

УДК 579.6:663.11

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИКРООРГАНИЗМОВ, СИНТЕЗИРУЮЩИХ DE NOVO ЛЕТУЧИЕ ДУШИСТЫЕ ВЕЩЕСТВА

Шпичка А.И., Семенова Е.Ф.

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза,
e-mail: ana-shpichka@yandex.ru, sef1957@mail.ru

Рассмотрены литературные данные по ароматобразующей способности микроорганизмов: бактерий, актиномицетов, грибов, дрожжей, микроводорослей. Проанализированные отечественные и зарубежные источники, посвященные изучению представителей разных таксонов, позволяют оценить уровень накопления и компонентный состав синтезируемых летучих душистых соединений, скорость роста культуры и другие свойства, важные для биотехнологического производства. Полученные результаты позволяют выделить виды родов *Ceratocystis*, *Eremothecium*, *Trichoderma*, *Kluyveromyces* царства *Fungi* как наиболее перспективные для дальнейшего изучения и внедрения продуценты ароматобразующих веществ с фруктовым и цветочным направлениями запаха. Причем эфирные масла, синтезируемые представителями первых двух родов, представляют большую ценность, так как по компонентному составу наиболее приближены к розовому, одному из самых востребованных на мировом рынке, эфирному маслу.

Ключевые слова: бактерии, микроводоросли, грибы, дрожжи, эфирные масла, душистые вещества, синтез de novo

COMPARATIVE CHARACTERISTIC OF MICROORGANISMS THAT SYNTHESIZE VOLATILE FRAGRANT SUBSTANCES DE NOVO

Shpichka A.I., Semenova E.F.

Penza State University, Penza, e-mail: ana-shpichka@yandex.ru, sef1957@mail.ru

The literature data about aroma-building ability of microorganisms (bacteria, actinomycetes, fungi, yeasts, microalgae) was reviewed. Analyzed native and foreign sources, dedicated to investigations of representatives of different taxons, permit to estimate the level of accumulation and the composition of synthesized volatile fragrant substances, the speed of culture growth and other properties which are important for biotechnological production. The results provide a possibility to highlight the species of *Ceratocystis*, *Eremothecium*, *Trichoderma*, *Kluyveromyces* genera, *Fungi* kingdom, as the most perspective for further research of producers of aroma-building substances with fruit and flower fragrance. Besides the essential oils produced by representatives of first two genera has a better value because they are approached by component composition to rose oil which is one of the most demanded oils on the world market.

Keywords: bacteria, microalgae, fungi, yeast, essential oils, fragrant substances, synthesis de novo

В природе известно около 100 000 видов микроорганизмов, причем изучено лишь несколько сотен видов, которые синтезируют вещества или осуществляют реакции, полезные для человека, и используются в хозяйственной деятельности с древних времен для получения таких ароматных продуктов питания и напитков, как сыр, хлеб, вино, пиво и др. Но, несмотря на это, важная роль микроорганизмов как природных источников различных ароматов не была осознана и исследована вплоть до первой половины XX-го столетия [21]. Одни из первых работ по этой теме были написаны выдающимся русским микробиологом Василием Леонидовичем Омелянским [33]. В последние 25–30 лет значительно интенсифицировалось изучение ароматобразующих микроорганизмов, вызванное не столько фундаментальной необходимостью идентификации продуктов их метаболизма, сколько потребностью пищевой, парфюмерно-косметической и химико-фармацевтической промышленности в новых путях получения натуральных душистых соединений для удовлетворения спроса населения на современные ароматпродукты [27, 36].

Большинство используемых сейчас натуральных ароматизаторов является эфирными маслами, получаемыми для производственных целей лишь из сырья сравнительно небольшого числа видов высших растений. Качество эфирного масла существенно зависит от экологических факторов, местности, в которой выращиваются эфирносы, кроме того, плантационное выращивание характеризуется сезонностью. Указанные проблемы способны решить биотехнологии на основе микробного синтеза, которые являются более конкурентоспособными по сравнению с биотехнологиями получения эфирных масел в культуре изолированных растительных клеток и тканей [12, 38, 47]. В связи с этим особый интерес в качестве нетрадиционных источников эфирных масел представляют микроорганизмы (бактерии, актиномицеты, грибы, дрожжи, водоросли), способные синтезировать эти субстанции *de novo*.

Целью данного исследования является проведение анализа литературных данных по микроорганизмам, способным синтезировать *de novo* летучие душистые вещества, сравнение продуцентов по таксономиче-

скому положению, химическому строению и запаху ароматобразующих веществ в связи выявлением наиболее перспективных для дальнейшего изучения и внедрения в производство представителей микромира.

Материалы и методы исследования

В работе использован контент-анализ отечественных и зарубежных литературных источников.

Результаты исследования и их обсуждение

В проведенных отечественными и зарубежными специалистами исследованиях по изучению ароматобразующей способности представителей разных таксонов дана оценка по уровню накопления и составу смеси синтезируемых летучих душистых соединений, скорости роста культуры и другим свойствам, важным для биотехнологического производства [1, 2, 4–10, 14, 15, 17–20, 22–24, 30, 31, 34, 35, 37, 41–43, 45, 50]. Кроме этого, особое внимание уделяется выяснению механизмов синтеза, путей метаболизма, влияющих на этот процесс [10, 14, 15, 20, 21, 31, 37, 45, 50].

Среди изученных представителей [23, 27, 31, 33, 36] царства *Bacteria*, типов *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Actinobacteria* (табл. 1) можно выделить 4 основные группы микроорганизмов в зависимости от направления запаха синтезируемого класса соединений. К первой группе относятся палочковидные бактерии типов *Firmicutes* и *Actinobacteria*, являющиеся продуцентами пиразинов, обладающих запахом жареного. Вторая группа включает грамположительные шаровидные и палочковидные бактерии типа *Firmicutes*, порядка *Lactobacillales*, которые способны синтезировать кетоны, эфиры, альдегиды, ацилоины, обладающие маслянисто-сливочным запахом. Третья группа состоит из более разнообразных в отношении таксономического положения микроорганизмов, продуцирующих спирты и сложные эфиры с фруктовым ароматом. Стрептомицеты, синтезирующие геосмин и ряд других веществ, обладающих земляным запахом, составляют последнюю, четвертую, группу продуцентов.

Таблица 1

Бактерии, синтезирующие летучие душистые вещества *de novo*

Вид микроорганизма	Таксономическое положение	Синтезируемые летучие вещества	Запах	Ссылки
1	2	3	4	5
<i>Bacillus cereus</i>	Bacteria, Firmicutes, Bacillales, Bacillaceae	2-ацетил-1-пирролин	запах приготовленного риса	[27]
<i>Bacillus subtilis</i>	Bacteria, Firmicutes, Bacillales, Bacillaceae	пиразины	запах жареного	[8]
<i>Clostridium acetobutylicum</i>	Bacteria, Firmicutes, Clostridiales, Clostridiaceae	бутилбутират	фруктовый, ананасовый	[36]
<i>Lactococcus lactis</i>	Bacteria, Firmicutes, Lactobacillales, Streptococcaceae	2,3-бутандион, эфиры	жирный запах сливочного масла и сметаны	[23, 31]
<i>Streptococcus cremoris</i>	Bacteria, Firmicutes, Lactobacillales, Streptococcaceae	2,3-бутандион, ацетальдегид	запах сливочного масла	[31, 36]
<i>Streptococcus lactis</i>	Bacteria, Firmicutes, Lactobacillales, Streptococcaceae	2,3-бутандион, ацетальдегид	запах сливочного масла	[31, 36]
<i>Lactobacillus maltaromicus</i>	Bacteria, Firmicutes, Lactobacillales, Lactobacillaceae	3-метилбутаналь, 3-метилбутанол, изобутаналь, изобутанол	солодовый	[36]
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Bacteria, Firmicutes, Lactobacillales, Lactobacillaceae	ацетоин, 2,3-бутандион	маслянисто-сливочный	[31]
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Bacteria, Firmicutes, Lactobacillales, Leuconostocaceae	ацетоин	маслянисто-сливочный	[23]
<i>Erwinia carotovora</i> (syn. <i>Erwinia arrosepitae</i> , <i>Pectobacterium carotovorum</i>)	Bacteria, Proteobacteria, Enterobacteriales, Enterobacteriaceae	алифатические эфиры, 3-метилбутилацетат, изобутилацетат, метионол, метианола ацетат, изобутанол, 2-фенилэтанол, триптофол	запах банана	[36]

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Bacteria, Proteobacteria, Pseudomonadales, Pseudomonodaceae	2-аминоацетофенон	подобный винограду, сладкий, ароматный, подобный жасмину	[36]
<i>Pseudomonas fragi</i>	Bacteria, Proteobacteria, Pseudomonadales, Pseudomonodaceae	этилбутират, этилизовалериат	ананасовый, фруктовый	[36]
<i>Pseudomonas fragi</i> CRDA 037	Bacteria, Proteobacteria, Pseudomonadales, Pseudomonodaceae	этилбутират, этил-3-метилбутират, этилгексаноат, этил-2-гексеноат, этилкротонат, этил-2-метилгексаноат	фруктовый, клубничный	[36]
<i>Pseudomonas oleovorans</i>	Bacteria, Proteobacteria, Pseudomonadales, Pseudomonodaceae	метилкетоны	неприятный	[27]
<i>Pseudomonas perolens</i>	Bacteria, Proteobacteria, Pseudomonadales, Pseudomonodaceae	2-метокси-3-изопропилпиразин	заплесневелый, подобный картофелю	[36]
<i>Pseudomonas pseudomallei</i>	Bacteria, Proteobacteria, Pseudomonadales, Pseudomonodaceae	борнеол, изоборнеол	хвойный	[27]
<i>Pseudomonas taetrolens</i>	Bacteria, Proteobacteria, Pseudomonadales, Pseudomonodaceae	2-метокси-3-изопропилпиразин	заплесневелый, подобный картофелю	[36]
<i>Zymomonas mobilis</i>	Bacteria, Proteobacteria, Sphingomonadales, Sphingomonodaceae	ацетальдегид	резкий, запах прелых яблок	[36]
<i>Corynebacterium glutamicum</i>	Bacteria, Actinobacteria, Actinomycetales, Corynebacteriaceae	тетраметилпиразин из некоторых аминокислот	запах жареного	[31, 36]
<i>Streptomyces citreus</i>	Bacteria, Actinobacteria, Actinomycetales, Streptomycetaceae	геосмин	земляной	[27]
<i>Streptomyces griseus</i>	Bacteria, Actinobacteria, Actinomycetales, Streptomycetaceae	геосмин	земляной	[36]
<i>Streptomyces odorifer</i>	Bacteria, Actinobacteria, Actinomycetales, Streptomycetaceae	геосмин, 2-эксгидрокси-2-метилборнан, 2-метилизоборнеол, 2-изопропил-3-метоксипиразин	земляной, заплесневелый	[36]

Необходимо заметить, что, как правило, фруктовый аромат у представителей третьей группы бактерий обеспечивается за счет синтеза 2–5 компонентов в количестве, например, у *Erwinia carotovora* 600 мг на литр культуральной жидкости [36], которые, как было сказано выше, являются спиртами и сложными эфирами. Причем стоит отметить, что получение этих веществ химическим путем не представляет сложности и обеспечивает более высокий выход.

Особый интерес с целью получения эфирных масел представляют водоросли. Сравнительный анализ культур сине-зеленых, зеленых и красных водорослей, относящихся к родам *Calothrix*, *Cylindrospermum*, *Anabaena*, *Nostoc*, *Spirulina*, *Chlorella*,

Cyanidium, показал, что количество синтезируемых ими летучих душистых веществ находится на уровне 3 мг на литр культуральной жидкости [6]. Однако использование биомассы *Chlorella vulgaris*, *Spirulina platensis* и других микроводорослей перспективно для получения спиртовых экстрактов типа резиноида дубового мха, входящего в состав духов в качестве фиксатора запаха, а также самостоятельного пигментированного ароматического начала (табл. 2), обладающего антисептическим, закрепляющим, отхаркивающим, антиоксидантным и заживляющим действиями. Коммерческий сбор дубового мха ведется в странах Южной и Центральной Европы с дальнейшей переработкой во Франции [6, 22, 24, 30, 41].

Таблица 2

Водоросли, синтезирующие летучие душистые вещества *de novo*

Вид	Таксономическое положение	Синтезируемые летучие вещества	Запах	Ссылки
<i>Chlorella vulgaris</i>	Plantae, Chlorophyta, Trebouxiophyceae, Chlorellaceae	резиноид типа дубового мха	сильный запах земли и мха	[6, 41]
<i>Nostoc commune</i>	Bacteria, Cyanobacteria, Cyanophyceae, Nostocaceae	носкомин, комностин, ностоциклин, геосмин	земляной	[13]
<i>Nostoc punktiforme</i>	Bacteria, Cyanobacteria, Cyanophyceae, Nostocaceae	геосмин, 2-метиоизоборнеол	земляной	[6, 22, 41]
<i>Scenedesmus acutus</i>	Plantae, Chlorophyta, Chlorophyceae, Scenedesmaceae	резиноид типа дубового мха	сильный запах земли и мха	[6, 41]
<i>Scenedesmus incrassatulus</i>	Plantae, Chlorophyta, Chlorophyceae, Scenedesmaceae	изопренилацетат, фитол, ферругинол, бензилциннамат, бутандиол	цветочно-бальзамический	[24]
<i>Spirulina platensis</i>	Bacteria, Cyanobacteria, Cyanophyceae, Pseudanabaenaceae	резиноид типа дубового мха	сильный запах земли и мха	[6, 41]

По нашему мнению, наиболее перспективными с целью получения эфирных масел и летучих душистых соединений с разнообразными направлениями запаха являются грибные культуры, в частности, относящиеся

к базидиомицетам и аскомицетам, в том числе дрожжи, поскольку они способны накапливать промышленно важные и биологически активные метаболиты (табл. 3, 4) [1, 2, 4, 5, 7, 9, 14, 15, 17–20, 34, 35, 37, 41–43, 45, 50].

Таблица 3

Мицелиальные грибы, синтезирующие летучие душистые вещества *de novo*

Вид микроорганизма	Таксономическое положение	Синтезируемые летучие вещества	Запах	Ссылки
1	2	3	4	5
<i>Agaricus bisporus</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Agaricaceae	3-метилбутаналь, 3-октанон, 1-октен-3-он, 3-октанол, 1-октен-3-ол, фурфураль, бензальдегид, фенилацетальдегид, бензиловый спирт	сильный грибной запах (1-октен-3-он)	[36]
<i>Bjerkondera adusta</i> (syn. <i>Polyporus adustus</i>)	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Polyporaceae	4-метоксибензальдегид, 3,4-диметоксибензальдегид, 3,4-диметоксибензиловый спирт, 4-деканол	сладкий, ароматный, подобный ванили	[27, 31, 36]
<i>Lentinus edodes</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Polyporaceae	лентионин, 1-октен-3-ол, 1-октен-3-он	грибной	[27]
<i>Lentinus lepideus</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Polyporaceae	метилциннамат, коричная кислота, сесквитерпины с кадиановой структурой, кадинол, мууролол, кубенолы, фарнезол, дрименол, сесквитерпеновые эфиры с мууролановой структурой, террестрол	фруктовый, ароматный, анисовый, кедровый	[36]
<i>Polyporus durus</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Polyporaceae	4-бутанолид, 4-пентанолид, 3-пентен-4-олид, 4-гексанолид, 2-гексен-4-олид, 5-гексен-4-олид, 5-гексанолид, 2-гептен-4-олид, 4-гептанолид, 4-октанолид, 2-нонен-4-олид, 2-децен-4-олид, 4-деканол, сесквитерпены	запах кокоса, ананаса	[36]

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5
<i>Polyporus tuberaster</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Polyporaceae	метилбензоат, этилбензоат, бензальдегид	цветочно-фруктовый с нотами иланг-иланга	[27, 31]
<i>Pycnoporus cinnabarinus</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Polyporaceae	ванилин, метилантранилат	запах ванили	[27]
<i>Trametes odorata</i> (syn. <i>Gloeophyllum odoratum</i> ; syn. <i>Osmoporus odoratus</i>)	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Polyporaceae	метиланизат, анизальдегид, δ-кадинен	подобный анису	[36]
<i>Wolfiporia cocos</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Polyporaceae	линалоол	запах ландыша	[27]
<i>Boletus edulis</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Boletaceae	пиразины, 2-формилпирролы	запах высушенных грибов	[36]
<i>Gloeophyllum odoratum</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Gloeophyllaceae	дрименол, метил-3-гидрокси-3,7-диметил-6-октенаат, 1-октен-3-ол	приятный фруктовый	[36]
<i>Inocube coridalina</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Cortinariaceae	метилциннамат	фруктовый. розоподобный	[36]
<i>Inocube pyrlodora</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Cortinariaceae	метилциннамат	фруктовый. розоподобный	[36]
<i>Inocube odorata</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Cortinariaceae	метилциннамат	фруктовый, розоподобный	[36]
<i>Ischnoderma benzoinum</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Fomitopsidaceae	бензальдегид, 4-метоксибензальдегид, 2-фенилэтанол	запах миндаля, запах цветов боярышника	[9, 27]
<i>Poria aurea</i> (syn. <i>Auriporia aurea</i>)	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Fomitopsidaceae	2-октен-4-олид	сладкий	[36]
<i>Lentinellus cochleatus</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Auriscalpiaceae	транс-неролидол, фокиенол, 6-формил-2,2-диметилхромен	подобный анису	[36]
<i>Lepista irina</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Tricholomataceae	(3S, 4S, 10R)-3,10-эпокси-11-оксо-бисабола-1,8-диен – лепистирон	запах ирисового масла, цветков апельсина	[36]
<i>Mycena pura</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Tricholomataceae	цитронеллол	запах розы	[27]
<i>Mycocacia uda</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Meruliaceae	p-толуальдегид, p-метилацетофенон, p-метилбензиловый спирт, p-толил-1-этанол	фруктовый	[36]
<i>Phlebia radiata</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Meruliaceae	4-деканолит	фруктовый с нотой персика	[27]
<i>Oospora suaveolens</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Botryobasidiaceae	эферы аминокислот	фруктовый	[36]
<i>Pleurotus euosmus</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Pleurotaceae	линалоол, кумарин, цис-и транс-линалоолокисды	сладкий, цветочный	[36]

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5
<i>Pleorotus pulmonarius</i>	Fungi, Basidiomycota, Agaricomycetes, Pleurotaceae	1-октен-3-ол, 1-октен-3-он	грибной	[27]
<i>Cystostereum muraii</i>	Fungi, Basidiomycota, Basidiomycetes, Cystostereaceae	1-октен-3-он, бензофурановые терпеноиды, бисаболан	запах ванили, кокосовых хлопьев	[36]
<i>Tyromyces sambuceus</i>	Fungi, Basidiomycota, Basidiomycetes, Polyporaceae	4-декалактон (4-деканолд), другие лактоны	запах персика, маракуйи, кокоса	[31, 36]
<i>Aspergillus niger</i>	Fungi, Ascomycota, Eurotiomycetes, Trichocomaceae	метилкетоны; 2-фенилэтанол	неприятный; розоподобный	[9, 27]
<i>Aspergillus oryzae</i>	Fungi, Ascomycota, Eurotiomycetes, Trichocomaceae	1-октен-1-ол	ананасовый	[9, 36]
<i>Aspergillus terreus</i>	Fungi, Ascomycota, Eurotiomycetes, Trichocomaceae	этилацетат	фруктовый	[45, 50]
<i>Penicillium decumbens</i>	Fungi, Ascomycota, Eurotiomycetes, Trichocomaceae	туйопсен, 3-октанон, неролидол, 1-октен-3-ол, β-фенилэтиловый спирт	подобный сосне, розе, яблоку, грибам	[36]
<i>Trichothecium roseum</i>	Fungi, Ascomycota, Ascomycetes, incertae sedis	нерол, линалоол, цитронеллол, терпинеол, неролидол, линалилацетат, цитронеллилацетат, геранилацетат, 1-октен-3-ол, 3-октанол, 1,5-октадиен-3-ол, октан-1-ол, 2-октен-1-ол	цветочный, грибной	[36]
<i>Ceratocystis courulescens</i>	Fungi, Ascomycota, Sordariomycetes, Ophiostomataceae	6-метил-5-гептен-2-он, 6-метил-5-гептен-2-ол, неролидол, цитронеллол, цитронеллилацетат, 2,3-дигидрофарнезол, транс-фарнезол, гераниол, геранилацетат, нерол, линалоол, α-терпинеол, нерилацетат	фруктовый	[36]
<i>Ceratocystis fimbriata</i>	Fungi, Ascomycota, Sordariomycetes, Ophiostomataceae	линалоол, цитронеллол, гераниол, α-терпинеол	сладкий, фруктовый	[8, 18, 31, 35, 36]
<i>Ceratocystis moniliformis</i>	Fungi, Ascomycota, Sordariomycetes, Ophiostomataceae	3-метилбутилацетат, гераниол, цитронеллол, нерол, линалоол, α-терпинеол, гераниаль, нераль, цитронеллилацетат, геранилацетат	запахи банана, груши, розы, персика	[31, 36]
<i>Ceratocystis populina</i>	Fungi, Ascomycota, Sordariomycetes, Ophiostomataceae	бициклические сесквистерпены с 1,7-диметил-4-изопропилдекалиновым скелетом, δ-кадиол, δ-кадинен	приятный фруктовый аромат	[36]
<i>Ceratocystis varispora</i>	Fungi, Ascomycota, Sordariomycetes, Ophiostomataceae	цитронеллол, цитронеллилацетат, гераниаль, нераль, гераниол, линалоол, геранилацетат, нерол, α-терпинеол	ароматный, подобный герани	[36]
<i>Ceratocystis virescens</i>	Fungi, Ascomycota, Sordariomycetes, Ophiostomataceae	цитронеллол, гераниол, линалоол, геранилацетат, нерол, α-терпинеол, гераниаль, нераль, цитронеллилацетат, нерилацетат	фруктовый, розоподобный	[36]

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5
<i>Leptographium lundbergii</i>	Fungi, Ascomycota, Sordariomycetes, Ophiostomataceae	сесквистерпеновые спирты с африканановым скелетом (африканолы): лептографiol, изолептографiol, изоафриканол	фруктовый, сладкий	[36]
<i>Chaetomium globosum</i>	Fungi, Ascomycota, Sordariomycetes, Chaetomiaceae	геосмин	земляной	[36]
<i>Fusarium pore</i>	Fungi, Ascomycota, Sordariomycetes, Nectriaceae	τ -лактоны, τ -декалактон и (Z)-6- τ -додеценолактон	фруктовый, персиковый	[27, 36]
<i>Hypomyces odoratus</i>	Fungi, Ascomycota, Sordariomycetes, Hypocreaceae	сесквитерпеновые эфиры и спирты, 1-октен-3-ол	подобный камфоре	[36]
<i>Trichoderma koningii</i>	Fungi, Ascomycota, Sordariomycetes, Hypocreaceae	6-пентил- α -пирон	запах кокоса	[36]
<i>Trichoderma reesei</i>	Fungi, Ascomycota, Sordariomycetes, Hypocreaceae	6-пентил-2-пирон	запах кокоса	[36]
<i>Trichoderma viride</i>	Fungi, Ascomycota, Sordariomycetes, Hypocreaceae	6-пентил-2-пирон, 6-(пент-1-енил)-2-пирон	запах кокоса	[8, 9, 21, 31, 36, 50]
<i>Cladosporium cladosporoides</i>	Fungi, Ascomycota, Dothideomycetes, Davidiellaceae	изобутиловый спирт, изобутилацетат, 3-метилбутанол, 3-метилбутилацетат, β -фенилэтанол, β -фенилацетат	фруктовый	[36]
<i>Cladosporium suaveolens</i>	Fungi, Ascomycota, Dothideomycetes, Davidiellaceae	γ -декалактон, δ -додекалактон	кокосовый	[31]
<i>Monilia fruticola</i>	Fungi, Ascomycota, Leotiomyces, Sclerotiniaceae	4-окталактон, 4-декалактон	запах персика	[36]
<i>Ascoidea hylecoeti</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Ascoidaceae	β -фенилэтанол, фуран-2-карбоновая кислота, цитронеллол, нерол, линалоол, α -терпинеол, цитронеллаль, лимонен, мирцен, цитронеллилацетат	фруктовый, цветочный, розоподобный	[27, 36]
<i>Geotrichum candidum</i> (Staron)	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Endomycetaceae	этилизутират, этил-2-метилбутират, этил-3-метилбутират	фруктовый	[36]
<i>Geotrichum candidum</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Endomycetaceae	этилацетат, 3-метилбутанол, 3-метилбутилацетат, β -фенилэтанол, β -фенилэтилацетат	запах дыни	[36]
<i>Geotrichum penicillatum</i> (syn. <i>Trichosporon penicillatum</i>)	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Endomycetaceae	этиловые эфиры, этил-2-метилбутират, этил-3-метилбутират, этилизутират, этилбутират	фруктовый	[9, 36]

Таблица 4

Дрожжи и дрожжеподобные грибы, синтезирующие летучие душистые вещества *de novo*

Вид микроорганизма	Таксономическое положение	Синтезируемые летучие вещества	Запах	Ссылки
1	2	3	4	5
<i>Ambrosiozyma cicatricosa</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Saccharomycopsidaceae	гераниол, цитронеллол, нерол, β-фенилэтиловый спирт, α-терпинеол, нерол, цитраль, линалоол	подобный розе	[36]
<i>Ambrosiozyma monospora</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Saccharomycopsidaceae	гераниол, цитронеллол, нерол, β-фенилэтиловый спирт, α-терпинеол, нерол, цитраль, линалоол	подобный розе	[36]
<i>Dipodascus magnusii</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Dipodascaceae	высшие спирты и эфиры	яблочный, фруктовый	[36]
<i>Eremothecium ashbyi</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Eremotheciaceae	гераниол, цитронеллол, нерол, β-фенилэтиловый спирт, линалоол, цитраль, фарнезол	подобный розе	[2, 4, 5, 7, 36, 41-43]
<i>Eremothecium gossypii</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Eremotheciaceae	гераниол, цитронеллол, нерол, β-фенилэтиловый спирт, линалоол, цитраль, фарнезол	подобный розе	[1, 5, 41-43]
<i>Hansenula anomala</i> (syn. <i>Pichia anomala</i>)	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Saccharomycetaceae	этилацетат, изобутилацетат, триметилбутилацетат, фенилэтилацетат, фенилэтиловый спирт	цветочно-фруктовый	[9, 31, 36]
<i>Hansenula mrakii</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Saccharomycetaceae	2- и 3-метилбутилацетат, изобутилацетат	фруктовый, банановый	[36]
<i>Hansenula saturnus</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Saccharomycetaceae	этилацетат, 3-метилбутанол, 3-метилбутилацетат, 2-фенилэтанол, 2-фенилэтилацетат	розоводный	[36]
<i>Kluyveromyces lactis</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Saccharomycetaceae	цитронеллол, гераниол, линалоол, β-фенилэтанол, эфиры, изоамиловый спирт, ацетоин, 2-фенилацетат, изобутанол, изовалериановая кислота	фруктовый, подобный розе, цветочный	[19, 27, 36, 50]
<i>Kluyveromyces marxianus</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Saccharomycetaceae	2-фенилэтанол	подобный розе	[9, 21, 31, 50]
<i>Pichia farinosa</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Saccharomycetaceae	этилацетат, 3-метилбутанол, 3-метилбутилацетат, 2-фенилэтанол, 2-фенилэтилацетат	розоводный	[36]
<i>Pichia fermentans</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Saccharomycetaceae	2-фенилэтанол	подобный розе	[17]
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Saccharomycetaceae HYPERLINK «http://bvi.rusf.ru/taksa/s0020/s0020298.htm»	2-фенилэтанол; 4-деканол; линалоол, гераниол, цитронеллол, α-терпенеол; ванилин	подобный розе; персиковый; цветочно-фруктовый; запах ванили	[9, 14, 15, 17, 20, 31, 50]

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5
<i>Saccharomyces fermentati</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Saccharomycetaceae HYPERLINK «http://bvi.rusf.ru/taksa/s0020/s0020298.htm»	линалоол, неролидол, транс-фарнезол	цветочный	[36]
<i>Saccharomyces rosei</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Saccharomycetaceae HYPERLINK «http://bvi.rusf.ru/taksa/s0020/s0020298.htm»	β-мирцен, лимонен, линалоол, α-терпинеол, фарнезол	цветочный, цветочно-фруктовый	[36]
<i>Saccharomyces vini</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Saccharomycetaceae HYPERLINK «http://bvi.rusf.ru/taksa/s0020/s0020298.htm»	2-фенилэтанол	подобный розе	[9]
<i>Torulopsis utilis</i> (syn. <i>Candida utilis</i>)	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Saccharomycetaceae	2-фенилэтанол, этилацетат	подобный розе	[8, 9]
<i>Zygosaccharomyces rouxii</i>	Fungi, Ascomycota, Saccharomycetes, Saccharomycetaceae	4-гидрокси-2(или 5)-этил-5(или 2)-3(2H)-фуранон, фуранеол	интенсивный сладкий запах	[31, 36]
<i>Schizosaccharomyces pombe</i>	Fungi, Ascomycota, Schizosaccharomycetes, Schizosaccharomycetaceae	ванилин	запах ванили	[15]
<i>Sporobolomyces odorus</i> (syn. <i>Sporidiobolus salmonicolor</i>)	Fungi, Basidiomycota, Microbotryomycetes, Sporidiobolaceae	4-деканолд, 5-деканолд, цис-7-децен-5-олд, цис-6-додецен-4-он	интенсивный персиковый запах	[8, 21, 27, 36, 37, 50]
<i>Sporobolomyces roseus</i>	Fungi, Basidiomycota, Microbotryomycetes, Sporidiobolaceae	4-декалактон	персиковый	[9, 36]

Осуществленный направленный поиск перспективных объектов для биотехнологии ароматических продуктов в пределах родов *Trichoderma*, *Ceratocystis*, *Aspergillus*, *Eremothecium* и др. дал возможность охарактеризовать различия между видами, штаммами по уровню биосинтетической активности и составу эфирного масла [1, 2, 4, 5, 7–9, 14, 15, 17, 19–21, 27, 35–37, 42, 43, 45, 50]. Наибольший интерес с целью получения эфирного масла представляют виды родов *Ceratocystis*, *Trichoderma*, *Eremothecium*, *Pichia*, *Saccharomyces* и др.

Среди основных направлений запаха смеси синтезируемых ими летучих душистых соединений можно выделить цветочный, причем преобладает аромат розы, который обеспечивается у большинства продуцентов только за счет β-фенилэтилового спирта в результате ферментативных реакций дезаминирования, декарбоксилрования и окисления L-фенилаланина [9, 27, 36]. Однако *Ceratocystis sp.*, *Eremothecium sp.* и *Kluveromyces sp.* способны также синтезировать монотерпеновые спирты (гераниол, цитронеллол, нерол, линалоол, фарнезол и др.), являющиеся главными компо-

нентами розового эфирного масла [1, 2, 4, 5, 7, 8, 14, 19, 27, 31, 35, 36, 42, 43]. Этот натуральный продукт, цена которого на мировом рынке достигает 80\$ за 1 грамм, чрезвычайно востребован [16, 26, 40]. Розовое масло и розовая вода широко применяются в парфюмерно-косметическом, кондитерском, мыловаренном, ликеро-водочном, а также фармацевтическом производствах, так как за счет входящих в них компонентов они обладают спазмолитическим, иммуномодулирующим, антиоксидантным и умеренным антибактериальным (бактериостатическим) действием, эффективны против широкого спектра бактерий, грибов, вирусов, обеспечивают повышение на их фоне чувствительности возбудителей к антибактериальным средствам, а также приятные органолептические характеристики позволяют их использовать в качестве корригантов с целью улучшения вкуса и запаха [3, 11, 32, 44].

Возможность выделения монотерпеновых спиртов при культивировании этих продуцентов подтверждает наличие определенных ферментативных систем для их биосинтеза, непосредственно сопряженных с образованием предшественника терпенов

и терпеноидов – изопентилдифосфата [25, 39, 46, 48]. Выяснение путей синтеза изопентилдифосфата и условий изомеризации нестабильных монотерпеновых спиртов имеет большое значение для регулирования ферментационного процесса при получении конечного продукта с конкретным заданным компонентным составом. Так, на основании родства *Saccharomyces sp.*, *Kluyveromyces sp.*, *Eremothecium sp.* [28, 29, 49] и их способности биосинтеза терпеновых соединений можно предположить наличие схожих ферментативных систем, катализирующих и регулирующих процессы образования и полимеризации изопентилдифосфата, изомеризации геранилдифосфата.

Кроме того, многие микромицеты способны синтезировать такие душистые вещества с фруктовым запахом, которые относятся не только к классу сложных эфиров, как в случае с бактериями, но и к более сложным в отношении химического строения соединениям – лактонам. Хотя лактоны также производятся химической промышленностью, однако использование микроорганизмов имеет ряд преимуществ, особенно если необходимо получить оптически активные соединения. *Trichoderma viride* способна генерировать сильный кокосовый аромат при росте на простой питательной среде, который обусловлен в большей степени синтезом 6-пентил-2-пирона в количестве 170 мг на литр мкультуральной жидкости. Химический синтез этого соединения является 7-стадийным, что усложняет и удорожает промышленное производство. Персиковый аромат может быть получен при использовании культуры *Sporobolomyces odoros*, продуцента 4-декалактона [8, 21, 27, 36, 37].

Однако грибы, в большей степени базидиомицеты, представляют также интерес как продуценты летучих душистых веществ с «грибным» запахом, который обусловлен алифатическими 8-углеродными соединениями (1-октен-1-ол, 1-октен-3-он, 1-октен-3-ол, 3-октанол и др.), некоторыми пиразинами и пирролами. Таким образом, при глубинном культивировании они могут быть использованы на производствах пищевой промышленности для получения натуральных ароматизаторов с грибным запахом [27, 31, 36].

Уровень накопления ароматизирующих соединений, синтезируемых грибами, значительно варьируется от сотен мкг (*Ceratocystis populina*) до сотен миллиграмм (*C. varispora*, *C. moniliformis*, *Eremothecium asbyi*, *E. gossypii*, *Trichoderma viride*) на литр культуральной жидкости [1, 2, 4, 5, 7, 14, 15, 17–20, 35–37, 42, 43, 45, 50]. Одни из самых высоких показателей были

отмечены у *E. ashbyi*. Синтез эфирного масла *E. ashbyi* достигает 180 мг на литр культуральной жидкости в течение первых двух суток роста на ферментационной среде, что может быть сопоставлено с содержанием эфирного масла в 500–600 г цветков розы [2, 4, 7, 42, 43]. Причем лучшие показатели по отношению максимального уровня накопления ароматизирующих соединений ко времени ферментации были достигнуты именно у аскомицетов (*Ceratocystis sp.*, *Eremothecium sp.* и др.). Например, культура *C. varispora* способна синтезировать до 1 г эфирного масла на литр культуральной жидкости на 5 день культивирования, в то время как *Bjerkondera adusta* – 30 мг на 24 день, *Lepistira irina* – 81 мг на 28 день, *Lentinus lepideus* – 100 мг на 15 неделе, которые относятся к базидиомицетам [36].

Заключение

Показанное разнообразие ароматизирующих микроорганизмов подчеркивает их важную роль как альтернативных источников эфирных масел и летучих душистых соединений и необходимость их дальнейшего изучения с целью возможного внедрения биотехнологий на их основе в промышленное производство натуральных ароматизаторов. Представители микромира способны синтезировать широкий ряд химических соединений, обладающих разными направлениями запаха: фруктовый, цветочный, цветочно-фруктовый, маслянисто-сливочный, земляной и др. Полученные результаты позволяют выделить виды родов *Ceratocystis*, *Eremothecium*, *Trichoderma*, *Kluyveromyces* царства *Fungi* как наиболее перспективных для дальнейшего изучения продуцентов ароматизирующих веществ с фруктовым и цветочным ароматами, отличающихся высокими скоростью роста и уровнем накопления душистых соединений. Причем эфирные масла, синтезируемые представителями первых двух родов, представляют большую ценность, так как по компонентному составу наиболее приближены к розовому, одному из самых востребованных на мировом рынке, эфирному маслу.

Список литературы

1. Бугорский П.С., Семенова Е.Ф. Душистые вещества мицелиального гриба *Ashbya gossypii* // Химия природных соединений. – 1991. – № 3. – С. 428.
2. Бугорский П.С., Семенова Е.Ф., Родов В.С. Влияние ионов водорода, калия и натрия на продуктивность гриба *Eremothecium ashbyi* // Микробиологический журнал. – 1990. – Т. 52. – № 3. – С. 44–47.
3. Куркин В.А. Фармакогнозия. – 2-е изд., перераб. и доп. – Самара: ООО «Офорт»: ГОУ ВПО «СамГМУ Росздрава», 2007. – 1239 с.
4. Семенова Е.Ф. Биосинтетическая активность и антимикробные свойства *Eremothecium ashbyi* Guill. // Известия вузов. Поволжский регион, 2007. – Серия «Медицинские науки», № 4. – С. 44–50.

5. Семенова Е.Ф., Богданов Н.И. Некоторые результаты биотехнологии ароматических продуктов // Инновационные технологии и продукты: сб. трудов. – Новосибирск, 2000. – Вып. 4. – С. 9–13.
6. Семенова Е.Ф. Скрининг водорослей – продуцентов летучих душистых веществ // Основные направления научных исследований по интенсификации эфиромасличного производства: тезисы докладов V симпозиума. – Кишинев, 1990. – С. 199–200.
7. Семенова Е.Ф., Шпичка А.И., Моисеева И.Я. Культурально-морфологические и физиолого-биохимические свойства видов рода *Eremothecium* // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 6. – С. 210–214.
8. Biotechnological production of bioflavors and functional sugars/ Juliano Lemos Bicas, Junio Cota Silva, Ana Paula Dionisio, Glauca Maria Pastore // *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*. – 2010. – Vol. 30, № 1. – P. 7–18.
9. Biotechnological production of 2-phenylethanol / Etschmann M.M.W., Bluemke W., Sell D., Schrader J. // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 2002. – Vol. 59. – P. 1–8.
10. Biotechnological routes in flavour production / Sushilkumar A. Dubal, Yogesh P. Tilkari, S.A. Momin, Indrakant V. Borkar // *Advanced Biotech.* – 2008. – March. – P. 20–31.
11. Chemical composition and antioxidant activity of the extract and essential oil of *Rosa damascena* from Iran, population of Guilan / Yassa N., Masoomi F., Rohani Rankouhi S.E., Hajiaikhoondi A. // *DARU*. – 2009. – Vol. 17, № 3. – P. 175–180.
12. Collin H.A. Secondary product formation in plant tissue cultures // *Plant Growth Regulation*, 2001. – Vol. 34. – P. 119–134.
13. Debitsky V.M., Rezanka T. Metabolites produced by nitrogen-fixing *Nostoc* species // *Folia Microbiol.* – 2005. – Vol. 50, № 5. – P. 363–391.
14. De novo synthesis of monoterpenes by *Saccharomyces cerevisiae* wine yeasts/ Francisco M. Carrau, Karina Medina, Eduardo Boido, Laura Farina, Carina Caggero, Eduardo Dellacassa, Giuseppe Versini, Paul A. Henschke // *FEMS Microbiology Letters*. – 2005. – Vol. 243. – P. 107–115.
15. De novo biosynthesis of vanillin in fission yeast and baker's yeast/ Esben H. Hansen, Birger Lindberg Moller, Gertrud R. Kock, Camilla M. Buenner, Charlotte Kristensen, Ole R. Jensen, Finn T. Okkels, Carl E. Olsen, Mohammed S. Motawia, Jorgen Hansen // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2009. – Vol 75, № 9. – P. 2765–2774.
16. Erdogan Gunes. Turkey rose oil production and marketing: a review on problem and opportunities // *Journal of Applied Sciences*. – 2005. – Vol. 5, № 10. – P. 1871–1875.
17. Flavor-active wine yeast/Antonio G. Gordente, Christopher D. Curtin, Christian Varela, Isak S. Pretorius // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 2012. – 18 p.
18. Fruity flavour production by *Ceratocystis fimbriata* grown on coffee husk in solid state fermentation / Marlene Soares, Pierre Christen, Ashok Pandey, Carlos Ricardo Soccol // *Process Biochemistry*. – 2000. – Vol. 35, № 8. – P. 857–861.
19. Jianping Jiang. Identification of volatile compounds produced by *Kluyveromyces lactis* // *Biotechnology techniques*. – 1993. – Vol. 7, № 12. – P. 863–866.
20. Joseph A. Kemler, Yajun Yan, Mattheos A.G. Koffas. Biosynthesis of isoprenoids, polyunsaturated acids and flavonoids in *Saccharomyces cerevisiae* // *Microbial Cell Factories*. – 2006. – Vol. 5. – P. 20–29.
21. Haeusler Alex, Muench Thomas. Microbial production of natural flavors // *ASM News*. – 1998. – Vol. 63, № 10. – P. 551–559.
22. Identification of sesquiterpene synthases from *Nostoc punctiforme* and *Nostoc sp.*/ Sean A. Agger, Fernando Lopez-Gallego, Thomas R. Hoye, Claudia Schmidt-Dannert // *Journal of Bacteriology*. – 2008. – Vol. 190, № 8. – P. 6084–6096.
23. Iordan Maria, Barascu Elena, Stoica Alexandru, Popescu Elena Corina. Using microbial systems in order to obtain fermentation flavorings // *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. – 2009. – Vol. 15, № 1. – P. 34–40.
24. Kambourova Roumena, Bankova Vassya, Petkov Georgi. Volatile substances of the green alga *Scenedesmus incrustatus* // *Z. Naturforsch.* – 2003. – Vol. 53. – P. 187–190.
25. Klein-Marcuschamer Daniel, Ajikumar Parayil Kumaran, Stephanopoulos Gregory. Engineering microbial cell factories for biosynthesis of isoprenoids // *TRENDS in Biotechnology*. – 2007. – Vol. 25, № 9. – P. 417–424.
26. Kovacheva N., Rusanov K., Atanassov I. Industrial cultivation of oil bearing rose and rose oil production in Bulgaria during 21st century, directions and challenges // *Biotechnol. & Biotechnol. Eq.* – 2010. – № 2. – P. 1793–1798.
27. Krings U., Berger R.G. Biotechnological production of flavours and fragrances // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 1998. – Vol. 49. – P. 1–8.
28. Kurtzman C.P. Relationships among the genera *Ashbya*, *Eremothecium*, *Holleya* and *Nematospora* determined from rDNA sequence divergence // *Journal of Industrial Microbiology*. – 1995. – Vol. 14. – P. 523–530.
29. Kurtzman C.P., Robnett C.J. Phylogenetic relationships among yeasts of 'Saccharomyces complex' determined by multigene sequence analyses // *FEMS Yeast Research*. – 2003. – Vol. 3. – P. 417–432.
30. Lichens as a source of versatile bioactive compounds / Tatjana Mitrović, Slavisa Stamenković, Vladimir Cvetković, Miloš Nikolić, Svetlana Tošić, Dragana Stojčić // *Biologica Nyssana*. – 2011. – Vol. 2, № 1. – P. 1–6.
31. Maria Asuncion Longo, Maria Angeles Sanroman. Production of food aroma compounds: microbial and enzymatic methodologies // *Food Technol. Biotechnol.* – 2006. – Vol. 44, № 3. – P. 335–353.
32. Nilgün Göktürk Baydar, Hasan Baydar. Phenolic compounds, antiradical activity and antioxidant capacity of oil-bearing rose (*Rosa damascena* Mill.) extracts // *Industrial Crops and Products*. – 2013. – Vol. 41. – P. 375–380.
33. Omeliansky V.L. Aroma-producing microorganisms // *J. Bacteriol.* – 1923. – Vol. 8. – P. 393–419.
34. Pierre Christen. Produccion de aromas por fermentacion en medio solido // *Temas de Investigacion y Posgrado*. – 1995. – Vol. IV, № 2. – P. 102–109.
35. Production and recovery of aroma compounds produced by solid-state fermentation using different absorbents / Adriane B.P. Medeiros, Ashok Pandey, Luciana P.S. Vandenberghe, Glauca M. Pastore, Carlos R. Soccol // *Food Technol. Biotechnol.* – 2006. – Vol.44, № 1. – P. 47–51.
36. Production of flavours by microorganisms/ Janssens L., De Pooter H.L., Schamp N.M., Vandamme E.J. // *Process Biochemistry*. – 1992. – Vol. 27. – P. 195–215.
37. Production d'aromes de type lactone par des levure/Mohamed Alchihab, Jaqueline Destain, Mario Aguedo, Philippe Thonart // *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* – 2010. – Vol. 14, № 4. – P. 681–691.
38. Production of essential oils and flavours in plant cell and tissue culture. A review/ Mulder-Krieger Th., Verpoorte R., Svendsen Baerheim R., Scheffer J.J.C. // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. – 1988. – Vol. 13. – P. 85–154.
39. Regulation of essential oil production on plants/ Sangwan N.S., Farooqi A.H.A., Shahib F., Sangwan R.S. // *Plant Growth Regulation*. – 2001. – Vol. 34. – P. 3–21.
40. Research and current profile of Iranian production of damask rose (*Rosa damascena* Mill.) / Haghighi M., Tehrani-far A., Nikbakht A., Kafi M. // *Acta horticulturae*. – 2008. – Vol. 769. – P. 499–455.
41. Semenova E.F., Shpichka A.I., Moiseeva I.Ya. About essential oils biotechnology on the base of microbial synthesis // *European Journal Of Natural History*. – 2012. – № 4. – P. 29–31.
42. Semenova E.F., Shpichka A.I., Moiseeva I.Ya.. About explanation of elaboration of essential *Eremothecium* oil biotechnology // *International journal of experimental education*. – 2012. – № 3. – P. 35–36.
43. Semenova E.F., Shpichka A.I. Some pharmbiotechnological characteristics of *Eremothecium*, producer of riboflavin and essential oil // *International journal of applied and fundamental research*. – 2012. – № 1. – P. 170–172.
44. Seyhan Ulusoy, Gulgun Bosgelmez-Tinaz, Hale Secilmis-Canbay. Tocopherol, carotene, phenolic contents and antibacterial properties of rose essential oil, hydrosol and absolute // *Curr. Microbiol.* – 2009. – Vol. 59. – P. 554–558.

45. Schindler J., Schmid R.D. Fragrance or aroma chemicals. Microbial synthesis and enzymatic transformation—a review // *Process Biochem.* – 1982. – Vol. 17. – P. 2–8.
46. Schwab Wilfried, Davidovich-Rikanati Rachel, Lewinsohn Efraim. Biosynthesis of plant-derived flavor compounds // *The Plant Journal.* – 2008. – Vol. 54. – P. 712–732.
47. Susan S. Roberts. Production and engineering of terpenoids in plant cell culture // *Nature Chemical Biology.* – 2007. – № 3. – P. 387–395.
48. Terpenoids: opportunities for biosynthesis of natural product drug using engineered microorganisms / Parayil Kumaran Ajikumar, Keith Tyo, Simon Carlsen, Oliver Mucha, Too Heng Phon, Gregory Stephanopoulos // *Molecular Pharmaceutics.* – 2008. – Vol. 5, № 2. – P. 167–190.
49. The yeast, a taxonomic study. Ed. by Kurtzman C.P., Fell J. W. Fourth Edition. – Elsevier Science, 1998. – 1055 p.
50. Vandamme Erick J. Bioflavours and fragrances via fungi and their enzymes // *Fungal Diversity*, 2003. – Vol. 13. – P. 153–166.
- References**
1. Bugorskiy P.S., Semenova E.F. *Himiya prirodnyh soedineniy*, 1991, no. 3, p. 428.
 2. Bugorskiy P.S., Semenova E.F., Rodov V.S. *Microbiologicheskii zhurnal*, 1990, Vol.52, no. 3, pp. 44–47.
 3. Kurkin V.A. *Farmakognosiya* [Pharmacognosy], 2nd ed. Samara, OOO Ofort, GOU VPO SamGMU Roszdava, 2007. 1239 p.
 4. Semanova E.F. *Izvestiya vuzov. Povolzhskiy region*, 2007. Series Medical sciences, no. 4, pp. 44–50.
 5. Semenova E.F., Bogdanov N.I. *Sb. trudov Innovatsionnyye tehnologii i product* [Proc. Innovative technologies and products]. Novosibirsk, 2000, issue 4, pp. 9–13.
 6. Semenova E.F. *V Simpozium Osnovnye napravleniya nauchnykh issledovaniy po intensifikatsii efirnomaslichnogo proizvodstva* [V Workshop The main directions of scientific researches of essential oils production]. Kishinev, 1990, pp. 199–200.
 7. Semenova E.F., Shpichka A.I., Moiseeva I.Ya. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2011, no. 6, pp. 210–214.
 8. Juliano Lemos Bicas, Junio Cota Silva, Ana Paula Dionisio, Glaucia Maria Pastore. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 2010, Vol. 30, no.1, pp. 7–18.
 9. Etschmann M. M. W., Bluemke W., Sell D., Schrader J. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2002, Vol.59, pp. 1–8.
 10. Sushilkumar A. Dubal, Yogesh P. Tilkari, S.A. Momin, Indrakant V. Borkar. *Advanced Biotech.*, 2008, March, pp. 20–31.
 11. Yassa N., Masoomi F., Rohani Rankouhi S.E., Hajaiakhoondi A. *DARU*, 2009, Vol. 17, no. 3, pp. 175–180.
 12. Collin H.A. *Plant Growth Regulation*, 2001, Vol. 34, pp. 119–134.
 13. Debitsky V.M., Rezanka T. *Folia Microbiol.*, 2005, Vol. 50, no. 5, pp. 363–391.
 14. Francisco M. Carrau, Karina Medina, Eduardo Boido, Laura Farina, Carina Caggero, Eduardo Dellacassa, Giuseppe Versini, Paul A. Henschke. *FEMS Microbiology Letters*, 2005, Vol. 243, pp. 107–115.
 15. Esben H. Hansen, Birger Lindberg Moller, Gertrud R. Kock, Camilla M. Buenner, Charlotte Kristensen, Ole R. Jensen, Finn T. Okkels, Carl E. Olsen, Mohammed S. Motawia, Jorgen Hansen. *Applied and Environmental Microbiology*, 2009, Vol 75, no. 9, pp. 2765–2774.
 16. Erdogan Gunes. *Journal of Applied Sciences*, 2005, Vol. 5, no. 10, pp. 1871–1875.
 17. Antonio G. Gordente, Christopher D. Curtin, Christian Varela, Isak S. Pretorius. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2012, 18 p.
 18. Marlene Soares, Pierre Christen, Ashok Pandey, Carlos Ricardo Soccol. *Process Biochemistry*, 2000, Vol. 35, no. 8, pp. 857–861.
 19. Jianping Jiang. *Biotechnology techniques*, 1993, Vol. 7, no. 12, pp. 863–866.
 20. Joseph A. Kemler, Yajun Yan, Mattheos A.G. Koffas. *Microbial Cell Factories*, 2006, Vol. 5, pp. 20–29.
 21. Haeusler Alex, Muench Thomas. *ASM News*, 1998, Vol. 63, no. 10, pp. 551–559.
 22. Sean A. Agger, Fernando Lopez-Gallego, Thomas R. Hoye, Claudia Schmidt-Dannert. *Journal of Bacteriology*, 2008, Vol. 190, no.8, pp. 6084–6096.
 23. Iordan Maria, Barascu Elena, Stoica Alexandru, Popescu Elena Corina. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 2009, Vol. 15, no.1, pp. 34–40.
 24. Kambourova Roumena, Bankova Vassya, Petkov Georgi. *Z. Naturforsch.*, 2003, Vol. 53, pp. 187–190.
 25. Klein-Marcuschamer Daniel, Ajikumar Parayil Kumaran, Stephanopoulos Gregory. *TRENDS in Biotechnology*, 2007, Vol. 25, no.9, pp. 417–424.
 26. Kovacheva N., Rusanov K., Atanassov I. *Biotechnol. & Biotechnol. Eq.*, 2010, no. 2, pp. 1793–1798.
 27. Krings U., Berger R.G. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 1998, Vol. 49, pp. 1–8.
 28. Kurtzman C.P. *Journal of Industrial Microbiology*, 1995, Vol.14, pp. 523–530.
 29. Kurtzman C.P., Robnett C.J. *FEMS Yeast Research*, 2003, Vol. 3, pp. 417–432.
 30. Tatjana Mitrović, Slavisa Stamenković, Vladimir Cvetković, Miloš Nikolić, Svetlana Tošić, Dragana Stojičić. *Biologica Nyssana*, 2011, Vol. 2, no.1, pp. 1–6.
 31. Maria Asuncion Longo, Maria Angeles Sanroman. *Food Technol. Biotechnol.*, 2006, Vol. 44, no.3, pp. 335–353.
 32. Nilgün Göktürk Baydar, Hasan Baydar. *Industrial Crops and Products*, 2013, Vol. 41, pp. 375–380.
 33. Omeliansky V.L. *J. Bacteriol.*, 1923, Vol. 8, pp. 393–419.
 34. Pierre Christen. *Topicos de Investigacion y Posgrado*, 1995, Vol. IV, no.2, pp. 102–109.
 35. Adriane B.P. Medeiros, Ashok Pandey, Luciana P.S. Vandenberghe, Glaucia M. Pastore, Carlos R. Soccol. *Food Technol. Biotechnol.*, 2006, Vol. 44, no.1, pp. 47–51.
 36. Janssens L., De Pooter H.L., Schamp N.M., Vandamme E.J. *Process Biochemistry*, 1992, Vol. 27, pp. 195–215.
 37. Mohamed Alchihab, Jaqueline Destain, Mario Aguedo, Philippe Thonart. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 2010, Vol. 14, no.4, pp. 681–691.
 38. Mulder-Krieger Th., Verpoorte R., Svendsen Baerheim R., Scheffer J.J.C. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 1988, Vol. 13, pp. 85–154.
 39. Sangwan N.S., Farooqi A.H.A., Shabih F., Sangwan R.S. *Plant Growth Regulation*, 2001, Vol. 34, pp. 3–21.
 40. Haghighi M., Tehranifar A., Nikbakt A., Kafi M. *Acta horticulturae*, 2008, Vol. 769, pp. 499–455.
 41. Semenova E.F., Shpichka A.I., Moiseeva I.Ya. *European Journal Of Natural History*, 2012, no.4, pp. 29–31.
 42. Semenova E.F., Shpichka A.I., Moiseeva I.Ya. *International journal of experimental education*, 2012, no.3, pp. 35–36.
 43. Semenova E.F., Shpichka A.I. *International journal of applied and fundamental research*, 2012, no. 1, pp. 170–172.
 44. Seyhan Ulusoy, Gulgun Bosgelmez-Tinaz, Hale Secilmis-Canbay. *Curr. Microbiol.*, 2009, Vol. 59, pp. 554–558.
 45. Schindler J., Schmid R.D. *Process Biochem.*, 1982, Vol. 17, pp. 2–8.
 46. Schwab Wilfried, Davidovich-Rikanati Rachel, Lewinsohn Efraim. *The Plant Journal*, 2008, Vol. 54, pp. 712–732.
 47. Susan S. Roberts. *Nature Chemical Biology*, 2007, no.3, pp. 387–395.
 48. Parayil Kumaran Ajikumar, Keith Tyo, Simon Carlsen, Oliver Mucha, Too Heng Phon, Gregory Stephanopoulos. *Molecular Pharmaceutics*, 2008, Vol. 5, no.2, pp. 167–190.
 49. The yeast, a taxonomic study. Ed. by Kurtzman C.P., Fell J. W. Fourth Edition. Elsevier Science, 1998, 1055 p.
 50. Vandamme Erick J. *Fungal Diversity*, 2003, Vol. 13, pp. 153–166.
- Рецензенты:**
 Мазей Ю.А., д.б.н., профессор, проректор по международной деятельности, ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», г. Пенза;
 Иванов А.И., д.б.н., зав. кафедрой «Биология и экология», ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия», г. Пенза.
- Работа поступила в редакцию 19.07.2013.