок 2). У всех исследованных культур дрожжей преобладающей была фракция МНЖК, процентное содержание которой находилось в пределах от 46,9±4,4 до 78,6±6,5% от суммы жирных кислот. Насыщенные кислоты составляли небольшую часть – до 13% жирнокислотного состава у культур *Rhodot. mucilaginose* и *Y. lipolytica*, только у культуры *A. commune* были в количестве 37,6±3,3% от суммы жирных кислот. Содержание ПНЖК дрожжей варьировало от 10,6±0,9 до 38,2±3,3% от суммы жирных кислот.

Для бактерий наблюдалась следующая тенденция: ненасыщенные жирные кислоты преобладали над насыщенными (рисунок 2). Только культура *Rh. roseae* содержала 50,7±4,3% насыщенных жирных кислот от суммы жирных кислот. Культуры *K. erythromyx* и *B. endophyticus* характеризовались меньшим их уровнем – менее 38% от суммы жирных кислот. Содержание МНЖК варьировало от 48,3±4% у культуры *Rh.*

roseae и до 63,9±5,8% у культуры *K. erythromyx*. Фракция ПНЖК обнаруживалась только у культур *K. erythromyx* и *Rh. roseae* в количестве 1,8±0,1% и 1±0,1% от суммы жирных кислот, соответственно.

Результаты исследования жирнокислотного состава мицелиальных грибов показали, что основными жирными кислотами для всех культур грибов являются пальмитиновая (C16:0), олеиновая (C18:1) и линолевая кислоты (C18:2n-6) (таблица 1). Также культуры *P. restrictum*, *Pet. alliaceus*, *M. circinelloides*, *Aspergillus sp.* содержат 4,2±0,4 – 6,8±0,6% от суммы жирных кислот стеариновой кислоты (C18:0). Линолевая кислота у мицелиальных грибов составляет примерно половину от всех жирных кислот, кроме мицелиального гриба *M. circinelloides*. У данной культуры она составила 23,8±2,2%, однако, это значение в 3,9 раз больше, чем у штамма, описанного Silva M. et al. [13].

Также у исследуемой культуры *Mucor* присутствует линоленовая кислота n-6 серии в количестве 14,3±1,4%, и она является основной для данной культуры. Среди длинноцепочечных ПНЖК у микромицетов были обнаружены арахид-

доновая (АК, C20:4n-6) и эйкозопентаеновая кислоты (ЭПК, C20:5n-3). Так, у культуры *Aspergillus sp.* АК обнаружилась в следовых количествах (около $1 \pm 0,1\%$ от суммы жирных кислот). А ЭПК была обнаружена у культур *P. citrinum*, *P. restrictum*, *P. bilaiae*, *P. aculeatum* и *Pet. alliaceus* в количестве от $3,1 \pm 0,3$ до $8,2 \pm 2\%$ от суммы жирных кислот. Максимальное содержание ЭПК наблюдалось у *Pet. alliaceus* (таблица 1).

Из данных, представленных в таблице 1, видно, что у культуры дрожжей *A. commune* основной жирнокислотный состав был представлен пальмитиновой, пальмитолеиновой, стеариновой, олеиновой и α -линоленовой кислотами (C18:3n-3), процент последней составил $9,6 \pm 1\%$ от суммы всех жирных кислот. У *Y. lipolytica* в основном жирнокислотном составе присутствовали пальмитиновая, пальмитолеиновая, олеиновая и линолевая кислоты. Содержание линолевой кислоты составило треть от всех жирных кислот, что в 2,8 раза больше, чем у Wang et al. [6]. В жирнокислотном составе *Rhodot. mucilaginose* основными жирными кислотами были пальмитиновая, олеиновая и линолевая. Содержание олеиновой кислоты составило $76,3 \pm 6\%$ от суммы жирных кислот, что на 9,3% больше, чем у *Rhodot. mucilaginose AMCQ10C* Gupta et al. [14].

У бактерий *K. erythromyx*, *B. endophyticus*, *Rh. roseae*, основными жирными кислотами были миристиновая (C14:0), миристолеиновая (C14:1), маргариновая (C17:0) и гептадецилсалициловая (C17:1) [15]. Помимо этого, *K. erythromyx* и *B. endophyticus* содержала около 10% от суммы жирных кислот пентадециловой (C15:0) и пальмитиновой кислот. Среди ПНЖК у бактерий были обнаружены ЖК с 18, 20 и 22 атомами углерода, однако их суммарное количество не превышало 3% от общей суммы жирных кислот (таблица 1).

Таким образом, в результате проведенных экспериментов показано, что некоторые из исследуемых мицелиальных грибов и дрожжей содержали значительное количество практически значимых полиненасыщенных жирных кислот. Наиболее ценным жирнокислотным составом обладали: культуры мицелиальных грибов *Mucor circinelloides* за счет наличия γ -линоеновой кислоты, *Petromyces alliaceus* за счет наличия эйкозопентаеновой кислоты и культуры дрожжей *Yarrowia lipolytica* за счет наличия линолевой кислоты, *Auerobasidium commune* за счет наличия α -линоленовой кислоты. Стоит отметить, что большинство исследуемых мицелиальных грибов содержали в своем составе значительное количество линолевой кислоты и были способны синтезировать эйкозопентаеновую кислоту.

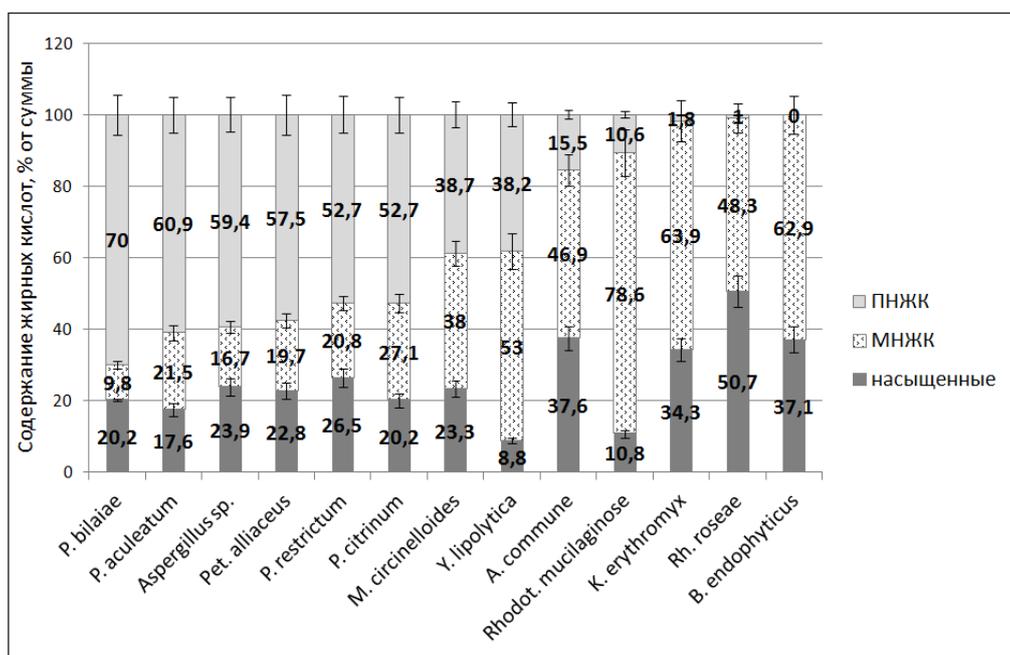


Рисунок 2 – Процентное содержание насыщенных и ненасыщенных жирных кислот во фракции общих липидов исследуемых мицелиальных грибов, дрожжей и бактерий

Таблица 1 – Жирнокислотный состав исследуемых мицелиальных грибов, дрожжей и бактерий, % от суммы ЖК

ЖК	<i>P. bilaiae</i>	<i>P. restrictum</i>	<i>P. aculeatum</i>	<i>Aspergillus sp.</i>	<i>M. circinelloides</i>	<i>P. citrinum</i>	<i>Pet. alliaceus</i>	<i>A. commune</i>	<i>Rhodot. mucilaginosae</i>	<i>Y. lipolytica</i>	<i>B. endophyticus</i>	<i>K. erythromyx</i>	<i>Rh. roseae</i>
C14:0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17,6±2,0	8,4±1,0	39,4±4,0
C14:1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48±4,5	42,1±4,1	35,4±3,2
C15:0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,1±0,4	6,5±0,6	1,6±0,2
C15:1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,5±0,3	-	-
C16:0	16,3±1,6	19,1±2,0	14,5±1,4	15,5±1,5	16,9±1,7	16,6±2,0	14,8±1,5	22,5±2,1	9,7±1,0	7,6±0,7	6,9±0,8	4,8±0,6	1,5±0,2
C16:1*	1,1±0,1	2,1±0,2	0,9±0,08	0,8±0,08	5,9±0,5	1,2±0,1	1,2±0,1	13,5±1,0	2,3±0,2	12,9±1,0	3,4±0,3	-	0,1±0,01
C16:2n-6	-	-	-	-	-	-	-	1,7±1,2	-	0,9±0,1	-	-	-
C17:0	-	-	-	-	-	-	-	4,8±0,4	-	1,2±0,1	4,9±0,6	12,2±1,1	6,6±0,7
C17:1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9±1,0	21,1±2,4	12,2±1,3
C18:0	2,6±0,3	4,2±0,4	2,2±0,2	6,8±0,6	4,2±0,4	2,4±0,2	5,5±0,6	10,3±1,0	1,1±0,1	-	-	0,5±0,04	-
C18:1*	8,7±0,8	18,7±2,0	20,6±2,1	15,9±1,5	32,1±3,1	25,9±3,0	18,5±1,9	25,6±2,0	76,3±6,0	39,1±3,0	-	0,7±0,1	0,6±0,1
C18:2n-6	64,6±6,0	46,4±4,0	56,7±5,2	55±5,3	23,8±2,2	47,3±4,0	46,9±5,0	4,2±0,4	7,3±0,7	36,2±3,1	-	-	0,3±0,03
C18:3n-6	-	-	-	-	14,3±1,4	-	2,4±0,2	-	-	-	-	-	-
C18:3n-3	0,5±0,05	-	-	3,3±0,3	0,6±0,06	-	-	9,6±1,0	3,3±0,3	-	-	-	-
C18:4n-3	-	-	1,1±0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C19:0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,6±0,4	1,9±0,3	1,6±0,2
C19:1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C20:0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C20:1	-	-	-	-	-	-	-	3,9±0,3	-	1±0,1	-	-	-
C20:2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1±0,1	-	0,7±0,1	0,7±0,1
C20:3n-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5±0,05	-
C20:4n-6	-	-	-	1,1±0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C20:5n-3	4,9±0,5	5,1±0,5	3,1±0,3	-	-	5,4±0,5	8,2±2,0	-	-	-	-	-	-
C22:0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C22:1	-	-	-	-	-	-	-	3,9±0,4	-	-	-	-	-
C22:2	-	1,2±0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C24:0	1,3±0,1	3,2±0,3	0,9±0,09	1,6±0,2	2,2±0,2	1,2±0,1	2,5±0,3	-	-	-	-	0,6±0,06	-
Сумма х**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,8±0,2	0,7±0,1

Примечания: *C16:1 and C18:1 – сумма n-9 и n-7 изомеров; ** x – Сумма неидентифицированных ЖК.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что жирнокислотный состав липидов отобранных микроорганизмов не уступает эталонным растительным маслам, а в некоторых случаях превосходит их. Это позволяет рекомендовать результаты

исследования для разработки технологии получения липидов и ПНЖК из микроорганизмов для их дальнейшего использования в различных отраслях народного хозяйства (медицина, диетическое питание, косметология, сельское хозяйство).

Литература

- 1 Adesina AJ (2012) Classification, Biosynthesis and health implications of n-3 and n-6 PUFAs, J Pharm Biomed Sci, 20(08): 1-12.
- 2 Kumar J, Banerjee R (2013) Optimization of lipid enriched biomass production from oleaginous fungus using response surface methodology, Indian Journal of Experimental biology, 51: 979-983.
- 3 Dominguez LA (2012) Polyunsaturated fatty acids in bacteria, algae and fungi – a review, Environmental Engineering and Management Journal, 3(S160):97.
- 4 Dediukhina EG, Kamzolova SV, Eroshin VK (1994) Study of lipid synthesis and composition of the biomass producing constitutive lipids *Debaryomyces globosus* in continuous culture [Issledovanie sinteza lipidov i sostava biomassy konstitutivnogo produkta lipidov *Debaryomyces globosus* v usloviakh nepreryvnogo kul'tivirovaniia], Mikrobiologiya, 63:1007–1014. (In Russian)
- 5 Kumar J, Banerjee R (2013) Optimization of lipid enriched biomass production from oleaginous fungus using response surface methodology. Indian J Exp Biol, 51:979-983.
- 6 Wang J, Zhang B, Chen S (2011) Oleaginous yeast *Yarrowia lipolytica* mutants with a disrupted fatty acyl-CoA synthetase gene accumulate saturated fatty acid, Process Biochem, 46: 1436-1441.
- 7 Kim SB, Nadashkovskaya OI, Mikhailov VV, Han SK, Kim KO, Rhee MS, Bae KS (2004) *Kocuria marina* sp. nov., a novel marine sediment. Int J Syst Evol Microbiol, 54:1617-1620.
- 8 Ward O, Singh A (2005) Omega-3/6 fatty acids: Alternative sources of production, Process Biochem, 4:3627–3652.
- 9 Egorov NS (1976) Workshop on the Biology [Praktikum po mikrobiologii]. Moscow, Russia. (In Russian)
- 10 Kates M (2010) Techniques of Lipidology: Isolation, Analysis, and Identification of Lipids, Newport: Newport Somerville Innovation, 422:128-135.
- 11 Garbus J, Deluca HF, Loomans M. E., Strong F. M. (1963) Rapid incorporation of phosphate into mitochondrial lipids, J.Biol.Chem, 238: 59-63.
- 12 Christie WW (2003) Lipid analysis. Isolation, separation, identification and structural analysis of lipids, Bridgewater: The Oily Press, 416:57-59.
- 13 Silva M, Manfio GP, Canhos VP (1998) Characterization of selected strains of Mucorales using fatty acid profiles, Braz J Microbiol, 29(4): 276-281.
- 14 Gupta A, Vongsvivut J, Barrow CJ, Puri M (2012) Molecular identification of marine yeast and its spectroscopic analysis establishes unsaturated fatty acid accumulation, J Biosci Bioeng, 114(4): 411-417.
- 15 Kaneda T (1967) Fatty acids in the genus *Bacillus*. I. Iso- and anteiso-fatty acids as characteristic constituents of lipids in 10 species, J Bacteriol, 93(3): 894-903.