

Т. П. Пирог, Н. А. Ивахнюк, А. А. Вороненко

Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина

МИКРОБНЫЙ СИНТЕЗ ЭКЗОПОЛИСАХАРИДА ЭТАПОЛАНА НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ОТРАБОТАННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

С целью повышения экономической эффективности технологий продуктов микробного синтеза в качестве субстратов используются промышленные отходы. Отработанные (пережаренные) растительные масла являются дешевыми и доступными в необходимых для применения в микробных технологиях количествах. Однако при жарке в маслах образуются токсические вещества (ингибиторы синтеза целевого продукта), количество которых зависит от состава масла, в частности от соотношения в нем моно- и полиненасыщенных жирных кислот.

Изучен синтез микробного экзополисахарида (ЭПС) этаполана на отработанных маслах с различным соотношением моно- и полиненасыщенных жирных кислот.

Культивирование *Acinetobacter* sp. ИМВ В-7005 (продуцент этаполана) осуществляли в жидкой среде, содержащей в качестве источника углерода отработанные масла (5 %), характеризующиеся высоким содержанием как полиненасыщенных (подсолнечное, кукурузное), так и мононенасыщенных (оливковое, рапсовое) жирных кислот. Количество ЭПС определяли весовым методом после осаждения изопропанолом, ЭПС-синтезирующую способность – как отношение концентрации ЭПС к концентрации биомассы.

Максимальная концентрация ЭПС (11–14 г/л) наблюдалась при выращивании продуцента на отработанных после жарки мяса подсолнечном и кукурузном маслах с использованием инокулята, выращенного на соответствующем рафинированном масле. Количество этаполана, синтезированного в аналогичных условиях культивирования *Acinetobacter* sp. ИМВ В-7005 на отработанных рапсовом и оливковом маслах, было ниже (9–10 г/л), однако его ЭПС-синтезирующая способность (10–15 г ЭПС/г биомассы) превышала в 1,6–2,4 раза таковую при применении подсолнечного и кукурузного масел.

Возможность синтеза этаполана на отработанном масле любого качества (подсолнечное, кукурузное, рапсовое, оливковое) позволяет не только утилизировать накапливающиеся в больших количествах токсичные отходы, но и разработать универсальную технологию получения этого полисахарида, не зависящую от типа, качества и поставщика отработанного масла.

Ключевые слова: *Acinetobacter* sp. ИМВ В-7005, экзополисахариды, отработанное подсолнечное, кукурузное, оливковое и рапсовое масла.

T. P. Pirog, N. A. Ivakhniuk, A. A. Voronenko

National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

MICROBIAL SYNTHESIS OF EXOPOLYSACCHARIDE ETHAPOLAN ON VARIOUS TYPES OF WASTE VEGETABLE OILS

The research on the use of industrial waste to obtain practically valuable microbial metabolites was intensified. Oil-containing waste are cheap and available in necessary for use in microbial technologies quantities. Nevertheless in the literature there are only a few reports about the possibility of their application as substrates for the biosynthesis of microbial polysaccharides.

To investigate the synthesis of exopolysaccharide eptapolan (producer – *Acinetobacter* sp. IMV B-7005) on waste (fried) oil of various qualities (with different ratios of mono- and polyunsaturated fatty acids).

It was established that the highest ethapolan concentration (11–14 g/l) was observed under *Acinetobacter* sp. IMV B-7005 cultivation on waste after frying meat sunflower and corn oils at concentration 5 %, with using inoculum grown on refined oils. Replacing these oils in the cultivation medium on olive and rapeseed accompanied by some decrease in EPS concentrations (to 9–10 g/l), the EPS-synthesizing ability was higher in several times (6.3–7.6 g EPS/ g biomass).

The possibility of exopolysaccharide ethapolan biosynthesis on waste vegetable oils, characterized by a high content of polyunsaturated (sunflower, corn) and monounsaturated (olive, rapeseed) fatty acids was shown.

Keywords: *Acinetobacter* sp. IMV B-7005, exopolysaccharide, waste sunflower, corn, olive and rapeseed oils.

Введение. В мировом сельском хозяйстве значительное внимание уделяется выращиванию масличных культур, общее производство которых с каждым годом увеличивается [1, 2], что в свою очередь сопровождается повышением объема получаемых растительных масел, в частности пальмового, соевого, рапсового и подсолнечного. Среди стран-производителей подсолнечного масла лидерами являются Украина (2,78 млн т в год), страны ЕС (2,36 млн т в год) и Аргентина (1,41 млн т в год) [www.saleprice.com.ua/ ua/publications _sunflower_oil_market]. Эти же страны, а также Китай – основные производители рапсового масла [3].

На предприятиях, перерабатывающих растительное сырье, а также в учреждениях общественного питания образуется значительное количество отходов. Наиболее распространенным способом утилизации отработанного масла является использование его для производства биодизеля [4, 5]. Несмотря на экологические перспективы, данная технология имеет ряд недостатков: высокую стоимость, образование значительных объемов побочного продукта (глицерола), короткий срок хранения биодизеля [4]. Более перспективным методом утилизации отработанных масел является использование их в качестве субстрата для получения продуктов микробного синтеза, в том числе и экзополисахаридов (ЭПС) – высокомолекулярных экзогенных метаболитов углеводной природы, способных к гелеобразованию и изменению реологических характеристик водных систем [4].

В наших предыдущих исследованиях [6–9] установлена способность штамма *Acinetobacter* sp. ИМВ В-7005 к синтезу ЭПС этаполана на широком наборе C₂–C₆-моно- и смешанных субстратов, а также на рафинированном и отработанном после жарки мяса и картофеля подсолнечном масле.

Из литературы известно, что в процессе жарки при температуре выше 180 °С в маслах образуются токсические вещества, количество которых зависит от состава масла, в частности от соотношения в нем моно- и полиненасыщенных жирных кислот [10–12]. Так, например, подсолнечное и кукурузное масла характеризуются высоким содержанием полиненасыщенных кислот. При нагревании таких масел изменяется их молекулярная структура, в результате чего происходит окисление кислородом воздуха с образованием токсичных альдегидов и перекисей липидов [10–12]. Оливковое и рапсовое масла холодного отжима в процессе жарки образуют гораздо меньше альдегидов, поскольку они содержат больше мононенасыщенных и насыщенных жирных кислот, которые в меньшей степени окисляются при нагревании. Кроме того, качество пережаренного масла зависит от продукта, поддающегося термической обработке [10–12]. Образованные альдегиды и перекиси могут быть потенциальными ингибиторами роста и синтеза целевого продукта.

В работе [9] нами отмечалось, что до настоящего времени для получения микробных ЭПС используются углеводные субстраты и имеются лишь отдельные сообщения о биосинтезе полисахаридов на маслосодержащих субстратах. Кроме того, в доступной литературе нам не удалось обнаружить сведений о влиянии состава и качества отработанного масла на синтез целевого продукта.

Цель данной работы – исследовать синтез микробного экзополисахарида этаполана на отработанном растительном масле, характеризующемся высоким содержанием полиненасыщенных (подсолнечное, кукурузное) и мононенасыщенных (оливковое, рапсовое) жирных кислот.

Объект и методы исследования. В качестве объекта исследований использовали ЭПС-синтезирующий штамм *Acinetobacter* sp. 12S, депонированный в Депозитарии Института микробиологии и вирусологии Национальной академии наук Украины под номером ИМВ В-7005.

Acinetobacter sp. ИМВ В-7005 культивировали в жидкой среде, содержащей (г/л): KН₂РO₄ – 6,8; КОН – 0,9; MgSO₄×7H₂O – 0,4; СаСl₂×2H₂O – 0,1; NH₄NO₃ – 0,6; FeSO₄×7H₂O – 0,001; рН 6,8–7,0. В среду дополнительно вносили 0,5 % (по объему) дрожжевого автолизата и в качестве источника пантотената (витамин В₅) – мультивитаминный комплекс «Комплевит» в концентрации 0,00095 % (в пересчете на пантотенат), поскольку *Acinetobacter* sp. ИМВ В-7005 является ауксотрофом по пантотенату.

В качестве источника углерода и энергии использовали рафинированные и отработанные после жарки картофеля и мяса масла: подсолнечное (ТМ «Олейна», Днепропетровский масло-

экстракционный завод, Украина), кукурузное (ООО «КАМА», Полтава, Украина), рапсовое (ТМ “Bio Planete”, Франция) и оливковое масло холодного отжима (ТМ “Salvadori”, Италия), а также подсолнечное масло холостой жарки. Концентрация масла в среде составляла 5 % (по объему), поскольку ранее [8, 9] показано, что при таком содержании субстрата показатели синтеза этаполана максимальны. Пережаренное подсолнечное масло получали из сети ресторанов быстрого питания McDonald’s (г. Киев), другие масла – в домашних условиях после трехкратной жарки в течение 20 мин.

Содержание поли- и мононенасыщенных жирных кислот в маслах представлено в табл. 1 [<http://www.argo-shop.com.ua/article-9182.html>].

Т а б л и ц а 1. Характеристика растительных масел, используемых в качестве субстратов

Table 1. Characteristic of vegetable oils, used as substrates

Масло	Содержание жирных кислот (в % от общего количества)	
	полиненасыщенных	мононенасыщенных
Подсолнечное	60	33
Кукурузное	54	27
Оливковое	12	87
Рапсовое	28	63

В качестве инокулята использовали культуру в экспоненциальной фазе роста, выращенную в среде указанного выше состава, содержащей 0,5 % (по объему) масла, а также 0,5 % (по углеводам) мелассы. Количество посевного материала составляло 10 % от объема питательной среды. Культивирование бактерий осуществляли в колбах объемом 750 мл со 100 мл среды на качалке (320 об/мин) при 28–30 °С в течение 5 сут.

Биомассу определяли по оптической плотности клеточной суспензии, которую пересчитывали на сухую биомассу по калибровочному графику.

Количество синтезированных ЭПС устанавливали весовым методом. Для этого к 10–15 мл культуральной жидкости добавляли 1,5–2,0 объема изопропанола, осадок ЭПС промывали в чистом изопропанолe и высушивали при комнатной температуре в течение 24 ч. Синтезирующую способность определяли как отношение количества синтезированного ЭПС к биомассе и выражали в граммах ЭПС на 1 г биомассы.

Все опыты проводили в трех повторностях, количество параллельных определений составляло от 3 до 5. Статистическую обработку данных проводили по Лакину [13]. Различия средних показателей считали достоверными при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. На первом этапе исследовали синтез этаполана на отработанных подсолнечном и кукурузном маслах (табл. 1), в составе которых преобладали полиненасыщенные жирные кислоты. В ходе экспериментов посевной материал выращивали на соответствующем рафинированном или отработанном масле (табл. 2).

Согласно представленным в табл. 2 данным, при использовании инокулята, выращенного на рафинированном масле, наиболее высокие показатели синтеза этаполана наблюдались при культивировании *Acinetobacter* sp. ИМВ В-7005 на рафинированном и отработанном после жарки мяса подсолнечном масле. Замена подсолнечного масла в среде культивирования продуцента на кукурузное сопровождалось некоторым снижением концентрации ЭПС (до 10–11 г/л), при этом ЭПС-синтезирующая способность оставалась без изменений и составляла 6,3–7,6 г ЭПС/г биомассы. Таким образом, закономерности синтеза полисахарида при выращивании продуцента в среде, содержащей отработанные масла с высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот, оказались достаточно похожими.

Отметим, что при использовании отработанных подсолнечного и кукурузного масел для получения инокулята и биосинтеза ЭПС наблюдали снижение концентрации образуемого этаполана по сравнению с его концентрацией при применении посевного материала, выращенного на соответствующем рафинированном масле (табл. 2).

Таблица 2. Синтез этаполана на растительном масле с высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот

Table 2. Ethapolan synthesis on vegetable oils with a high content of polyunsaturated fatty acids

Масло	Масло в среде для получения инокулята	Масло в среде для биосинтеза ЭПС	ЭПС, г/л	г ЭПС/г биомассы
Подсолнечное	рафинированное	рафинированное	13,1 ± 0,66	7,5 ± 0,38
		после жарки мяса	14,4 ± 0,72	6,3 ± 0,32
		после жарки картофеля	4,2 ± 0,21	3,3 ± 0,10
	после жарки мяса	после жарки мяса	9,7 ± 0,49	5,9 ± 0,29
	после жарки картофеля	после жарки картофеля	8,1 ± 0,41	4,3 ± 0,2
Кукурузное	рафинированное	рафинированное	10,0 ± 0,50	7,6 ± 0,38
		после жарки мяса	11,2 ± 0,56	6,3 ± 0,32
		после жарки картофеля	Н. о.	Н. о.
	после жарки мяса	после жарки мяса	8,5 ± 0,43	7,4 ± 0,37
	после жарки картофеля	после жарки картофеля	8,1 ± 0,41	7,8 ± 0,39
Подсолнечное	холостой жарки	холостой жарки	3,0 ± 0,15	6,5 ± 0,33

Примечание. Н. о. – не определяли.

Представляют интерес данные о синтезе этаполана на подсолнечном масле холостой жарки (табл. 2). При культивировании штамма ИМВ В-7005 на таком субстрате концентрация ЭПС составляла всего 3,0 г/л. Полученные результаты подтверждают литературные данные о том, что целесообразность использования отработанного масла в качестве субстрата обуславливается наличием в нем питательных веществ, переходящих из пищи в процессе жарки [11, 14]. Кроме того, при холостом нагреве масла образуется в 2 раза больше токсичных альдегидов, поскольку при жарке продуктов эти соединения частично удаляются вместе с паром [11, 14].

На следующем этапе изучали возможность применения отработанных масел с высоким содержанием мононенасыщенных жирных кислот (оливкового, рапсового) для синтеза этаполана (табл. 3).

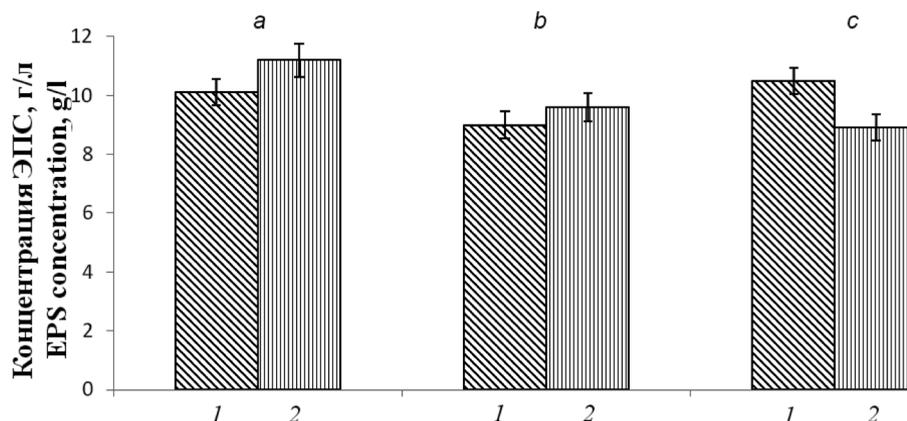
Таблица 3. Синтез этаполана на масле с высоким содержанием мононенасыщенных жирных кислот

Table 3. Ethapolan synthesis on oils with a high content of monounsaturated fatty acids

Масло	Масло в среде для получения инокулята	Масло в среде для биосинтеза ЭПС	ЭПС, г/л	г ЭПС / г биомассы
Оливковое	рафинированное	рафинированное	7,7 ± 0,39	14,0 ± 0,70
		после жарки мяса	9,6 ± 0,48	14,8 ± 0,74
		после жарки картофеля	9,0 ± 0,45	13,8 ± 0,69
	после жарки мяса	после жарки мяса	8,3 ± 0,42	10,2 ± 0,51
	после жарки картофеля	после жарки картофеля	8,0 ± 0,40	8,4 ± 0,42
Рапсовое	рафинированное	рафинированное	8,1 ± 0,41	9,3 ± 0,47
		после жарки мяса	8,9 ± 0,45	10,2 ± 0,51
		после жарки картофеля	8,6 ± 0,43	10,3 ± 0,52
	после жарки мяса	после жарки мяса	7,8 ± 0,39	9,6 ± 0,48
	после жарки картофеля	после жарки картофеля	6,1 ± 0,31	6,8 ± 0,34

Эксперименты показали, что независимо от качества масла в среде для получения инокулята (рафинированного или отработанного) концентрация этаполана, синтезированного на отработанном оливковом или рапсовом масле (9–10 г/л), несколько ниже, чем на подсолнечном или кукурузном (11–14 г/л) (см. табл. 2), однако его ЭПС-синтезирующая способность (10–15 г ЭПС/г биомассы) превышала в 1,6–2,4 раза таковую при применении подсолнечного и кукурузного масел (см. табл. 2, 3).

Данные, представленные в табл. 3, свидетельствуют о том, что показатели синтеза этаполана на оливковом и рапсовом маслах, характеризующихся высоким содержанием мононенасыщенных жирных кислот, являются практически одинаковыми.



Синтез этаполана на отработанном после жарки мяса масле в зависимости от способа получения инокулята. Масло для биосинтеза ЭПС: *a* – кукурузное, *b* – оливковое, *c* – рапсовое. Источник углерода в среде для получения инокулята: *1* – меласса, *2* – соответствующее рафинированное масло

Ethapolan synthesis on waste after frying meat oil, depending on the inoculum preparation method Oil for the EPS biosynthesis: *a* – corn, *b* – olive, *c* – rapeseed. The carbon source in the medium for inoculum preparation: *1* – molasses, *2* – corresponding refined oil

Полученные результаты (см. табл. 2, 3) оказались неожиданными, поскольку из литературы известно, что в отработанном масле с высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот (подсолнечное или кукурузное) количество токсичных соединений (потенциальных ингибиторов роста микроорганизмов и синтеза целевого продукта) выше, чем в масле, содержащем в основном мононенасыщенные кислоты (оливковое или рапсовое) [11]. В то же время оливковое и рапсовое масла характеризуются наличием фенольных соединений [15], которые, очевидно, также влияют на накопление биомассы и ЭПС.

В последующих экспериментах исследовали синтез этаполана на отработанном кукурузном, оливковом и рапсовом маслах с использованием инокулята, выращенного на мелассе (см. рисунок). Это было обусловлено тем, что углеводы мелассы, внесенные вместе с инокулятом в среду культивирования, могут являться предшественниками синтеза ЭПС и непосредственно включаться в его состав. Однако концентрация этаполана, синтезированного на всех субстратах, практически не зависела от способа получения посевного материала (см. рисунок). В то же время в работе [9] нами показано, что замена подсолнечного масла в среде для получения посевного материала на мелассу сопровождалась некоторым снижением синтеза ЭПС на этом отработанном масле.

Ранее [9, 16] нами отмечалось, что данные о синтезе микробных полисахаридов на отходах различных производств (не только маслосодержащих) весьма немногочисленны. В последнее время в литературе появились новые сведения. Так, штамм *Komagataeibacter sucrofermentans* DSM 15973 при культивировании в среде, содержащей 17 г/л технического глицерина (отход производства биодизеля), синтезировал 13,3 г/л целлюлозы [17]. При выращивании *Rhizobium leguminosarum* ATCC 10004 в среде со сточными водами после переработки рыбы концентрация ЭПС достигала 11 г/л [18]. Отметим, что отработанные растительные масла являются подходящими субстратами для синтеза микробных поверхностно-активных веществ [19, 20], однако в литературе нам не удалось обнаружить сведений о влиянии качества и состава таких субстратов на образование целевого продукта.

Заключение. Таким образом, в результате проведенной работы впервые показана возможность применения для синтеза микробного полисахарида этаполана не только отработанного подсолнечного, но также кукурузного, рапсового и оливкового масел.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что масло любого состава и качества может быть использовано для получения этого ЭПС, что позволяет разработать универсальную технологию его производства независимо от региона, типа отработанного масла и его поставщика.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Fry, J. The importance of the global oils and fats supply and the role that palm oil plays in meeting the demand for oils and fats worldwide / J. Fry, C. Fitton // *J. Am. Coll. Nutr.* – 2010. – Vol. 29, N 3. – P. 245–252.
2. Patrick, C. Rapeseed market, worldwide and in Europe / C. Patrick, A. Pouzet // *OCL.* – 2014. – Vol. 21, N 1. doi: 10.1051/oc/2013054.
3. Концеба, С. М. Тенденции развития мирового производства и переработки рапса / С. М. Концеба, П. Т. Саблук // *Экономика АПК.* – 2010. – № 7. – С. 57–63.
4. Panadare, D. C. Applications of waste cooking oil other than biodiesel: a review / D. C. Panadare, V. K. Rathod // *IJChE.* – 2015. – Vol. 12, N 3. – P. 55–76.
5. Hossain, A. B. M. S. Biodiesel fuel production from palm, sunflower waste cooking oil and fish byproduct waste as renewable energy and environmental recycling process / A. B. M. S. Hossain, M. S. AlEissa // *Br. Biotechnol. J.* – 2016. – Vol. 10, N 4. doi: 10.9734/BBJ/2016/22338.
6. Подгорский, В. С. Интенсификация технологий микробного синтеза / В. С. Подгорский, Г. О. Иутинская, Т. П. Пирог. – Киев: Наук. думка, 2010. – 327 с.
7. Ivahniuk, M. O. Intensification of microbial exopolysaccharide ethapolan synthesis under *Acinetobacter* sp. IMV B-7005 cultivation on sunflower oil / M. O. Ivahniuk, T. P. Pirog // *Ukr. Food J.* – 2014. – Vol. 3, N 2. – P. 257–262.
8. Ивахнюк, Н. А. Влияние способа подготовки посевного материала на синтез полисахарида этаполана на маслосодержащих субстратах / Н. А. Ивахнюк, Т. П. Пирог // *Науч. тр. Нац. ун-та пищевых технологий.* – 2015. – Т. 21, № 5. – С. 17–21.
9. Биотрансформация бактериями рода *Acinetobacter* отработанного подсолнечного масла в поверхностно-активные вещества и экзополисахариды / Т. П. Пирог [и др.] // *Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук.* – 2015. – № 4. – С. 124–129.
10. Choe, E. Chemistry of deep-fat frying oils / E. Choe, D. B. Min // *J. Food Sci.* – 2007. – Vol. 72, N 5. – P. 77–86. doi: 10.1111/j.1750-3841.2007.00352.x.
11. Changes in food caused by deep fat frying: a review / K. Bordin [et al.] // *Arch. Latinoam. Nutr.* – 2013. – Vol. 63, N 1. – P. 5–13.
12. Chemical alterations taken place during deep-fat frying based on certain reaction products: a review / Q. Zhang [et al.] // *Chem. Phys. Lipids.* – 2012. – Vol. 165, N 6. – P. 662–681. doi: 10.1016/j.chemphyslip.2012.07.002.
13. Лакин, Г. Ф. Биометрия: [учеб. пособие для биол. спец. вузов] / Г. Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
14. Houhoula, D. P. A kinetic study of oil deterioration during frying and a comparison with heating / D. P. Houhoula, V. Oreopoulou, C. Tzia // *JAOCS.* – 2002. – Vol. 79, N 2. – P. 133–137.
15. Fatty acid and phenolic compound concentrations in eight different monovarietal virgin olive oils from extremadura and the relationship with oxidative stability / A. Montaña [et al.] // *Int. J. Mol. Sci.* – 2016. – Vol. 17. doi:10.3390/ijms17111960.
16. Pirog, T. P. Exopolysaccharides synthesis on industrial waste / T. P. Pirog, M. O. Ivakhniuk, A. A. Voronenko // *Biotechnol. Acta.* – 2016. – Vol. 9, N 2. – P. 7–18. doi: 10.15407/biotech9.02.007.
17. Bacterial cellulose production from industrial waste and by-product streams / E. Tsouko [et al.] // *Int. J. Mol. Sci.* – 2015. – Vol. 16, N 7. – P. 14832–14849. doi: 10.3390/ijms160714832.
18. Industrial wastewater as raw material for exopolysaccharide production by *Rhizobium leguminosarum* / M. Sellami [et al.] // *Braz. J. Microbiol.* – 2015. – Vol. 46, N 2. – P. 407–413.
19. Биосинтез поверхностно-активных веществ на промышленных отходах / Т. П. Пирог [и др.] // *Biotechnol. Acta.* – 2014. – Т. 7, № 5. – С. 9–26.
20. Elazzazy, A. M. Isolation and characterization of biosurfactant production under extreme environmental conditions by alkali-halo-thermophilic bacteria from Saudi Arabia / A. M. Elazzazy, T. S. Abdelmoneim, O. A. Almaghrabi // *Saudi J. Biol. Sci.* – 2015. – Vol. 22, N 4. – P. 466–475. doi: 10.1016/j.sjbs.2014.11.018.

References

1. Fry J., Fitton C. The importance of the global oils and fats supply and the role that palm oil plays in meeting the demand for oils and fats worldwide. *The Journal of the American College of Nutrition*, 2010, vol. 29, no. 3, pp. 245–252.
2. Patrick C., Pouzet A. Rapeseed market, worldwide and in Europe. *Oil seeds and fats, Crops and Lipids*, 2014, vol. 21, no. 1. doi: 10.1051/oc/2013054.
3. Kontseba S. M., Savluk P. T. Development tendencies of the world's rapeseed production and processing. *Ekonomika APK [AIC economy]*, 2010, no. 7, pp. 57–63. (in Russian).
4. Panadare D. C., Rathod V. K. Applications of waste cooking oil other than biodiesel: a review. *IJChE*, 2015, vol. 12, no. 3, pp. 55–76.
5. Hossain A. B. M. S., AlEissa M. S. Biodiesel fuel production from palm, sunflower waste cooking oil and fish byproduct waste as renewable energy and environmental recycling process. *British Biotechnology Journal*, 2016, vol. 10, no. 4. doi: 10.9734/BBJ/2016/22338.
6. Podgorskiy V. S., Iutinskaya G. O., Pirog T. P. Intensification of microbial synthesis technologies. Kyiv, Scientific Thought, 2010. 327 p. (in Russian).
7. Ivahniuk M. O., Pirog T. P. Intensification of microbial exopolysaccharide ethapolan synthesis under *Acinetobacter* sp. IMV B-7005 cultivation on sunflower oil. *Ukrainian Food Journal*, 2014, vol. 3, no. 2, pp. 257–262.

8. Ivahniuk M. O., Pirog T. P. Influence of the way of inoculum preparation on synthesis of polysaccharides ethapolan on oil-containing substrates. *Nauchnye trudy Natsionalnogo universiteta pishchevukh tekhnologiy* [Scientific works of National University of Food Technologies], 2015, vol. 21, no. 5, pp. 17–21. (in Russian).
9. Pirog T. P., Pavlyukovets I. V., Ivakhniuk N. A., Savenko I. V. Biotransformation of waste sunflower oil into surfactants and exopolysaccharides by bacteria genus of *Acinetobacter*. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, biological series], 2015, no. 4, pp. 124–129. (in Russian).
10. Choe E., Min D. B. Chemistry of deep-fat frying oils. *Journal of Food Science*, 2007, vol. 72, no. 5, pp. 77–86. doi: 10.1111/j.1750-3841.2007.00352.x.
11. Bordin K., Kunitake M. T., Aracava K. K., Trindade C. S. Changes in food caused by deep fat frying: a review. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 2013, vol. 63, no. 1, pp. 5–13.
12. Zhang Q., Saleh A. S., Chen J., Shen Q. Chemical alterations taken place during deep-fat frying based on certain reaction products: a review. *Chemistry and Physics of Lipids*, 2012, vol. 165, no. 6, pp. 662–681. doi: 10.1016/j.chemphyslip.2012.07.002.
13. Lakin G. F. Biometrics: Textbook for special biological institutions. Moscow, High school, 1990. 352 p. (in Russian).
14. Houhoula D. P., Oreopoulou V., Tzia C. A kinetic study of oil deterioration during frying and a comparison with heating. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2002, vol. 79, no. 2, pp. 133–137.
15. Montaña A., Hernández M., Garrido I., Llerena J. L., Espinosa F. Fatty acid and phenolic compound concentrations in eight different monovarietal virgin olive oils from extremadura and the relationship with oxidative stability. *International Journal of Molecular Sciences*, 2016, vol. 17, no. 11. doi:10.3390/ijms17111960.
16. Pirog T. P., Ivakhniuk M. O., Voronenko A. A. Exopolysaccharides synthesis on industrial waste. *Biotechnologia acta*, 2016, vol. 9, no. 2, pp. 7–18. doi: 10.15407/biotech9.02.007.
17. Tsouko E., Kourmentza C., Ladakis D., Kopsahelis N., Mandala I., Papanikolaou S., Paloukis F., Alves V., Koutinas A. Bacterial cellulose production from industrial waste and by-product streams. *International Journal of Molecular Sciences*, 2015, vol. 16, no. 7, pp. 14832–14849. doi: 10.3390/ijms160714832.
18. Sellami M., Oszako T., Miled N., Ben Rebah F. Industrial wastewater as raw material for exopolysaccharide production by *Rhizobium leguminosarum*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2015, vol. 46, no. 2, pp. 407–413. doi: 10.1590/S1517-838246220140153.
19. Pirog T. P., Sofilkanich A. P., Konon A. D., Grytsenko N. A. Biosynthesis of surfactants on industrial waste. *Biotechnologia acta*, 2014, vol. 7, no. 5, pp. 9–26. (in Russian).
20. Elazzazy A. M., Abdelmoneim T. S., Almaghrabi O. A. Isolation and characterization of biosurfactant production under extreme environmental conditions by alkali-halo-thermophilic bacteria from Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2015, vol. 22, no. 4, pp. 466–475. doi: 10.1016/j.sjbs.2014.11.018.

Информация об авторах

Пирог Татьяна Павловна – д-р биол. наук, вед. науч. сотрудник, профессор, заведующий кафедрой. Национальный университет пищевых технологий. (ул. Владимирская, 68, 01601, г. Киев, Украина). E-mail: tapirog@nuft.edu.ua.

Ивахнюк Николай Александрович – аспирант. Национальный университет пищевых технологий (ул. Владимирская, 68, 01601, г. Киев, Украина). E-mail: Ivahniuk@mail.ru.

Вороненко Андрей Анатольевич – студент. Национальный университет пищевых технологий (ул. Владимирская, 68, 01601, г. Киев, Украина). E-mail: Voronenko67@mail.ru.

Для цитирования

Пирог, Т. П. Микробный синтез экзополисахарида этаполана на различных видах отработанных растительных масел / Т. П. Пирог, Н. А. Ивахнюк, А. А. Вороненко // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2017. – № 2. – С. 87–93.

Information out the authors

Pirog Tatiana Pavlovna – D. Sc. (Biol.), Leading researcher, Professor, Head of the Department. National University of Food Technologies (68, Vladimirska Str., 01601, Kyiv, Ukraine). E-mail: tapirog@nuft.edu.ua.

Ivakhniuk Nikolay Aleksandrovich – Ph. D. student. National University of Food Technologies (68, Vladimirska Str., 01601, Kyiv, Ukraine). E-mail: Ivahniuk@mail.ru.

Voronenko Andrey Anatolievich – student. National University of Food Technologies (68, Vladimirska Str., 01601, Kyiv, Ukraine). E-mail: Voronenko67@mail.ru.

For citation

Pirog T. P., Ivakhniuk N. A., Voronenko A. A. Microbial synthesis of exopolysaccharide ethapolan on various types of waste vegetable oils. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, biological series], 2017, no. 2, pp. 87–93.