

Научная статья

УДК 663.53

DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-137-143

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ БРОЖЕНИЯ ПРИ ОСАХАРИВАНИИ ЗЕРНОВЫХ ЗАТОРОВ

Мадина Борисовна Хоконова

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова, пр. Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030, dinakbgsha77@mail.ru, hppt://orcid.org/0000-0003-2791-311X

Аннотация. Для нормального развития дрожжей в процессе брожения необходимо, чтобы в заторе содержались не только сбраживаемые сахара, но и достаточное количество усвояемых дрожжами азотистых веществ. При полной замене солода культурами плесневых грибов необходимо не только обеспечить глубокий гидролиз крахмала, но и гидролиз белковых веществ сырья. Целью исследования являлось уточнение режимов культивирования штаммов плесневых грибов и разработка условий их выращивания в спиртовом производстве. Для успешного применения глубинной культуры взамен солода необходимо в производственных условиях получать достаточно активные по амилолитической и протеолитической способности культуры. Для правильной дозировки необходимо установить, до каких пределов активности культур сохраняется их полноценный ферментативный комплекс, обеспечивающий нормальное осахаривание при установленном расходе единиц активности, что глубинная культура плесневых грибов имела явно низкую активность по амилолитической способности при сравнительно высокой декстринолитической активности, что отрицательно влияло на показатели сбраживания. Установлено, что полная замена солода на глубинную культуру плесневых грибов с такой низкой активностью по амилолитической способности приводили к ухудшению технологических показателей. Более высокое содержание крахмала в бражке при осахаривании солодом обуславливается наличием нерастворенного крахмала солода. Содержание несброженных редуцирующих веществ при осахаривании этой неактивной по амилолитической способности культурой плесневых грибов выше, чем при осахаривании солодом, что приводит к некоторому снижению выхода спирта.

Ключевые слова: спиртовое брожение, осахаривание, затор, плесневые грибы, солод, ферментативная активность

Для цитирования. Хоконова М.Б. Оптимизация параметров и режимов брожения при осахаривании зерновых заторов // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2022. 1(35). С. 137–143. DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-137-143

Research Article

OPTIMIZATION OF PARAMETERS AND REGIMES OF FERMENTATION DURING SACCHARGE OF GRAIN MASH

Madina B. Khokonova

Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Lenin Avenue, 1v, Nalchik, Russia, 360030, dinakbgsha77@mail.ru, hppt:// orcid.org/0000-0003-2791-311X

Abstract. For the normal development of yeast during fermentation, it is necessary that the mash contains not only fermentable sugars, but also a sufficient amount of nitrogenous substances digestible by the yeast. With the complete replacement of malt by cultures of mold fungi, it is necessary not only to ensure deep hydrolysis of starch, but also hydrolysis of the protein substances of the raw material. The purpose of the study was to clarify the modes of cultivation of mold strains and develop the conditions for their cultivation in alcohol production. For the successful use of deep culture instead of malt, it is necessary to obtain cultures that are sufficiently active in terms of amylolytic and photolytic abilities under production conditions.

For the correct dosage, it is necessary to establish to what extent the activity of cultures is preserved by their full-fledged enzymatic complex, which ensures normal saccharification at the established consumption of activity units, that the deep culture of mold fungi had a clearly low activity in terms of amyolytic ability with a relatively high dextrinolytic activity, which negatively affected the fermentation performance. It has been established that the complete replacement of malt with a deep culture of mold fungi with such low activity in terms of amyolytic ability led to a deterioration in technological indicators. The higher content of starch in the mash during saccharification with malt is due to the presence of undisclosed malt starch. The content of unfermented reducing substances during saccharification of this mold culture, inactive in terms of amyolytic ability, is higher than during saccharification with malt, which leads to a slight decrease in the yield of alcohol.

Keywords: alcoholic fermentation, saccharification, mash, moulds, malt, enzymatic activity

For citation. Khokonova M.B. Optimization of parameters and modes of fermentation during the saccharification of grain mashes. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V.M. Kokova* [Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov]. 2022; 1(35):137–143. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-137-143

Введение. Для нормального развития дрожжей в процессе брожения необходимо, чтобы в заторе содержались не только сбраживаемые сахара, но и достаточное количество усвояемых дрожжами азотистых веществ. Солод помимо амилолитических ферментов содержит достаточно активные протеазы, гидролизующие белки зерна. При полной замене солода культурами плесневых грибов необходимо не только обеспечить глубокий гидролиз крахмала, но и гидролиз белковых веществ сырья [1, 2].

В результате спиртового брожения получается полупродукт – зрелая бражка, основу которой составляют вода и этиловый спирт.

Неточности и ошибки, допущенные в ходе технологического процесса производства, отражаются при анализе технологических показателей полученной бражки [3].

Цель исследования – оптимизация культивирования плесневых грибов и разработка условий их выращивания в спиртовом производстве.

Материалы, методы и объекты исследования. Объектами исследований служили плесневые грибы *Asp. awamori*, *Asp. oryzae*, *Asp. batatae* 4, *Asp. usarii* 45, солодовая смесь в количестве: 50% ячменного, 25% овсяного, 25% просяного.

Были поставлены следующие варианты опытов:

1. Из варочного аппарата в заводских условиях отбирали разваренную массу, осаживали ее глубинной культурой плесневых грибов и сбраживали дрожжами.

2. Взяты условия первого варианта, но через сутки в бродящую массу задавали мелассную рассиропку из расчета 30% по весу крахмалистого сырья.

3. В отличие от первых двух вариантов для сбраживания применяли дрожжи, приготовленные на заторе, осаживали грибами.

4-6. Варианты отличались от первых трех изменением качества глубинной культуры, взятой на осаживание. В этих опытах применяли культуру плесневого гриба, выращенную в ферментаторах. В остальном четвертый опыт повторил условия первого, пятый – второго, а шестой – третьего.

7. Для сбраживания в лабораторных условиях была использована масса, отобранная из осаживателя.

Количество нерастворенного крахмала и редуцирующих веществ определяли исходя из общего количества общих сбраживаемых и растворимых углеводов. Анализ основан на том, что крахмал в кислой среде при нагревании гидролизует до растворимых углеводов. Без реакции гидролиза нерастворенный крахмал при фильтрации остается в осадке и в фильтрате определяется только количество растворимых сбраживаемых углеводов. По

разности определяют наличие нерастворенного крахмала в бражке.

Активность по АС и ДС определяли методом Виндиша-Кольбаха.

Крахмалистые среды осахаривали глубинной культурой плесневых грибов. Брожение велось непрерывно-поточным методом.

Результаты исследования. Поскольку при осахаривании зерновых заторов протеазы гидролизуют растительные белки, мы определили количество аминного азота, накапливающегося в заторах, осахаренных плесневыми грибами. Максимальное количество аминного азота накапливается при pH среды 4,5-5,0 и составляет в сравнительных лабораторных опытах для *Asp. batatae* 4-12,5 мг/100 мл, для солодовой вытяжки 18,7 мг/100 мл.

Культуры, выращенные на фильтрате барды, как правило, обладают высокой протеолитической активностью при достаточно высокой амилолитической активности [4, 5].

Для успешного применения глубинной культуры взамен солода необходимо в производственных условиях получать достаточно активные по амилолитической и протеолитической способности культуры.

Для удобства расчетов в этом случае применяют так называемые «большие единицы» (б. ед.), которые в 1000 раз больше малых. Было установлено, что для полного осахаривания 1 т крахмала необходимо в солоде иметь 700 б. ед. АС и 6000 б. ед. ДС.

На практике при применении солодов низкого качества эту норму требуется увеличить [6].

Технологической инструкцией по производству спирта этилового ректифицированного из пищевого сырья предусматривается расход зерна на солод в количестве 16% от перерабатываемого крахмала зерна. При вышеуказанной активности солодов на 1 т крахмала зернового сырья будет тратиться от 728 до 1120 б. ед. амилолитической способности (АС), и от 8960 до 12040 б. ед. декстринолитической способности (ДС) в зависимости от активности солодов.

При полной замене солода поверхностной культурой плесневых грибов, как установлено экспериментально, необходимо применять смесь двух видов грибов: *Asp. awamori* в количестве 4% и *Asp. oryzae* 1% по весу перерабатываемого крахмала. Активность культур при таком расходе должна быть АС 10-14 ед/г, ДС 350-400 ед/г для *Asp. awamori* и АС 35-45 ед/г, ДС 200-250 ед/г для *Asp. oryzae* [7, 8].

Следовательно, для осахаривания 1 т крахмала будет расходоваться в этом случае АС от 830 до 1010 б. ед., а ДС от 16000 до 18500 б. ед.

Как показывают данные таблицы 1, если активность плесневых грибов находится в пределах, предусмотренных инструкцией, то при установленных нормах расхода на осахаривание 1 т крахмала затрачивается 810-1000 б. ед. АС и 10000-18000 б. ед. ДС.

Таблица 1. Расход осахаривающих средств на 1 т крахмала
Table 1. Consumption of saccharifying agents per 1 ton of starch

Условия осахаривания	Осахаривающее средство	Расход на 1 т осахариваемого крахмала		
		т	АС, б. ед.	ДС, б. ед.
Смесью солодов. Расход солодового зерна 16% или зеленого солода 22,4% к осахариваемому крахмалу	Ячменный солод	0,112	560	3360
	Просяной солод	0,056	140	4480
	Овсяный солод	0,056	224	2240
Смесью поверхностных культур плесневых грибов (1:4). Расход 5% по весу осахариваемого крахмала	<i>Asp. awamori</i>	0,04	560	16000
	<i>Asp. oryzae</i>	0,01	250	2000
Глубинной культурой плесневого гриба, выращенного на барде с добавками. Расход 100% по весу осахариваемого крахмала	<i>Asp. batatae</i> 4	1,0	1000	18000
Глубинной культурой плесневого гриба, выращенного на барде. Расход 165% по весу крахмала	<i>Asp. usamii</i> 45	1,65	320	22400

Из приведенных выше расчетов следует, что при таких расходах культуры обеспечивается весьма близкое количество единиц АС и ДС на весовую единицу осахариваемого крахмала, при нарушении которого обеспечить процесс осахаривания не удастся. Дозировка культуры по ее активности должна ос-

новываться на расходе единиц АС и ДС. Для правильной дозировки необходимо установить, до каких пределов активности культур сохраняется их полноценный ферментативный комплекс, обеспечивающий осахаривание при установленном расходе единиц активности (табл. 2).

Таблица 2. Количество единиц активности на 1 т крахмала
Table 2. The number of activity units per 1 ton of starch

Условия осахаривания	Осахаривающее средство	Активность	
		АС	ДС
Смесью солодов. Расход солодового зерна 16% или зеленого солода 22,4% к осахариваемому крахмалу	Ячменный солод	5	30
	Просяной солод	2,5	80
	Овсяный солод	4	40
Смесью поверхностных культур плесневых грибов (1:4). Расход 5% по весу осахариваемого крахмала	Asp. awamori	14	400
	Asp. oryzae	25	200
Глубинной культурой плесневого гриба, выращенного на барде с добавками. Расход 100% по весу осахариваемого крахмала	Asp. batatae 4	100	1800
Глубинной культурой плесневого гриба, выращенного на барде. Расход 165% по весу крахмала	Asp. usamii 45	20	1460

В этом случае на 1 т крахмала затрачивается 320 б. ед. АС и 22400 б. ед. ДС. Недостаток амилолитической активности не компенсируется увеличением расхода единиц декстринолитической активности [9].

Из приведенных выше расчетов следует, что при таких расходах культуры обеспечивается весьма близкое количество единиц АС и ДС на весовую единицу осахариваемого крахмала, при нарушении которого обеспечить процесс осахаривания не удастся. Очевидно, дозировка культуры по ее активности должна основываться на расходе единиц АС и ДС. Для правильной дозировки необходимо установить, до каких пределов активности культур сохраняется их полноценный ферментативный комплекс, обеспечивающий осахаривание при установленном расходе единиц активности.

Наибольшее влияние на процесс осахаривания оказало качество грибной культуры, применяемой для осахаривания крахмалистого сырья.

Во всех вариантах, где для осахаривания применялась грибная культура, выращенная в лаборатории, показатели зрелых бражек были лучшими, несмотря на добавление мелассы, применении дрожжей и разваренной массы, отобранной из варочной колонны. При использовании культуры, выращенной в производственных условиях, трехсуточное брожение не обеспечивало полного выраживания сахаров и содержание редуцирующих веществ в зрелых бражках колебалось от 1,0 до 1,6 г/100 мл.

Из приведенных данных видно, что резкое отличие грибной культуры по активности АС заметно сказывается на результатах брожения.

Результаты исследований показывают, что глубинная культура плесневых грибов имела явно низкую активность по АС при сравнительно высокой ДС, что отрицательно влияло на показатели сбраживания.

Полностью заменить солод на глубинную культуру плесневых грибов с такой низкой

активностью по АС приводили к ухудшению технологических показателей.

В каждом опыте приведены средние данные за один поток, объем которого составляет 8-9 бродильных чанов (табл. 3).

Таблица 3. Параметры, характеризующие процесс брожения при осахаривании зерновых заторов
Table 3. Parameters characterizing the fermentation process during the saccharification of grain mash

Номер опыта	Активность культуры, ед/100 мл		Расход культуры, % к объему разваренной массы	Показатели зрелой бражки		
	АС	ДС		нарастание кислотности, °	редуцирующие вещества	нерастворенный крахмал
1	27	1579	16,6	0,32	1,25	0,1
2	27	1828	13,8	0,13	1,18	0,13
3	18	1462	14,2	0,20	0,91	0,09
4	20	1475	11,4	0,10	1,56	0,14
5	22	1561	13,8	0,12	1,15	0,1
6	25	1423	14,0	0,34	1,37	0,17
7	28	1517	15,5	0,27	1,08	0,12

Известно, что при осахаривании зеленым солодом содержание нерастворенного крахмала в зрелой бражке колеблется в пределах 0,18-0,22 г/100 мл, а содержание редуцирующих веществ в пределах 0,5-0,7 г/100 мл.

Количество нерастворенного крахмала при осахаривании культурой плесневых грибов было ниже этих пределов. Более высокое содержание крахмала в бражке при осахаривании солодом обуславливается наличием нерастворенного крахмала солода. Содержание несброженных редуцирующих веществ при осахаривании этой неактивной по АС культурой плесневых грибов выше, чем при осахаривании солодом, что приводит к некоторому снижению выхода спирта.

Выводы. Таким образом, для эффективного применения глубинной культуры плесневых грибов необходимо повысить ее ферментативную активность прежде всего по АС не менее, чем в 4-5 раз. При снижении потерь с несброженными сахарами от 0,5 до 0,2 г/100 мл выход спирта увеличивается на 2-2,5%. Дальнейшее совершенствование процесса должно быть направлено на увеличение срока непрерывного притока питательной среды в батарею, который в настоящее время составляет 48 ч. Для этого необходимо обеспечить абсолютную стерильность процесса и условия, интенсифицирующие процесс накопления амилолитических ферментов.

Список источников литературы

1. Khokonova M.B., Kashukoev M.V., Tsagoeva O.K. The impact of the activity of a mould fungus culture on the depth of hydrolysis of raw material carbohydrates in alcohol production // Bioscience biotechnology research communications. 2021. Vol. 14 (3). Pp. 1260–1264.
2. Ашхотов Э.Ю. Экономические и экологические проблемы выбора технологии переработки (утилизации) отходов производства биоэтанола: научное издание. Нальчик: Издательство М. и В. Котляровых, 2009. 172 с.
3. Хоконова М.Б., Цагоева О.К. Качественные показатели продуктов брожения в спиртовом производстве // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2019. № 1 (23). С. 52–55.

4. Качмазов Г.С. Дрожжи бродильных производств: практическое руководство. СПб.: Лань, 2012. 224 с.
5. Мукайлов М.Д., Ханмагомедов С.Г., Алиева О.Ю. Особенности и индикаторы повышения конкурентоспособности региональной аграрной экономики // Региональные проблемы преобразования экономики. 2017. № 3 (77). С. 4–10.
6. Мукайлов М.Д., Хоконова М.Б. Технология и оборудование бродильных производств: учебное пособие. Нальчик: Изд-во М. и В. Котляровых, 2015. 203 с.
7. Сербя Е.М., Абрамова И.М., Римарева Л.В., Оверченко М.Б., Игнатова Н.И., Грунин Е.А. Влияние ферментных препаратов на технологические показатели зернового сула и качество пива // Пиво и напитки. 2018. № 1. С. 50–54.
8. Хоконова М.Б., Цагоева О.К. Качественные показатели зерновых заторов, осахаренных ферментами глубинной культуры солода // Актуальная биотехнология. 2019. № 3 (30). С. 244–248.
9. Ашхотов Э.Ю. Экономические и экологические проблемы выбора технологии переработки (утилизации) отходов производства биоэтанола: научное издание. Нальчик: Издательство М. и В. Котляровых, 2009. 172 с.

References

1. Khokonova M.B., Kashukoev M.V., Tsagoeva O.K. The impact of the activity of a mold fungus culture on the depth of hydrolysis of raw material carbohydrates in alcohol production. *Bioscience biotechnology research communications*. 2021;14(3):1260–1264.
 2. Ashkhotov E.Yu. Economic and environmental problems of choosing a technology for processing (utilization) of bioethanol production waste: nauchnoe izdanie. Nal'chik: Izdatel'stvo M. i V. Kotlyarovyh. 2009. 172 p. (In Russ.)
 3. Khokonova M.B., Tsagoeva O.K. Qualitative indicators of fermentation products in alcohol production. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V.M. Kokova* [Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov]. 2019;1(23):52–55. (In Russ.)
 4. Kachmazov G.S. *Drozhdzhi brodil'nyh proizvodstv: prakticheskoe rukovodstvo* [Yeast fermentation industries: a practical guide]. St. Petersburg: Lan', 2012. 224 p. (In Russ.)
 5. Mukailov M.D., Khanmagomedov S.G., Alieva O.Yu. Features and indicators of increasing the competitiveness of the regional agrarian economy. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki* [Regional problems of economic transformation]. 2017;3 (77):4–10. (In Russ.)
 6. Mukailov M.D., Khokonova M.B. *Tekhnologiya i oborudovanie brodil'nyh proizvodstv* [Technology and equipment of fermentation industries]: uchebnoe posobie. Nal'chik: Izdatel'stvo M. i V. Kotlyarovyh. 2015. 203 p. (in Russ.)
 7. Serba E.M., Abramova I.M., Rimareva L.V. et al. Influence of enzyme preparations on the technological parameters of grain wort and the quality of beer. *Pivo i napitki* [Beer and drinks]. 2018;1:50–54. (In Russ.)
 8. Khokonova M.B., Tsagoeva O.K. Qualitative indicators of grain mash, saccharified by enzymes of the deep culture of malt. *Aktual'naja biotekhnologija* [Actual biotechnology]. 2019;3(30): 44–248. (In Russ.)
 9. Ashkhotov, E.Yu. Economic and environmental problems of choosing a technology for processing (utilization) of bioethanol production waste. Nal'chik: Izdatel'stvo M. i V. Kotlyarovyh. 2009. 172 p. (In Russ.)
-

Сведения об авторе

Хоконова Мадина Борисовна – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова», SPIN-код: 4098-3325, Author ID: 467141, Scopus Author ID: 57203266828

Information about the author

Madina B. Khokonova – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the department of technology production and processing of agricultural product, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. KokoV», SPIN-код: 4098-3325, Author ID: 467141, Scopus Author ID: 57203266828

Статья поступила в редакцию 07.02.2022; одобрена после рецензирования 25.02.2022; принята к публикации 01.03.2022.

The article was submitted 07.02.2022; approved after reviewing 25.02.2022; accepted for publication 01.03.2022.