

Е.М. Серба, член-корреспондент РАН, профессор
М.Б. Оверченко, кандидат технических наук
Л.В. Римарева, академик РАН, профессор
Н.И. Игнатова
А.Е. Орехова, студент
А.А. Павлова, студент

*Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии –
 филиал ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи»
 РФ, 111033, г. Москва, ул. Самокатная, 4-Б
 E-mail: serbae@mail.ru*

УДК 577.15:663.5

DOI: 10.30850/vrsn/2020/5/52-56

СПОСОБЫ ФЕРМЕНТАТИВНО-ГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ЗЕРНОВОГО СУСЛА ДЛЯ СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ*

В производстве спирта при подготовке зернового сырья к сбраживанию основная роль отводится ферментным препаратам амилолитического действия, которые служат ключевыми ферментами, катализирующими гидролиз крахмала. На российском рынке широко представлены амилолитические ферментные препараты с различным составом ферментов и уровнем их активности, механизмом биокаталитического воздействия на крахмал и диапазоном термо- и рН-оптимума. Разработка оптимальных условий приготовления зернового сусла, рациональный подбор и дозировка концентрированных ферментных препаратов, свойства которых соответствуют параметрам технологического процесса, позволят обеспечить эффективную подготовку крахмала к сбраживанию, повысить рентабельность спиртового производства. Цель данной работы – исследование ферментных препаратов амилолитического действия и условий их применения на эффективность процесса спиртового брожения и выход конечного продукта – этанола. Изучены дозировки ферментных препаратов глюкоамилазного действия с различным соотношением основного фермента глюкоамилазы и минорного – α -амилазы, а также способы приготовления пшеничного сусла в процессе спиртового брожения. Установлено, что ферментный препарат – источник глюкоамилазы, в котором присутствовала α -амилаза в соотношении 15:1 (по уровню активности), оказался более эффективным при сбраживании подготовленного пшеничного сусла: оптимальная дозировка его составила 8 ед. ГлС/г крахмала. Наличие в этом препарате достаточного количества α -амилазы компенсировало дозировку термостабильной α -амилазы. При этом концентрация спирта в бражке составила 10,2 % об., выход спирта – 67,9 см³/100 г крахмала. При использовании на стадии осахаривания ферментного препарата глюкоамилазы с более низким соотношением основного и минорного фермента (75:1), повышение глубины сбраживания сусла наблюдалось при увеличении концентрации глюкоамилазы до 9-10 ед. ГлС/г и α -амилазы до 0,5 ед. АС/г. Также установлено, что увеличение продолжительности ферментативно-гидролитической подготовки сусла оказывало положительное воздействие на процесс брожения, концентрация спирта в бражке повысилась до 10,2 об. %. Введение в сусло протеаз способствует снижению вязкости зернового сусла, обогащению его ассимилируемыми дрожжами-аминокислотами, что ведет к увеличению выхода спирта. Подтверждено, что синергизм действия ферментов амилолитического и протеолитического действия на полимеры зернового сырья повышает эффективность их конверсии в этанол. Разработаны условия ферментативно-гидролитической обработки зернового сырья к сбраживанию. Использование стадии разваривания не оказало существенного влияния на результаты сбраживания пшеничного сусла.

Ключевые слова: зерновое сырье, спирт, амилаза, глюкоамилаза, протеаза, брожение.

E.M. Serba, Corresponding member of RAS, Professor
M.B. Overchenko, PhD in Engineering sciences
L.V. Rimareva, Academician of RAS, Professor
N.I. Ignatova
A.E. Orekhova, student
A.A. Pavlova, student

*Russian research Institute of food biotechnology is a branch of Federal state budget institution
 of science «Federal research center of food, biotechnology and food safety»
 RF, 111033, g. Moskva, ul. Samokatnaya, 4-B
 E-mail: serbae@mail.ru*

FERMENTATIVE HYDROLYTIC PREPARATION METHODS OF CEREAL WORT FOR ALCOHOL FERMENTATION

In the production of alcohol in the preparation of grain raw materials for fermentation, the main role is given to enzyme preparations of amylolytic action, which are key enzymes that catalyze the hydrolysis of starch. Amylolytic enzyme preparations with a different composition of enzymes and their level of activity, a mechanism of biocatalytic effect on starch, and a range of thermal and pH optimum are widely represented on the Russian market. The development of optimal conditions for the preparation of grain wort, the rational selection and dosage of concentrated enzyme preparations, the properties of which correspond to the parameters of the technological process,

* Исследования проведены за счет средств субсидии на выполнение государственного задания в рамках Программы Фундаментальных научных исследований государственных академий наук / The investigations were carried out with Grant funds to perform a State task under the Basic Scientific Research programme of the State Science Academies.

will ensure the effective preparation of starch for fermentation, and increase the profitability of alcohol production. The aim of this work was to study the influence of enzyme preparations of amylolytic action and the conditions of their use on the efficiency of the process of alcoholic fermentation and the yield of the final product, ethanol. The effect of various dosages of enzyme preparations of glucoamylase action, with a different ratio of the main enzyme glucoamylase and minor enzyme α -amylase, as well as methods for preparing wheat wort on the process of alcoholic fermentation, was studied. It was found that the enzyme preparation, the source of glucoamylase, in which α -amylase was present in a ratio of 15: 1 (in terms of activity level), turned out to be more effective in fermenting prepared wheat wort: its optimal dosage was 8 units. GLS/g starch. The presence of a sufficient amount of α -amylase in this preparation compensated for the dosage of thermostable α -amylase. The alcohol concentration in the mash was 10.2 % vol., The alcohol yield was 67.9 cm³/100 g of starch. When glucoamylase with a lower ratio of the main and minor enzyme (75:1) was used at the saccharification stage, an increase in the wort fermentation depth was observed with an increase in the concentration of glucoamylase to 9–10 units of GLS/g and α -amylase to 0.5 units. AC/g. It was also found that an increase in the duration of enzymatic-hydrolytic preparation of the wort had a positive effect on the fermentation process, the alcohol concentration in the mash increased to 10.2 vol. %. It was shown that the introduction of proteases into the wort helps to reduce the viscosity of grain wort, enriching it with assimilable yeast amino acids, which leads to an increase in the yield of alcohol. It has been confirmed that the synergy of the action of enzymes of amylolytic and proteolytic effects on polymers of grain raw materials allows to increase the efficiency of their conversion to ethanol. The conditions of enzymatic-hydrolytic processing of grain raw materials for fermentation are developed. The use of the digestion stage did not significantly affect the fermentation results of wheat wort.

Key words: raw materials, alcohol, amylase, glucoamylase, protease, fermentation.

Основу современных ресурсосберегающих пищевых технологий составляют биотехнологические процессы конверсии сельскохозяйственного сырья в целевые продукты, способствующие экономии сырьевых ресурсов и повышению рентабельности производства. Это относится и к спиртовой отрасли — лидеру по применению ферментов в пищевой промышленности. [1, 6]

Современные технологии спирта основаны на биокаталитическом гидролизе высокомолекулярных полимеров зерна в доступные для дрожжей мономеры. [4, 7] На российском рынке представлены концентрированные ферментные препараты (ФП) ведущих биотехнологических компаний мира, которые с конца прошлого века, практически вытеснив отечественных производителей, поставляют свою продукцию. К ним относятся: «Danisco» (Дания), «Alltech» (США), «Biozym» и «SternEnzym GmbH & Co. KG» (Германия), «Shandong Longda Bio-Products Co, LTD» (КНР), но ни одна из этих компаний не организовала своего производства в России. [9] На долю отечественных производителей ферментов микробного происхождения (ПО «Сиббиофарм», ООО «Агрофермент») приходится не более 10 %. Поставляемые препараты различаются по субстратной специфичности и механизму действия, уровню ферментативной активности, оптимальным условиям и эффективности каталитического действия. Среди общего объема ФП для пищевой промышленности 60 % приходится на долю амилолитических ферментов, наиболее востребованных в спиртовой, пивоваренной, крахмалопаточной и хлебопекарной отраслях. Как известно, в производстве спирта зерно принято оценивать с точки зрения содержания в нем крахмала — основного источника сбраживаемых углеводов.

Ключевые ферменты, катализирующие гидролиз крахмала:

— α -амилаза (α -1,4-глюкан-4-глюканогидролаза, классификационный номер КФ 3.2.1.1.) — эндодействия, катализирует расщепление внутренних α -1,4-гликозидных связей крахмала, что приводит к быстрому снижению вязкости и декстринизации крахмала на стадии разжижения;

— глюкоамилаза (α -1,4-глюканглюкогидролаза, классификационный номер КФ 3.2.1.3.) — экзодействия, катализирует гидролиз частично расщепленных полимеров крахмала по α -1,4- и α -1,6-гликозидным связям с образованием глюкозы на стадии осахаривания.

Применение амилолитических ферментов с различным механизмом биокаталитического воздействия на крахмал и широким диапазоном термодействия, обеспечивает рациональную подготовку крахмала к сбраживанию. Разработка оптимальных условий приготовления зернового суслу, подбор и дозировка концентрированных ферментных препаратов, свойства которых соответствуют параметрам технологического процесса, дает возможность повысить эффективность спиртового производства.

Цель работы — исследовать влияние ферментных препаратов амилолитического действия и условий их применения на процесс спиртового брожения и выход конечного продукта — этанола.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнена на базе ВНИИПБТ — филиала ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» в отделе биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД. Объекты исследования: зерно пшеницы; амилолитические ферментные препараты, различающиеся механизмом, специфичностью и оптимальными условиями каталитического действия, уровнем ферментативной активности и микробным происхождением. Амилолитическую (АС), глюкоамилазную (ГЛС) и протеолитическую (ПС) активности ферментных препаратов определяли в стандартных условиях при температуре 30°C. [8]

Зерновое сусло готовили по «мягкой» схеме ферментативно-гидролитической обработки зерна при температуре 40...90°C и гидромодуле 1:3. [2] На стадии приготовления зернового замеса для декстринизации крахмала применяли бактериальную термостабильную α -амилазу из расчета 0,2...0,5 ед. АС/г крахмала. Для получения зернового суслу осахаривание крахмала выполняли ферментными препаратами — источниками глюкоамилазы в дозировках

от 6,0 до 9,0 ед. ГлС/г крахмала в зависимости от условий эксперимента; ФП – источник протеаз – 0,1 ед. ПС/г сырья.

Процессы сбраживания пшеничного суслу моделировали биологическим методом постановки бродильных проб. [3] Для инокуляции среды использовали чистую культуру спиртовых дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* p. 985-T, выращенную на солодовом сусле.

Состав основных полимеров зернового сырья, концентрацию зернового суслу, содержание редуцирующих (РВ) и общих (ОРВ) углеводов, концентрацию и выход спирта определяли согласно инструкции теххимического контроля спиртового производства. [3]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе проведены сравнительные исследования четырех ФП, один из которых был источником α -амилазы (ФП-1), два – глюкоамилазы (ФП-2 и ФП-3) и один – протеаз (ФП-4). Основной фермент ФП-1 – термостабильная α -амилаза, полученная путем глубинного культивирования бактерий *Vacillus licheniformis*; продуцент глюкоамилазы в ФП-2 и ФП-3 – микросиет *Aspergillus niger*; ФП-4 содержал комплекс пептидаз и протеиназ, синтезированных грибом *Aspergillus oryzae* (табл. 1.).

В результате выявлены основные различия исследованных препаратов. Бактериальный препарат ФП-1 содержал α -амилазу, обладающую высокой термостабильностью, при увеличении температуры со стандартного значения (30°C) до оптимального (92°C) уровень активности возрастал в 10 раз. ФП – источники глюкоамилазы практически не различались оптимальными условиями каталитического действия, только немного – в составе ферментного комплекса. ФП-2 помимо основного фермента – глюкоамилазы содержал минорный – α -амилазу в соотношении 15:1 по уровню их активности. Глюкоамилазная активность ФП-3 в 2,1 раза превосходила таковую в ФП-2. При этом у ФП-3 проявлялся более низкий уровень амилолитической активности, соотношение основного и минорного ферментов составило 75:1. ФП-4 – протеолитического действия был не стабилен при температурах выше 60°C (рН оптимум в диапазоне 4,5...5,5).

На следующем этапе разработан алгоритм приготовления пшеничного суслу с использованием исследуемых ФП (рис. 1, 3-я стр. обл.). На первой стадии приготовления зернового замеса задавали

термостабильную α -амилазу для разжижения и декстринизации крахмала при 50°C и постоянном перемешивании. Затем, в зависимости от условий эксперимента, часть образцов подвергали развариванию при избыточном давлении и температуре 110°C в течение 15 мин. (IV стадия), после чего, передавали на V стадию – осахаривание. Другие образцы подвергали дальнейшей ферментативно-гидролитической обработке при температуре 85°C в течение еще двух часов, затем – осахариванию, температуру повышали до 90°C и процесс продолжали еще один час (III стадия).

По окончании осахаривания получили образцы пшеничного суслу, которые различались не только способами приготовления, но и использованными ферментными препаратами - источниками глюкоамилазы и их дозировкой. Во всех вариантах при обработке сырья были применены I и V стадии. Основные различия заключались в дальнейших способах приготовления зерновых замесов во II, III или IV стадиях.

Если зерновое суслу разваривали, то на стадии брожения добавляли ФП-4 (источник комплекса протеаз).

Проведены сравнительные исследования влияния ФП-источников глюкоамилазы и их дозировок на эффективность сбраживания зернового суслу, приготовленного с использованием двух стадий (I и II) ферментативно-гидролитической обработки зернового сырья (табл. 2). Во всех вариантах в процессе замеса вводили ФП-1 из расчета 0,2...0,5 ед. АС/г крахмала. Выявлены различия в сбраживании пшеничного суслу, полученного после осахаривания его исследуемыми источниками глюкоамилазы. Так, ФП-2, в котором присутствовала α -амилаза в большем количестве, оказался более эффективным – при дозировке 8 ед. ГлС/г (на долю α -амилазы дополнительно приходилось 0,5 ед. АС/г) выход спирта составил 67,9 см³/100 г крахмала, содержание редуцирующих углеводов (РВ) – 0,29 г/100 см³, общих (ОРВ) – 0,40 г/100 см³. Увеличение концентрации глюкоамилазы до 9...10 ед. ГлС/г крахмала на показатели бражки существенно не влияло.

При использовании ФП-3 в дозировке 8 ед. ГлС/г (на долю α -амилазы дополнительно приходилось 0,1 ед. АС/г) подобных результатов достигнуто не было: выход спирта – 67,4 см³/100 г, содержание редуцирующих углеводов – 0,32 %, общих – 0,51 %. Повышение глубины сбраживания суслу наблюдалось при концентрации глюкоамилазы 9...10 ед. ГлС/г, были достигнуты показатели, практически соответствующие показателям бражки, где использовали ФП-2 (8 ед/г).

Увеличение дозировки α -амилазы ФП-1 до 0,5 ед. АС/г способствовало снижению вязкости обработанного ФП-3 суслу, улучшению биохимических показателей бражки: к 68-му часу концентрация ОРВ составила 0,42 %; спирта – 10,1 %, выход спирта – 68,0 см³/100 г крахмала (рис. 2, 3-я стр. обл.).

На следующем этапе проведены сравнительные исследования эффективности сбраживания зернового суслу, полученного после дополнительной стадии (II+III ст.) ферментативно-гидролитической

Таблица 1.

Характеристика ферментных препаратов

Препарат	Ферментная активность, ед/см ³			Оптимальные условия действия	
	α -амилаза	глюкоамилаза	протеаза	рН	t °С
ФП-1	1000±50	0	0	6,0...7,5	85...95
ФП-2	450±15	7000±300	0	4,0... 5,0	55... 60
ФП-3	200±10	15000±750	0	4,5... 5,0	55...60
ФП-4	0	0	620+25	4,5... 5,5	50... 55

Таблица 2.
Влияние концентрации амилолитических ферментов, используемых для приготовления пшеничного сусла, на эффективность спиртового брожения

Способ обработки сырья	Ферменты, ед/г крахмала			Показатели бражки на 68-й час				
	ФП-1	ФП-2	ФП-3	CO ₂ , г	ОРВ, %	РВ, %	Спирт, % об.	Выход спирта, см ³ /100 г крахмала
Стадии I, II и V	0,2	6,0	–	12,5	0,81	0,38	8,9	65,4
	0,2	7,0	–	13,5	0,52	0,37	9,9	67,3
	0,2	8,0	–	14,0	0,40	0,29	10,2	67,9
	0,2	9,0	–	14,1	0,39	0,27	10,3	68,0
	0,2	10,0	–	14,3	0,34	0,26	10,3	68,1
	0,2	–	6,0	11,7	0,93	0,41	8,4	65,0
	0,2	–	7,0	13,2	0,61	0,37	9,2	66,3
	0,2	–	8,0	13,5	0,51	0,32	9,7	67,4
	0,2	–	9,0	13,9	0,41	0,29	9,9	67,8
	0,2	–	10,0	14,0	0,39	0,26	10,2	67,9

обработки сырья и после разваривания (IV стадия). Во всех вариантах подготовки сусла применяли разжижение (I стадия) при каталитическом воздействии ФП-1 в дозировке 0,2 ед. АС/г крахмала.

Установлено, что увеличение продолжительности ферментативно-гидролитической подготовки сусла с ФП-2 практически не сказалось на показателях зрелой бражки (рис. 3, 3-я стр. обл.). В случае использования ФП-3 с более низким содержанием α-амилазы, введение дополнительной III стадии оказало положительное воздействие на процесс брожения и концентрация спирта в бражке повысилась с 9,8 до 10,2 об. %, IV стадия – разваривание не существенно изменило результаты сбраживания.

В дальнейшей работе в подготовленное с использованием I и II стадий обработки сырья и осаживания (ст. V) в пшеничное сусло вводили ферментный препарат протеолитического действия ФП-4 – 0,1 ед. ПС/г сырья. Наилучшие показатели зрелой бражки были достигнуты при использовании ФП-2 – источника глюкоамилазы и ФП-4 – протеаз, добавленного на стадии брожения (рис. 4, вар. 3, 3-я стр. обл.).

Через 68 ч сбраживания сусла, обработанного комплексом ферментов (0,2 ед. АС+6,0 ед. ГлС+0,1 ед. ПС), содержание остаточных углеводов (ОРВ) в бражке снизилось с 0,81 до 0,40 %, а концентрация спирта возросла с 8,9 до 10,2 об. % по сравнению с показателями контрольного варианта, в котором использованы только амилолитические ферменты ФП-1 и ФП-2 (вар. 1).

Аналогичная тенденция повышения степени сбраживания пшеничного сусла отмечена и при использовании ФП-3 – 6,0 и 9,0 ед. ГлС/г крахмала (вар. 4-6). Таким образом, исследования подтвердили, что применение протеолитических ферментов, катализирующих гидролиз белковых веществ, способствует обогащению сусла азотистым питанием, повышению доступа амилаз к субстрату. [5, 10] В результате интенсифицировался процесс спир-

тового брожения, в бражке снижалось содержание остаточных углеводов и повышался выход спирта.

Выводы. Установлено, что ФП-2 – источник глюкоамилазы, в котором присутствовала α-амилаза в соотношении 15:1 (уровень активности), оказался наиболее эффективным; оптимальная дозировка составила 8 ед. ГлС/г крахмала, при которой достигнут выход спирта 67,9 см³/100 г крахмала.

При использовании ФП-3, в составе которого отмечено более низкое содержание α-амилазы (75:1), подобных результатов при дозировке 8 ед. ГлС/г не было: концентрация спирта – 9,7 % об., выход спирта – 67,4 см³/100 г. Стадия разваривания не оказала существенного влияния на результаты сбраживания пшеничного сусла. Применение протеаз, способствующих обогащению сусла ассимилируемыми дрожжами – аминокислотами, ведет к интенсификации спиртового брожения и увеличению выхода спирта.

Синергизм ферментов амилолитического и протеолитического действия на полимеры зернового сырья позволяет повысить эффективность их конверсии в этанол.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Поляков, В.А. Ресурсосберегающая технология спирта / В.А. Поляков, Л.В. Римарева, отв. ред. В.А. Панфилов // В кн. «Теоретические основы пищевых технологий». Кн. 2. – М.: Колосс. – 2009. – С. 1280–1305.
2. Поляков, В.А. Оптимизация процесса получения концентрированного замеса из зерна ржи / В.А. Поляков, В.П. Леденев, О.А. Калинина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2002. – № 7. – С. 34–37.
3. Поляков, В.А. Инструкция по теххимическому и микробиологическому контролю спиртового производства. // В.А. Поляков, И.М. Абрамова, Г.В. Польшагина и др. // М.: ДеЛипринт. – 2007. – 480 с.
4. Римарева, Л.В. Ферментные препараты и биокаталитические процессы в пищевой промышленности / Л.В. Римарева, Е.М. Серба, Е.Н. Соколова и др. // Вопросы питания. 2017. – Т. 86. – № 5. – С. 63–74.
5. Римарева, Л.В. Теоретические и практические основы биотехнологии дрожжей. Учебное пособие / Л.В. Римарева. – М.: ДеЛи принт. – 2010. – 252 с.
6. Серба, Е.М. Биотехнологические основы комплексной переработки зернового сырья и вторичных биоресурсов в этанол и белково-аминокислотные добавки. Монография (ISBN 978-5-906592-49-1)/ Е.М. Серба, В.А. Поляков // – М.:ВНИИПБТ, 2015. – 133 с.
7. Серба, Е.М. Биотехнологические основы микробной конверсии концентрированного зернового сусла в этанол. Монография / Е.М. Серба, М.Б. Оверченко, Л.В. Римарева – М.: ВНИИПБТ, «БИБЛИОГЛОБУС», 2017. – 120 с. <http://doi.org/10.18334/9785950050169>.
8. Серба, Е.М. Разработка национальных стандартов по методам определения активности ферментных препаратов для пищевой промышленности / Е.М. Серба, М.Б. Оверченко, Н.И. Игнатова и др. // Пищевая промышленность – 2013. – № 7. – С. 40–44.
9. Толкачева, А.А. Ферменты промышленного назначения – обзор рынка ферментных препаратов и перспективы его развития / А.А. Толкачева, Д.А. Черенков, О.С. Корнеева, П.Г. Пономарев // Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET, 2017. – Т. 79. – № 4. – С. 197–203. DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-4-197-203>.

10. Тананайко Т.М. Разработка интенсивной технологии биосинтеза этилового спирта / Т.М. Тананайко, Л.Г. Сергеевко, А.А. Пушкарь // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2011. – № 3 (13). – С. 20–24.

LIST OF SOURCES

1. Polyakov, V.A. Resursosberegayushchaya tekhnologiya spirta / V.A. Polyakov, L.V. Rimareva, otv. red. V.A. Panfilov // V kn. «Teoreticheskie osnovy pishchevyyh tekhnologiy». Kn. 2. – M.: Koloss. – 2009. – S. 1280–1305.
2. Polyakov, V.A. Optimizatsiya processa polucheniya koncentrirovannogo zamesa iz zerna rzhi / V.A. Polyakov, V.P. Ledenev, O.A. Kalinina // Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya. – 2002. – № 7. – S. 34–37.
3. Polyakov, V.A. Instruksiya po tekhnohimicheskomu i mikrobiologicheskomu kontrolyu spirtovogo proizvodstva. // V.A. Polyakov, I.M. Abramova, G.V. Polygalina i dr. // M.: DeLiPrint. – 2007. – 480 s.
4. Rimareva, L.V. Fermentnye preparaty i biokataliticheskie processy v pishchevoj promyshlennosti / L.V. Rimareva, E.M. Serba, E.N. Sokolova i dr. // Voprosy pitaniya. – 2017. – T. 86. – № 5. – S. 63–74.
5. Rimareva, L.V. Teoreticheskie i prakticheskie osnovy biotekhnologii drozhzhej. Uchebnoe posobie / L.V. Rimareva. – M.: DeLi print. – 2010. – 252 s.
6. Serba, E.M. Biotekhnologicheskie osnovy kompleksnoj pererabotki zernovogo syr'ya i vtorichnyh bioresurov v etanol i belkovo-aminokislotnye dobavki. Monografiya (ISBN 978-5-906592-49-1) / E.M. Serba, V.A. Polyakov // – M.: VNIIPBT, 2015. – 133 s.
7. Serba, E.M. Biotekhnologicheskie osnovy mikrobnoy konversii koncentrirovannogo zernovogo susla v etanol. Monografiya / E.M. Serba, M.B. Overchenko, L.V. Rimareva – M.: VNIIPBT, «BIBLIOGLOBUS», 2017. – 120 s. <http://doi.org/10.18334/9785950050169>.
8. Serba, E.M. Razrabotka nacional'nyh standartov po metodam opredeleniya aktivnosti fermentnyh preparatov dlya pishchevoj promyshlennosti / E.M. Serba, M.B. Overchenko, N.I. Ignatova i dr. // Pishchevaya promyshlennost' – 2013. – № 7. – S. 40–44.
9. Tolkacheva, A.A. Fermenty promyshlennogo naznacheniya – obzor rynka fermentnyh preparatov i perspektivy ego razvitiya / A.A. Tolkacheva, D.A. Cherenkov, O.S. Korneeva, P.G. Ponomarev // Vestnik VGUI/Proceedings of VSUET, 2017. – T. 79 – № 4. – S. 197–203. DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-4-197-203>.
10. Tananajko T.M. Razrabotka intensivnoj tekhnologii biosinteza etilovogo spirta / T.M. Tananajko, L.G. Sergeenko, A.A. Pushkar' // Pishchevaya promyshlennost': nauka i tekhnologii. – 2011. – № 3 (13). – S. 20–24.