

УДК 561.284; 615.272

## Изучение гипогликемического действия полисахаридов гриба *Pleurotus ostreatus*

Е. В. АНТОНЦЕВА<sup>1</sup>, С. С. СОРОКИН<sup>1</sup>, канд. техн. наук М. М. ШАМЦЯН<sup>1</sup>, канд. биол. наук  
С. Г. ЧЕФУ<sup>2</sup>, д-р мед. наук Н. Н. ПЕТРИЩЕВ<sup>2</sup>,  
канд. мед. наук В. Г. КОНУСОВА<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

<sup>2</sup>Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова

<sup>3</sup>ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт  
особо чистых биопрепаратов» ФМБА России

E-mail: antontseva@gmail.com

*Изучено влияние препарата, полученного из глубинной биомассы гриба *P. Ostreatus*, на гипергликемию у животных. Произведено выделение водорастворимого β-глюкан содержащего препарата с помощью последовательной спиртовой и водной экстракции. В полученном препарате было определено содержание β-глюканов. Исследование возможного гипогликемического действия на здоровых животных показало, что прием препарата не изменяет уровень глюкозы в крови. У животных со стрептозотоцин-индуцированным диабетом при введении препарата концентрация глюкозы в крови была значительно ниже, чем у таких же животных не получающих препарат. Был описан возможный механизм гипогликемического действия. Полученный препарат, содержащий β-глюканы гриба *P. ostreatus*, может служить основой для разработки биологически активной добавки и функциональных пищевых продуктов гипогликемического действия.*

**Ключевые слова:** *Pleurotus ostreatus*, β-глюканы, глубинное культивирование, диабет, гипогликемическое действие, стрептозотоциновая модель диабета.

### Информация о статье:

Поступила в редакцию 27.12.2018, принята к печати 03.04.2019

DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-2-72-78

Язык статьи — русский

### Для цитирования:

Антонцева Е. В., Сорокин С. С., Шамцян М. М., Чёфу С. Г., Петрищев Н. Н., Конусова В. Г.

Изучение гипогликемического действия полисахаридов гриба *Pleurotus ostreatus* // Вестник Международной академии холода. 2019. № 2. С. 72–78.

## Hypoglycemic effects of *Pleurotus ostreatus* polysaccharides

E. V. ANTONTCEVA<sup>1</sup>, S. S. SOROKIN<sup>1</sup>, Ph. D. M. M. SHAMTSYAN<sup>1</sup>,  
Ph. D. S. G. CHEFU<sup>2</sup>, D. Sc. N. N. PETRISCHEV<sup>2</sup>, Ph. D. V. G. KONUSOVA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Institute of Technology

<sup>2</sup>St. Petersburg I. P. Pavlov State Medical University

<sup>3</sup>State Research Institute of Highly Pure Biopreparations

E-mail: antontseva@gmail.com

*The effect of the preparation obtained from submerged biomass of *Pleurotus ostreatus* fungus on hyperglycemia in animals is studied. Preparation containing water-soluble β-glucans has been obtained by the method of sequential ethanolic and aqueous extraction. The content of β-glucans in the obtained preparation has been determined. A study of possible hypoglycemic action on healthy animals shows that taking the preparation does not affect the serum glucose level. The blood serum glucose level of diabetic animals receiving β-glucan containing preparation is significantly lower than for diabetic animals without receiving the preparation. A reduction of serum glucose level in diabetic animals is shown. A possible mechanism for this action is described. The preparation containing β-glucans of the fungus *P. ostreatus* can be used as the basis for the development of biologically active supplement and functional foods with hypoglycemic action.*

**Keywords:** *Pleurotus ostreatus*, β-glucans, submerged cultivation, diabetes, hypoglycemic action, streptozotocin induced diabetes.

### Article info:

Received 27/12/2018, accepted 03/04/2019

DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-2-72-78

Article in Russian

### For citation:

Antontseva E. V., Sorokin S. S., Shamtsyan M. M., Chёfu S. G., Petrishev N. N., Konusova V. G. Hypoglycemic effects of *Pleurotus ostreatus* polysaccharides. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2019. No 2. p. 72–78.

## Введение

В настоящее время сахарный диабет является одним из наиболее распространенных заболеваний, приобретающих все большее социальное значение. В 2015 г. по данным ВОЗ в мире зарегистрировано приблизительно 415 млн людей, болеющих диабетом, а к 2040 г. предполагается увеличение случаев заболевания до 642 миллионов [1]. Сахарный диабет — хроническое заболевание, характеризующееся высоким содержанием глюкозы в крови, приводящим к системному нарушению всех видов метаболизма и поражению микро- и макрососудистой системы организма [2]. Большинство исследователей выделяют следующие факторы, способствующие развитию диабета 2 типа: диетические нарушения, связанные с потреблением высококалорийной жирной пищи с большим содержанием легкоусвояемых углеводов, и малоподвижный образ жизни. Согласно современным исследованиям, длительное употребление жирной пищи с большим содержанием углеводов приводит к нарушению композиционного состава микрофлоры кишечника, что ведет к развитию «низко-дифференцированного воспаления» (low grade inflammation). Как показано рядом исследователей, в конечном итоге это приводит к развитию инсулинорезистентности в инсулинзависимых тканях (мышцах, печени и жировой ткани), т. е. к системному снижению чувствительности к анаболическому гормону — инсулину [3, 4].

Пищевые грибы являются источником не только полноценного белка, витаминов, аминокислот, микроэлементов, но и могут обладать выраженным лечебным действием. В основном фармакологические эффекты пищевых грибов связывают с  $\beta$ -1,3–1,6-глюканами — природными высокомолекулярными полисахаридами, являющимися структурными компонентами клеточных стенок всех видов грибов. Согласно современным представлениям грибные  $\beta$ -глюканы относятся к так называемым «патоген-ассоциированным молекулярным образам» (pathogen-associated molecular patterns, PAMP), являющимися архитипическими структурами клеточных стенок всех видов грибов и обладающим способностью активировать систему врожденного иммунитета [3]. В настоящее время изучению фармакологических свойств пищевых грибов посвящено огромное количество исследований. Наиболее изученными и доказанными биологическими эффектами грибных полисахаридов считаются иммуномодулирующее, антиоксидантное и противовоспалительное действия [5, 6]. Следует отметить, что в последние годы активно изучается влияние  $\beta$ -глюканов, экстрагируемых из пищевых грибов с фармакологическим потенциалом, на микробиоту кишечника. Становится очевидным, что грибные полисахариды, даже в небольших количествах, обладают пребиотическими свойствами за счет иммунорегуляторного механизма, обеспечивающего подавление воспалительной реакции в кишечнике и стимуляции роста пробиотической микрофлоры [4, 7].

Для грибов *Pleurotus ostreatus*, *Grifola frondosa*, *Schizophyllum commune*, *Sclerotium rolfsii*, *Lentinus edodes*, *Ganoderma lucidum*, *Hericium erunaceus* и полученных из них полисахаридов было показано терапевтическое действие в отношении метаболического синдрома, кото-

рый характеризуется гипергликемией, связанной с диабетом, нарушением липидного обмена, гиперлипидемией, ожирением и гипертонией [5, 6, 8].

В случае диабета выделяют следующие критерии, которые важны при исследованиях антидиабетического действия: уровень глюкозы в плазме крови, уровень различных типов липопротеинов, воздействие на иммунитет, антиоксидантное действие, уровень инсулина в плазме крови, влияние на микробиоту кишечника, структурные изменения в  $\beta$ -клетках поджелудочной железы и др. [3].

В различных исследованиях сообщается, что полисахариды грибов уменьшают симптомы заболеваний, связанных с метаболическим синдромом [9]. Антидиабетические свойства при исследовании на грызунах ранее были отмечены для следующих культур грибов: *Agaricus brasiliensis*, *Agrocybe chaxingu*, *Catathelasma ventricosum*, *Grifola frondosa*, *Phellinus linteus*, *Pleurotus eryngii*, *Pleurotus florida*, *Pleurotus sajor-caju*, *Tremella fuciformis*, *Ganoderma lucidum*, *Lentinus strigosus*, *Pleurotus tuberregium*, *Sparassis crispa* и *Tremella aurantialba* [3].

Neyrinck и др. изучали эффективность грибного хитин-глюканового комплекса в коррекции микробиоты кишечника, а также в метаболизме глюкозы и липидов у мышей, страдающих ожирением и находящихся на диете с высоким содержанием жиров. Хитин-глюкановый комплекс значительно снижал природность массы тела, развитие жировой массы, непереносимость глюкозы, гипергликемию, нарушение жирового обмена. Употребление препарата в пищу положительно влияло на метаболизм, в частности, замедляло развитие ожирения и связанных с ним нарушений обмена веществ, что объяснялось восстановлением состава и активности кишечной микробиоты [10, 11].

Проводилась оценка влияния лиофилизированных порошков из биомассы гриба *P. cystidiosus* на здоровых добровольцах и больных с диабетом 2 типа. При приеме препарата в течение месяца у больных с диабетом наблюдалось снижение уровня глюкозы в сыворотке крови и повышение уровня инсулина. Механизм гипогликемического действия, по мнению авторов, связан с повышением активности глюкокиназы и стимулированием секреции инсулина, в результате чего увеличивается потребление глюкозы периферическими тканями и синтез гликогена [12].

При исследовании антидиабетических эффектов некоторых видов грибов на мышах и крысах с диабетом, вызванным аллоксаном, стрептозотоцином или частичной панкреатэктомией, было продемонстрировано положительное влияние на состояние поджелудочной железы: наблюдалось повышение функциональной полноценности  $\beta$ -клеток, увеличивалась клеточность островков Лангерганса и их явное заселение  $\beta$ -клетками и, как следствие, увеличивалась продукция инсулина [13–16].

В последние годы исследователи обращают внимание на роль кишечной микробиоты в метаболизме глюкозы. Например, в работе Сао и др. исследовали влияние  $\beta$ -глюканов из культуры пекарских дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* на мышей со стрептозотоциновой моделью диабета, находящихся на гиперлипидемической диете. У мышей увеличивался синтез гликогена в печени, и снижалось накопление липидов. Препарат проявлял

значительную гипогликемическую активность, сопровождающуюся улучшением метаболизма. Предположительно, механизм гипогликемического действия может быть связан с изменением кишечной микробиоты [17].

По мнению большинства исследователей можно выделить несколько возможных ключевых механизмов действия природных полисахаридов на сахарный диабет: повышение уровня инсулина в плазме и снижение активности глюкагона поджелудочной железы (уменьшение распада гликогена и глюконеогенеза); повышение чувствительности инсулинового рецептора, приводящее к уменьшению резистентности к инсулину; усиление синтеза гликогена в печени; улучшение использования глюкозы периферическими тканями; противовоспалительное действие; антиоксидантное и антирадикальное действие [18, 19].

В настоящее время лечение сахарного диабета осуществляется либо с помощью заместительной терапии инсулином, либо назначением пероральных гипогликемических препаратов, таких как производные сульфонилмочевины, бигуаниды, тиазолидиндионы и ингибиторы альфа-глюкозидазы. Однако эти лекарственные средства имеют большое количество нежелательных побочных эффектов: повышают давление, вызывают сухость во рту, запор, головную боль, приводят к развитию пороков сердца и ожирению [20]. Поэтому на сегодняшний день все еще остается актуальным поиск натуральных нетоксических средств, способных оказывать профилактическое и лечебное антидиабетическое действие.

В последние годы активно изучается обогащение различных пищевых продуктов, таких как макаронные изделия, хлопья, злаковые продукты, хлебобулочные изделия, напитки и кисломолочные продукты β-глюканами растительного происхождения (овес, ячмень) в качестве пищевых волокон [21]. Многие исследования показали возможность использования β-глюканов из различных источников в качестве загустителей, структурообразователей и даже заменителей жира [22, 23]. Согласно литературным данным полисахариды, полученные из культуры *P. ostreatus* могут быть использованы для разработки продуктов функционального назначения [24, 25]. При включении их в продукты эти препараты могут обеспечивать дополнительные профилактические и функциональные свойства, такие как иммуностимулирующее, антиоксидантное, противоопухолевое, противовоспалительное и др. [26].

*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) *P. Kumm* или вешенка обыкновенная является грибом, плодовые тела которого употребляются в пищу и культивируются в промышленных масштабах во многих странах мира.

Ранее нами было показано гипохолестерольное и гипохолестерольное действия вешенки обыкновенной [27]. Также у *P. ostreatus* известны противоаллергенное, противоопухолевое, противовоспалительное, антибактериальное, радиопротекторное, антипролиферативное, иммуномодулирующее, пребиотическое, антиоксидантные свойства [3, 11, 28–31]. Многие из этих биологических активностей связаны с полисахаридами клеточной стенки β-глюканами [11], которые являются перспективными кандидатами для придания дополнительных свойств продуктам функционального назначения.

Было установлено, что добавление полисахарида *P. ostreatus* в форме гидрогеля при производстве йогурта не ингибировало ферментационную способность йогуртовых культур и не оказывало отрицательного влияния на сенсорную приемлемость (внешний вид, цвет, консистенцию, вкус) полученных продуктов. Авторы предполагают, что регулярное ежедневное потребление инновационных молочных продуктов со средней дозой β-глюканов 5 мг, будет способствовать снижению числа рецидивирующих или хронических инфекционных, а также аутоиммунных и онкологических заболеваний [32]. При добавлении водных экстрактов *P. ostreatus* в йогурт с низким содержанием жира улучшались структурно-механические свойства продукта, увеличивалось содержание полифенолов, и полученные образцы демонстрировали более высокую антиоксидантную активность на протяжении всего срока хранения [33].

Целью данной работы явилось изучение возможного гипогликемического действия водорастворимого препарата, содержащего β-глюканы, полученного из мицелиальной биомассы гриба *P. ostreatus*, выращенной глубинным способом культивирования, на экспериментальной модели диабета, вызванного стрептозотоцином.

## Материалы и методы

Препарат полисахаридов был получен из биомассы гриба *P. ostreatus*, выращенной глубинным способом [34]. Технология выделения была подробно описана нами ранее [35].

Содержание β-глюканов в препарате было определено с помощью стандартного набора (Megazyme, USA). Метод определения содержания β-глюканов основан на определении количества глюкозы, образовавшейся в результате ферментативного и кислотного гидролиза исследуемых образцов [36].

Изучение гипогликемического действия препарата, содержащего β-глюканы, проводилось на крысах-самцах линии Wistar (питомник «Рапполово») массой от 210 до 250 граммов. Животные содержались на неограниченном потреблении корма (стандартный рацион для лабораторных крыс ПК-120, ООО «Лабораторкорм», Москва, Россия) и воды. В течение всего эксперимента соблюдался 12-часовой световой режим содержания крыс. Температура и относительная влажность воздуха поддерживались в оптимальных пределах.

Животные, включенные в эксперимент, были разделены на 4 группы:

- 1 группа (7 крыс) — интактный контроль;
- 2 группа (8 крыс) — оценка влияния β-глюкансодержащего препарата *P. ostreatus* на здоровых животных;
- 3 группа (15 крыс) — животные с индуцированным диабетом без лечения;
- 4 группа (16 крыс) — животные с индуцированным диабетом, получающие β-глюкансодержащий препарат *P. ostreatus*.

Для исследования гипогликемического действия препарата была реализована наиболее часто используемая в исследованиях стрептозотоциновая модель диабета у животных. Модель основана на токсическом действии антибиотика стрептозотоцина, который вызывает де-

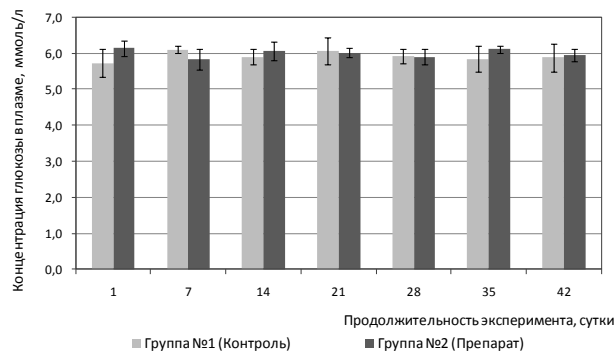


Рис. 1. Концентрация глюкозы в плазме крови здоровых лабораторных животных

Fig. 1. Serum glucose level in the blood plasma of healthy rats

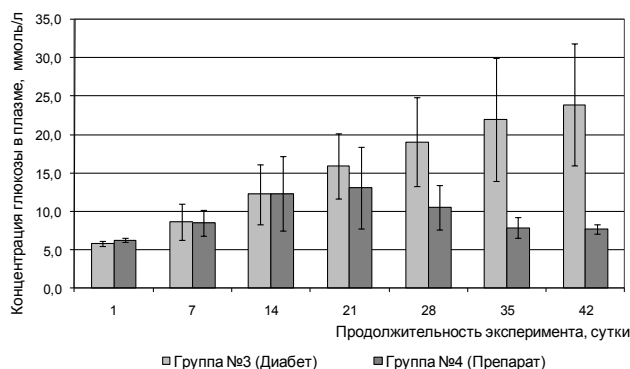


Рис. 2. Концентрация глюкозы в плазме крови лабораторных животных со стрептозотоциновой моделью диабета

Fig. 2. Serum glucose level in the blood plasma of streptozotocin-induced diabetic rats

струкцию β-клеток островков Лагерганса поджелудочной железы, синтезирующих гормон инсулин [37].

Стрептозотоксин (Sigma, USA) вводили ненаркотизированным крысам внутривенно из расчета 45 мг в 1 мл лимоннокислого буфера (pH 4,5) на 1 кг массы. Динамику развития патологического процесса контролировали ежедневно по уровню глюкозы, определяемой в кровотоке животных с помощью глюкозооксидазного метода прибором Ассу-Chek Performa Nano (Германия). Цельную кровь для анализа получали путем прокола кожи кончика хвоста с помощью ланцета Ассу-Chek Softclix (Германия). Через 14 дней у подопытных животных развивался диабет. В эксперимент отбирали крыс с диабетом средней тяжести.

Гипогликемическое действие полученного препарата было изучено в ходе эксперимента на здоровых лабораторных животных и животных с индуцированным диабетом.

Лечение животных начинали с 15 дня от начала эксперимента и продолжали в течение 28 дней. Животным экспериментальных групп № 2 и № 4 ежедневно интрагастрально через зонд вводился препарат полисахаридов *P. ostreatus*. Препарат полисахаридов *P. ostreatus* растворяли в воде в концентрации 15 мг/мл и вводили в дозе 15 мг/кг массы тела животного. В связи с тем, что ежедневное зондирование вызывает у животных стресс, который может влиять на уровень глюкозы, то для чистоты эксперимента животным контрольных групп № 1 и № 3 вместо препарата вводилась вода.

Стандартные отклонения были рассчитаны и показаны на графиках. Статистическая обработка результатов была выполнена с помощью программы Microsoft Office Excel.

### Обсуждение результатов

Было установлено, что исследуемый препарат содержит 31,5±0,4% глюканов, включая 7,6±0,2% α-глюканов и 23,9±0,2% β-глюканов.

Для проверки возможного развития гипогликемии у животных при приеме препарата, изучалось его воздействие на концентрацию глюкозы в плазме крови здоровых животных. Животных разделили на две группы: животным из группы № 1 интрагастрально вводили воду,

группа № 2 интрагастрально получала препарат. Концентрации глюкозы в плазме крови здоровых подопытных животных в ходе эксперимента показаны на рис. 1.

Из представленных данных видно, что введение здоровым животным испытуемого препарата не вызвало изменения концентрации глюкозы в плазме крови (концентрация глюкозы 5,9±0,2 ммоль/л) по сравнению с животными, не получавшими препарата (концентрация глюкозы 5,9±0,4 ммоль/л). Очевидно, что прием препарата здоровыми животными в исследованных дозах не оказывал влияния на содержание сахара в крови.

Для изучения влияния препарата на животных с диабетом, контролировались изменения содержания глюкозы у животных групп № 3 и № 4. Изменения уровня глюкозы у подопытных животных со стрептозотоциновой моделью диабета в ходе эксперимента представлены на рис. 2.

Из полученных результатов видно, что уже через 14 дней приема препарата (на 28-й день после начала эксперимента) уровень глюкозы в плазме крови животных, получавших препарат (группа № 4), ниже, чем у животных, не получавших препарат (группа № 3). По окончании эксперимента уровень глюкозы в плазме крови крыс, получавших препарат, существенно снизился (7,7±0,6 ммоль/л) и был приблизительно в три раза ниже концентрации глюкозы в крови животных из контрольной группы (23,9±7,9 ммоль/л).

Препараты грибного происхождения, которые оказывают гипогликемическое действие, скорее всего, обладают полифункциональным эффектом. Один из возможных механизмов действия — восстановление передачи сигнала от инсулинового рецептора внутрь клетки через восстановление сигнального пути фосфатидилинозитол-3-киназы/протеинкиназы В. В исследованиях было показано, что введение животным β-глюканов грибов приводило к увеличению количества мРНК фосфатидилинозитол-3-киназы, протеинкиназы В и белка-переносчика глюкозы Glut 4 [38].

В недавних исследованиях было показано, что β-глюканы могут выступать в качестве агонистов рецепторов, активизируемых пероксисомными пролифераторами (Peroxisome proliferator-activated receptors, PPARs), а значит работать по такому же принципу как антидиабети-

ческие препараты последнего поколения класса тиазолидинионов. В результате активации PPARs рецепторов улучшается чувствительность тканей к инсулину, активизируется утилизация глюкозы и снижается активность процесса глюконеогенеза [19].

Помимо этого,  $\beta$ -глюканы могут положительно влиять и на другие звенья патогенеза диабета. К антидиабетическим факторам действия  $\beta$ -глюканов можно отнести их антиоксидантное и противовоспалительное действие. Так как диабет можно охарактеризовать как низкодифференцированное воспаление, то важной является способность  $\beta$ -глюканов влиять на экспрессию транскрипционного фактора NF- $\kappa$ B, в результате чего снижается продукция провоспалительных цитокинов: TNF- $\alpha$ , IL-6 и фактора привлечения макрофагов, что приводит к уменьшению воспаления [30]. Также известно, что при диабете усиливаются реакции свободно-радикального окисления и перекисного окисления липидов. Грибные  $\beta$ -глюканы способствуют восстановлению активности одного из главных антиоксидантных ферментов супероксиддисмутазы и снижению уровня малонового альдегида [28, 39,40].

Возможным механизмом также является предполагаемое влияние на состояние поджелудочной железы: индукция пролиферации островковых  $\beta$ -клеток, регенерация островков Лангерганса, увеличение количества  $\beta$ -клеток [13–16].

В последнее время много внимания уделяется микробиоте и ее роли в метаболизме. Глюканы грибов могут действовать в качестве пребиотиков, увеличивая количество T-регуляторных клеток, которые обладают противовоспалительным действием. Вследствие этого состав микробиоты может корректироваться, и ослаблять гипергликемию и ожирение [3, 4].

### Выводы

Препарат, содержащий  $\beta$ -глюканы *P. ostreatus*, при введении здоровым экспериментальным животным интрагастрально в дозе 15 мг/кг массы тела с помощью зонда в течение 28 дней не оказывал влияния на содержание глюкозы в плазме крови.

Однократное введение стрептозотоцина в дозе 45 мг/кг веса животных к 21 суткам приводило к стойкому повышению содержания глюкозы в крови ( $16,4 \pm 4,0$  ммоль/л), по сравнению с исходными уровнем ( $5,9 \pm 0,3$  ммоль/л). Используемая нами экспериментальная модель адекватно отражает состояние гипергликемии, наблюдаемое у больных диабетом.

Препарат, содержащий  $\beta$ -глюканы *P. ostreatus*, вводимый крысам с гипергликемией интрагастрально с помощью зонда в дозе 15 мг/кг массы тела в течение 28 дней приводил к снижению уровня глюкозы в кровотоке до значения  $7,7 \pm 0,6$  ммоль/л. У животных, не получавших лечения, повышение концентрации сахара наблюдалось в течение всего срока наблюдения, и к концу эксперимента уровень глюкозы составлял  $23,9 \pm 7,9$  ммоль/л.

Препарат, содержащий  $\beta$ -глюканы *P. ostreatus*, может быть основой для разработки композиции БАД для профилактики развития диабета у лиц с метаболическим синдромом и инсулинорезистентностью. Устойчивость получаемого нами полисахарида к температурному воздействию позволяет предложить его также для создания

различных функциональных пищевых продуктов (хлеба, молочных продуктов и т. д.) с гипогликемической направленностью.

### Литература/References

- World Health Organization et al. Global report on diabetes. World Health Organization, 2016. Global report on diabetes [Electronic resource]: URL: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/204871/1/9789241565257\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/204871/1/9789241565257_eng.pdf). (Date accessed 20.12.2018)
- American Diabetes Association et al. Diagnosis and classification of diabetes mellitus. *Diabetes care*. 2014. Vol. 37. No Supplement 1. pp. S81-S90. DOI: 10.2337/dc14-S081
- Friedman M. Mushroom polysaccharides: chemistry and antiobesity, antidiabetes, anticancer, and antibiotic properties in cells, rodents, and humans. *Foods*. 2016. Vol. 5. No. 4 (80). pp. 1–40. DOI: 10.3390/foods5040080
- Jayachandran M., Xiao J., Xu B. A critical review on health promoting benefits of edible mushrooms through gut microbiota. *International journal of molecular sciences*. 2017. Vol. 18. No. 9. p. 1934. DOI: 10.3390/ijms18091934
- Wasser S. Medicinal mushroom science: Current perspectives, advances, evidences, and challenges. *Biomedical journal*. 2014. Vol. 37. No. 6. pp. 345–356. DOI: 10.4103/2319–4170.138318
- Su C. H. et al. Comparative characterization of physicochemical properties and bioactivities of polysaccharides from selected medicinal mushrooms. *Applied microbiology and biotechnology*. 2016. Vol. 100. No. 10. pp. 4385–4393.
- Chang C. J. et al. *Ganoderma lucidum* reduces obesity in mice by modulating the composition of the gut microbiota. *Nature communications*. 2015. Vol. 6. p. 7489.
- Kundakovic T., Kolundzic M. Therapeutic properties of mushrooms in managing adverse effects in the metabolic syndrome. *Current Topics in Medicinal Chemistry*. 2013. Vol. 13. No. 21. pp. 2734–2744. DOI: 10.2174/15680266113136660196
- Lo H. C., Wasser S. P. Medicinal mushrooms for glycemic control in diabetes mellitus: history, current status, future perspectives, and unsolved problems. *International journal of medicinal mushrooms*. 2011. Vol. 13. No. 5. pp. 401–426. DOI: 10.1615/IntJMedMushr.v13.i5.10
- Neyrinck A. M. et al. Dietary modulation of clostridial cluster XIVa gut bacteria (*Roseburia spp.*) by chitin — glucan fiber improves host metabolic alterations induced by high-fat diet in mice. *The Journal of nutritional biochemistry*. 2012. Vol. 23. No. 1. pp. 51–59. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2010.10.008
- Bashir K. M., Choi J. S. Clinical and physiological perspectives of  $\beta$ -glucans: The past, present, and future. *International journal of molecular sciences*. 2017. Vol. 18 (9). pp. 1906. DOI: 10.3390/ijms18091906
- W. J. A. Banukie N. Jayasuriya et al. Hypoglycaemic activity of culinary *Pleurotus ostreatus* and *P. cystidiosus* mushrooms in healthy volunteers and type 2 diabetic patients on diet control and the possible mechanisms of action. *Phytotherapy research*. 2015. Vol. 29. No. 2. pp. 303–309. DOI: 10.1002/ptr.5255
- Sohn J. H. et al. Effects of  $\beta$ -glucan and *Folium mori* extract combinations in STZ-induced diabetic rats: Effectiveness of various BGMF complex compositions in treating diabetes. *Current Nutrition & Food Science*. 2018. Vol. 14. No. 3. pp. 235–246. DOI: 10.2174/1573401313666170609094842
- Yamac M. et al. Hypoglycemic effect of *Lentinus strigosus* (Schwein.) Fr. crude exopolysaccharide in streptozotocin-induced

- diabetic rats. *Journal of medicinal food*. 2008. Vol. 11. No. 3. pp. 513–517. DOI: 10.1089/jmf.2007.0551
15. Li J. P., Lei Y., Zhan H. The effects of the king oyster mushroom *Pleurotus eryngii* (higher Basidiomycetes) on glycemic control in alloxan-induced diabetic mice. *International journal of medicinal mushrooms*. 2014. Vol. 16. No. 3. pp. 219–225. DOI: 10.1615/IntJMedMushr.v16.i3.20
16. Wang Y. et al. *Agaricus bisporus* lectins mediates islet  $\beta$ -cell proliferation through regulation of cell cycle proteins. *Experimental Biology and Medicine*. 2012. Vol. 237. No. 3. pp. 287–296. DOI: 10.1258/ebm.2011.011251
17. Cao Y. et al. Hypoglycemic activity of the Baker's yeast  $\beta$ -glucan in obese/type 2 diabetic mice and the underlying mechanism. *Molecular nutrition & food research*. 2016. Vol. 60. No. 12. pp. 2678–2690. DOI: 10.1002/mnfr.201600032
18. Wang P. C. et al. Anti-diabetic polysaccharides from natural sources: A review. *Carbohydrate polymers*. 2016. Vol. 148. pp. 86–97. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.02.060
19. Vitak T. et al. Effect of medicinal mushrooms on blood cells under conditions of diabetes mellitus. *World journal of diabetes*. 2017. Vol. 8. No. 5. pp. 187–201. DOI: 10.4239/wjd.v8.i5.187
20. Luna B., Feinglos M. N. Oral agents in the management of type 2 diabetes mellitus. *American family physician*. 2001. Vol. 63. No. 9. pp. 1747–1756. PMID:11352285
21. Bhaskar D. et al. Effect of  $\beta$ -glucan fortification on physico-chemical, rheological, textural, colour and organoleptic characteristics of low fat dahi. *Journal of food science and technology*. 2017. Vol. 54. No. 9. pp. 2684–2693. DOI: 10.1007/s13197-017-2705-6
22. Raikos V. et al. Use of  $\beta$ -glucan from spent brewer's yeast as a thickener in skimmed yogurt: Physicochemical, textural, and structural properties related to sensory perception. *Journal of dairy science*. 2018. Vol. 101. No 7. pp. 5821–5831. DOI: 10.3168/jds.2017-14261
23. Khorshidian N. et al. An overview of  $\beta$ -Glucan functionality in dairy products. *Current Nutrition & Food Science*. 2018. Vol. 14. No. 4. pp. 280–292. DOI: 10.2174/15734013136666170609092748
24. Giavasis I. Bioactive fungal polysaccharides as potential functional ingredients in food and nutraceuticals. *Current Opinion in Biotechnology*. 2014. Vol. 26. pp. 162–173. DOI: 10.1016/j.copbio.2014.01.010
25. Lavelli V. et al. Circular reuse of bio-resources: The role of *Pleurotus* spp. in the development of functional foods. *Food & Function*. 2018. Vol. 9. No. 3. pp. 1353–1372. DOI: 10.1039/C7FO01747B
26. Khan M. A., Tania M. Nutritional and Medicinal Importance of *Pleurotus* Mushrooms: An Overview. *Food Reviews International*. 2012. Vol. 28. No. 3. pp. 313–329. DOI: 10.1080/87559129.2011.637267
27. Shamsyan M. et al. Hyperlipidemic and hypocholesterolic action of submerge cultured mushrooms. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2014. Vol. 7. pp. 96–99
28. Kozarski M. et al. Antioxidants of edible mushrooms. *Molecules*. 2015. Vol. 20. No. 10. p. 19489–19525. DOI: 10.3390/molecules201019489
29. Facchini J. M. et al. Antitumor activity of *Pleurotus ostreatus* polysaccharide fractions on Ehrlich tumor and Sarcoma 180. *International journal of biological macromolecules*. 2014. Vol. 68. pp. 72–77. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2014.04.033
30. Du B. et al. An insight into anti-inflammatory effects of fungal beta-glucans. *Trends in Food Science & Technology*. 2015. Vol. 41. No. 1. pp. 49–59. DOI: 10.1016/j.tifs.2014.09.002
31. Llauradó G. et al. Haematopoiesis radioprotection in Balb/c mice by an aqueous mycelium extract from the Basidiomycete *Pleurotus ostreatus* mushroom. *Natural product research*. 2015. Vol. 29. No. 16. pp. 1557–1561. DOI: 10.1080/14786419.2014.983918
32. Hozova B., Kuniak L., Kelemenova B. Application of beta-D-glucans isolated from mushrooms *Pleurotus ostreatus* (Pleuran) and *Lentinus edodes* (Lentinan) for increasing the bioactivity of yoghurts. *Czech Journal of Food Sciences-UZPI (Czech Republic)*. 2004. Vol. 22. No. 6. pp. 204–214
33. Vital A. C. P. et al. Microbiological, functional and rheological properties of low fat yogurt supplemented with *Pleurotus ostreatus* aqueous extract. *LWT-Food Science and Technology*. 2015. Vol. 64. No. 2. pp. 1028–1035. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.07.003
34. Антонцева Е. В. и др. Подбор условий глубинного культивирования *Pleurotus ostreatus* // Вестник Международной академии холода. 2019. № 1. С. 34–38. [Antonцева et al. Selection of conditions for submerged cultivation of *Pleurotus ostreatus*. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2019. No 1. pp. 34–38. (in Russian)]
35. Antonцева E. et al. Influence of *Pleurotus ostreatus* preparations on fermentation products of lactic acid cultures. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2018. Vol. 22. pp. 47–52.
36. McCleary B. V., Draga A. Measurement of  $\beta$ -glucan in mushrooms and mycelial products. *Journal of AOAC International*. 2016. Vol. 99. No. 2. pp. 364–373. DOI: 10.5740/jaoacint.15-0289
37. Furman B. L. Streptozotocin-induced diabetic models in mice and rats. *Current protocols in pharmacology*. 2015. Vol. 70. No. 1. 5.47. pp. 1–20. DOI: 10.1002/0471141755.ph0547s70
38. Onyango A. N. Cellular Stresses and Stress Responses in the Pathogenesis of Insulin Resistance. *Oxidative medicine and cellular longevity*. 2018. Vol. 2018. pp. 1–27. DOI: 10.1155/2018/4321714
39. Bobek P., Galbavy S. Effect of pleuran (beta-glucan from *Pleurotus ostreatus*) on the antioxidant status of the organism and on dimethylhydrazine-induced precancerous lesions in rat colon. *British journal of biomedical science*. 2001. Vol. 58. No. 3. pp. 164–168
40. Du B., Bian Z., Xu B. Skin health promotion effects of natural beta-glucan derived from cereals and microorganisms: a review. *Phytotherapy Research*. 2014. Vol. 28. No. 2. pp. 159–166. DOI: 10.1002/ptr.4963

**Сведения об авторах****Антонцева Екатерина Валерьевна**

старший преподаватель кафедры технологии микробиологического синтеза Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), 190013, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, 26, antontseva@gmail.com

**Сорокин Сергей Сергеевич**

аспирант кафедры технологии микробиологического синтеза Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), 190013, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, 26, sersorock@yandex.ru

**Шамцян Марк Маркович**

к. т. н., доцент, и. о. зав. кафедрой технологии микробиологического синтеза Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), 190013, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, 26, mark.shamtsyan@yandex.ru

**Чефу Светлана Григорьевна**

к. б. н., зав. лабораторией экспериментальных исследований Центра лазерной медицины Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. акад. И. П. Павлова, 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, 6–8, chefusveta@yandex.ru

**Петрищев Николай Николаевич**

д. м. н., профессор кафедры патофизиологии Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. акад. И. П. Павлова, 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, 6–8, lasmed@yandex.ru

**Конусова Валентина Георгиевна**

к. м. н., ведущий научный сотрудник ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт особо чистых биопрепаратов» ФМБА России, 197110, Санкт-Петербург, ул. Пудожская, д. 7, val-g-kon@yandex.ru

**Information about authors****Antontseva Ekaterina Valeryevna**

Assistant Professor of Department of Technology of Microbiological Synthesis Saint-Petersburg State Institute of Technology, 190013, Russia, Saint-Petersburg, Moskovsky prospect, 26, antontseva@gmail.com

**Sorokin Sergei Sergeevich**

Postgraduate Student of Department of Technology of Microbiological Synthesis Saint-Petersburg State Institute of Technology, 190013, Russia, Saint-Petersburg, Moskovsky prospect, 26, sersorock@yandex.ru

**Shamtsyan Mark Markovich**

PhD, Associate professor, Head of Department of Technology of Microbiological Synthesis Saint-Petersburg State Institute of Technology, 190013, Russia, Saint-Petersburg, Moskovsky prospect, 26, mark.shamtsyan@yandex.ru

**Chefu Svetlana Grigorievna**

PhD, Head of Experimental Research Laboratory of the Laser Medicine Center St. Petersburg I. P. Pavlov State Medical University, 197022, Russia, Saint-Petersburg, Lva Tolstogo str. 6–8, chefusveta@yandex.ru

**Petrishchev Nikolay Nikolaevich**

D. Sc., professor of Department of Pathophysiology St. Petersburg I. P. Pavlov State Medical University, 197022, Russia, Saint-Petersburg, Lva Tolstogo str. 6–8, lasmed@yandex.ru

**Konusova Valentina Georgievna**

PhD, head researcher of State Research Institute of Highly Pure Biopreparations, 197110, Russia, Saint-Petersburg, Pudozhskaya str. 7, val-g-kon@yandex.ru



AGRO & POULTRY  
EAST AFRICA 2019

25 26 27 June 2019

**Diamond Jubilee Hall, Dar-es-Salaam - Tanzania**

We are pleased to invite you to participate at Aggro & Poultry Tanzania 2019, Intl Trade Exhibition on Aggro & Poultry.

The exhibition will be held from 25 - 27 June 2019 at Diamond Jubilee Hall, Dar-Es-Salaam, Tanzania

Aggro & Poultry provides a unique opportunity to expand your brand in one of the most astonishing business destinations in Africa. Tanzania has a huge potential for Agriculture & its related products as it plays a vital role in country's growing economy. The Exhibition would attract exhibitors from around 18 countries.

More detailed: [africanfairs.com/agropoul\\_tzjn/form.php](http://africanfairs.com/agropoul_tzjn/form.php)

