

УДК 663.44

И.Ю. Сергеева, А.В. Шафрай, Д.Г. Захаренко**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСВЕТЛЕНИЯ НАПИТКОВ БРОЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ**

Приведена оценка влияния синтетического флокулянта анионного действия на количественное содержание веществ, входящих в состав помутнений напитков. Проведена математическая обработка результатов исследований, полученных при проведении эксперимента в процессе дображивания пива. Получена математическая модель, позволяющая рассчитать требуемое количество флокулянта для получения желаемого количества высокомолекулярной фракции белков, полифенольных веществ, дрожжевых клеток. Представлены результаты апробации полученной модели при проведении процесса дображивания пива.

Напитки брожения, моделирование процесса осветления, вспомогательные средства, флокулянты.

Введение

Пиво – это один из популярных на потребительском рынке напитков брожения [1]. С точки зрения формирования качественных показателей готового напитка важной технологической стадией производства является дображивание. В течение дображивания происходят различные биохимические, физико-химические процессы, в том числе и самоосветление пива. Понятие «самоосветление» не подразумевает в буквальном смысле изменение цвета напитка в значительной степени, хотя данный показатель пива несколько понижается в ходе процесса дображивания. В данном случае речь идет о формировании прозрачности напитка за счет оседания взвесей. Молодое пиво перед дображиванием представляет собой полидисперсную гетерогенную систему с различной степенью дисперсности содержащихся в ней частиц. Процесс осветления пива при дображивании основан на гравитационном разделении жидкой и твердой фаз. При оседании дрожжевые клетки адсорбируют на своей поверхности мелкие частицы скоагулированных веществ (например, белковых веществ, белково-полифенольных комплексов и др.) с последующим выпадением в осадок. Крупные частицы оседают быстро, мелкие – значительно медленнее. С целью ускорения процесса осветления напитков в пищевой промышленности применяют различные вспомогательные материалы, в том числе и флокулянты [2].

Как известно из литературы [3], флокулянты представляют собой соединения высокой молекулярной массы и чаще всего растворимы в воде. Флокулянты в дисперсных системах реагируют с частицами дисперсной фазы путем адсорбции или химического взаимодействия, впоследствии объединяют частицы во флокулы или агломераты, тем самым способствуя их быстрому выпадению в осадок. Для осветления воды, соков, ликеро-водочных изделий широко применяется синтетический флокулянт – полиакриламид (ПАА) [2, 3]. Полиакриламид имеет высокую флокулирующую способность при одновременной сравнительно низкой стоимости. Исследования возможности использования ПАА для интенсификации процесса осветления различных на-

питков являются актуальным и перспективным направлением.

Целью данной работы являлось моделирование процесса осветления напитков брожения на примере пива с помощью полиакриламида для обеспечения стабилизации состава пива по основным веществам, входящим в состав помутнений.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать влияние полиакриламида на процесс дображивания молодого пива с позиции удаления основных мутеобразующих веществ напитка;
- построить математическую модель, описывающую зависимость количества высокомолекулярных полифенольных и белковых веществ, а также дрожжевых клеток с течением времени от количества добавленного в растворы флокулянта;
- проанализировать влияние флокулянта на показатели, характеризующие потребительские характеристики готового напитка, а также стойкость изделия при хранении.

Объект и методы исследования

В исследованиях применялся полиакриламидный флокулянт анионного действия серии Магнафлок-6250, который относится к разряду сверхвысокомолекулярных соединений, флокулирующая способность которых резко возрастает при одновременном снижении удельного расхода.

Исследования проводили на молодом пиве, полученном в производственных условиях в ОАО «Новокемеровский пивобезалкогольный завод».

Математическая обработка экспериментальных данных проводилась с помощью программы Statistica 8.0 модуля «Промышленная статистика» [5].

Анализ физико-химического состава пива осуществляли по принятым в пивоваренной промышленности методикам [6]. Исследования проводились не менее чем в 3-кратной повторности, отклонения в результатах составляли 0,05...0,3.

Результаты и их обсуждение

Эксперимент проводился с использованием первоначальных исследований применения флокулянта на модельных растворах, результаты которых пока-

зали, что эффективными с позиции удаления основных мутеобразующих веществ пива являются концентрации флокулянта 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 мг/дм³. Полиакриламид вносили в указанных дозировках в образцы пива после главного брожения, ставили на дображивание согласно классической технологии «Жигулевского» на 21 сут. В процессе дображивания через каждые 3 сут проводили количественное определение высокомолекулярных белков, полифенольных веществ, дрожжевых клеток. По результатам физико-химического анализа была составлена матрица экспериментальных измерений, данные которой были подвергнуты математической обработке с помощью программы Statistica 8.0 модуля «Промышленная статистика».

Предметом следующего этапа исследований являлось определение зависимости количества высокомолекулярных полифенольных, белковых веществ, дрожжевых клеток с течением времени от количества добавленного в растворы флокулянта. Требовалось установить силу зависимости, а также смоделировать уравнения для нахождения количества флокулянта, добавляемого в напиток, необходимого для получения желаемой концентрации высокомолекулярных полифенольных и белковых веществ, дрожжевых клеток с учетом времени. Следует отметить, что в условиях естественного эксперимента именно концентрация флокулянта будет являться независимой переменной и будет влиять на зависимое от нее количество полифенольных и белковых компонентов и дрожжевых клеток. Поэтому в настоящей работе исследовали также и обратную взаимосвязь, т.е. возможность смоделировать требуемое количество флокулянта для получения необходимого количества искомым компонентов на определенный момент времени.

За зависимый фактор была взята концентрация ПААФ (мг/дм³, Cons). За независимые факторы были взяты содержание полифенолов (мг/дм³, Pf), содержание белка фракции А (мг/100 см³, Proteins), концентрация дрожжевых клеток (млн кл., Yeast) и время дображивания в днях. В результате математической обработки экспериментальных данных получены коэффициенты регрессии модели, а также некоторые ее оценки. Коэффициент детерминации (R^2) данной модели составил 0,782. Это означает, что доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью зависимости, равна 78,2 %.

Следует отметить, что наиболее сильными и хорошо оцененными зависимостями являются зависимости между концентрацией флокулянта и высокомолекулярных белков, дрожжей (в том числе и квадратическая), белковых веществ/дрожжей и белковых веществ/времени.

Полученная по ходу исследования модель имеет вид:

$$y = b_0 + b_1 \times x_1 + \dots + b_4 \times x_4 + b_{12} \times x_1 \times x_2 + b_{13} \times x_1 \times x_3 + \dots + b_{34} \times x_3 \times x_4 + b_{11} \times x_1^2 + \dots + b_{44} \times x_4^2. \quad (1)$$

Подставляя в формулу (1) коэффициенты модели, получаем итоговую модель, позволяющую прогнозировать значения зависимой переменной.

$$\begin{aligned} Cons = & -48,1213 + 0,6644 \times Pf - 6,4917 \times \\ & \times Protein + 71,8888 \times Yeast + \\ & + 2,6573 \times Time - 0,0759 \times Pf \times Protein + \\ & + 0,0021 \times Pf \times Yeast + 0,0007 \times Pf \times Time - \\ & - 8,0604 \times Protein \times Yeast - \\ & - 0,2712 \times Protein \times Time + 0,3567 \times \\ & \times Yeast \times Time + 0,0008 \times \\ & \times Pf^2 + 1,1126 \times Protein^2 + 9,9308 \times \\ & \times Yeast^2 + 0,0032 \times Time^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Используя данную модель, подвергли сравнению наблюдаемые значения зависимой переменной с предсказанными. Результаты исследований показали, что остатки, полученные в ходе сравнения, достаточно малы, а значит, модель можно использовать для предсказания значений зависимой переменной. Наибольшую точность предсказанные значения имеют на заключительной стадии процесса дображивания, где остатки (наблюдаемые значения минус предсказанные) минимальны.

Поскольку полученная модель является нелинейной по переменным, то рассматриваемая в ней регрессия является полиномиальной, а значит, линейной по своей природе. Из этого следует, что для нее должно действовать предположение о нормальности распределения остатков. Исходя из него, остатки полученной модели должны быть распределены по нормальному закону. Проверить это предположение можно по вероятностному графику распределения остатков (рис. 1). График является общим средством оценки того, насколько хорошо наблюдаемые значения согласуются с теоретическим распределением. В нашем случае можно утверждать, что полученная модель согласуется с предположением о нормальности распределения остатков.

В ходе исследований были построены различные контурные поверхности для всестороннего рассмотрения, которые позволяют определить, какое количество ПААФ требуется, для получения желаемого количества белковых и полифенольных веществ, а также определить область допустимых значений в модели для белков и полифенолов.

В качестве примера на рис. 2 приведена контурная поверхность модели, согласно которой можно оценить влияние различных концентраций флокулянта на количественное содержание высокомолекулярных белковых и полифенольных веществ на 21-й день при концентрации дрожжевых клеток 0,61 млн клеток. Количество дрожжевых клеток на рисунке взято за константу, полученную как среднее значение на 21-й день дображивания. На рис. 2 количество флокулянта выделяется различными цветами, а белые точки отражают экспериментальные данные. По рис. 2 можно наглядно представить, какое количество флокулянта требуется для получения желаемого количества высокомолекулярной фракции белков и полифенольных веществ, а также определить область допустимых значений в модели для указанных компонентов.

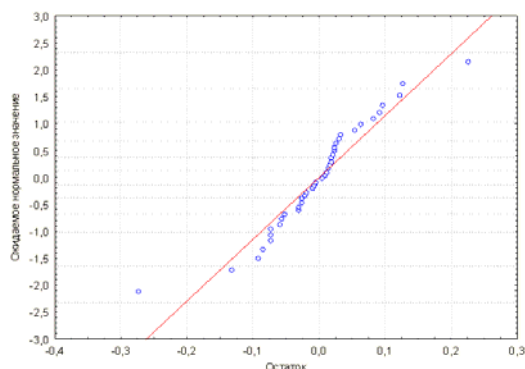


Рис. 1. Нормальный вероятностный график

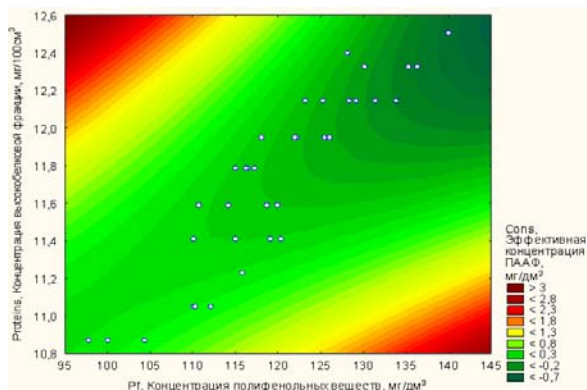


Рис. 2. Контурная поверхность

На следующем этапе исследований изучали влияние флокулянта на процесс формирования качественных показателей готового напитка в целом. Для этого в лабораторных условиях в молодое пиво вносили флокулянт в дозировках от 0,2 до 0,5 мг/дм³. Образец пива без добавления ПААФ служил контрольным.

По окончании дображивания был произведен физико-химический анализ готового пива. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Данные табл. 1 свидетельствуют, что существенного различия в физико-химических показателях, таких как объемная доля спирта, массовая доля действительного экстракта, кислотность опытных и контрольных образцов, пива не наблюдалось. Отмечено незначительное снижение цветности пива. Однако в опытном пиве улучшились показатели, характеризующие стойкость пива.

Благоприятное содержание высокомолекулярных белковых и полифенольных веществ с позиции формирования стойкого напитка наблюдалось при внесении флокулянта в количестве 0,4 мг/дм³. При этом содержание указанных компонентов помутнений пива было на 9,2 и 21,7 % соответственно ниже контрольной линии. Данную дозировку можно рассматривать в качестве оптимальной. Проведенный дегустационный анализ показал, что органолептические показатели опытных образцов не отличались от контрольных.

Таблица 1

Физико-химические показатели пива, полученного с использованием флокулянта

Показатель	Концентрация флокулянта, мг/дм ³				
	0	0,2	0,3	0,4	0,5
Объемная доля спирта, %	4,33	4,31	4,32	4,33	4,31
Массовая доля действительного экстракта, %	5,40	5,54	5,54	5,40	5,54
Кислотность, к. ед.	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Цветность, ц. ед.	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7
Таниновый показатель, ед. опт. плот.	0,285	0,265	0,275	0,255	0,255
Содержание фракции А белка, мг/100 см ³	11,98	11,00	11,59	10,87	10,87
Содержание полифенолов, мг/дм ³	128,0	110,2	114,2	100,2	97,8

С помощью полученной математической модели, а также на основании приведенных в табл. 1 физико-химических показателей пива была определена эффективная с точки зрения формирования качественных показателей готового напитка концентрация полиакриламидного флокулянта – 0,4 мг/дм³.

На следующем этапе эксперимента были проведены производственные испытания по исследованию влияния флокулянта на процесс дображивания пива. Для этого в образцы молодого пива, приготовленного по технологии пива «Жигулевское», в начале процесса дображивания был внесен флокулянт (опыт). Контролем служили образцы пива без внесения флокулянта. Процесс дображивания протекал в условиях

ОАО «Новокемеровский пивобезалкогольный завод». Готовое пиво было проанализировано по основным физико-химическим показателям. В качестве дополнительных показателей, формирующих одно из главных свойств готовых напитков – стойкость при хранении, был определен предел осаждения с сульфатом аммония и мутность в единицах EBS.

Результаты физико-химического анализа свидетельствуют о том, что показатели опытного пива, регламентируемые ГОСТом, находились на контрольном уровне. Однако показатели, косвенно характеризующие прогнозируемую коллоидную стойкость готового пива, опытных образцов выгодно отличались от контрольных (рис. 3).

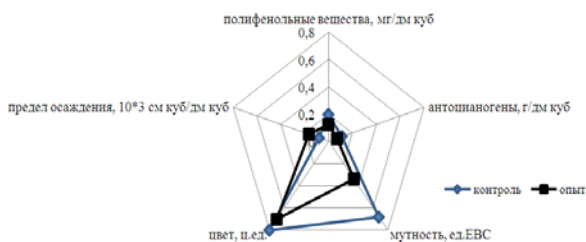


Рис. 3. Показатели готового пива, полученного при обработке молодого пива ПААФ, внесенного в начале дображивания

Из литературы [6, 7] известно, что чем выше предел осаждения напитка с сульфатом аммония, тем равновесная система напитка более устойчива к коллоидным помутнениям. В нашем случае, если рассматривать в совокупности два показателя – предел осаждения и мутность, – можно утверждать, что опытное пиво, полученное с использованием флокулянта на стадии дображивания, будет иметь более высокий уровень прогнозируемой стойкости против коллоидных помутнений, чем пиво, приготовленное

по технологии без внесения вспомогательных стабилизирующих средств.

Следствием выполненной экспериментальной работы явилось построение математической модели, описывающей зависимость количества высокомолекулярных полифенольных и белковых веществ, а также дрожжевых клеток с течением времени от количества добавленного в молодое пиво флокулянта. Разработанная модель может считаться адекватной, может быть использована для дальнейшего тестирования. Проведенные исследования показали также, что внесение флокулянта способствует эффективно выведению потенциальных мутеобразующих веществ напитка, ускорению осаждения дрожжевых клеток при дображивании пива. С точки зрения формирования качественных показателей пива флокулянт не оказывает отрицательного влияния на готовый напиток. Ввиду приведенных выше рассуждений можно рекомендовать применение флокулянта на стадии дображивания с целью формирования качественного состава пива и повышения его стабильности при хранении.

Список литературы

1. Индустрия напитков. – 2011. – № 5. – URL: <http://www.beverage-industry.ru>.
2. Сарафанова, Л.А. Применение пищевых добавок в индустрии напитков / Л.А. Сарафанова. – СПб.: Профессия, 2007. – 240 с.
3. Куренков, В.Ф. Полиакриламид / В.Ф. Куренков. – М.: Химия, 1992. – 192 с.
4. Килкаст, Д. Стабильность и срок годности. Безалкогольные напитки, соки, пиво и вино / Д. Килкаст, П. Субраманиам (ред.-сост.); пер. с англ., под науч. ред. канд. техн. наук, доц. Ю.Г. Базарновой. – СПб.: ИД «Профессия», 2013. – 384 с.
5. Электронный учебник по статистике. – URL: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm>.
6. Меледина, Т.В. Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении / Т.В. Меледина. – СПб.: Профессия, 2003. – 304 с.
7. Нарцисс, Л. Краткий курс пивоварения / Л. Нарцисс; при участии В. Бака; пер. с нем. А.А. Куреленкова. – СПб.: Профессия, 2007. – 640 с.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности»,
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.
Тел/факс: (3842) 73-40-40,
e-mail: office@kemtipp.ru

SUMMARY

I.Yu. Sergeyeva, A.V. Shafray, D.G. Zacharenko

MODELING OF CLARIFICATION PROCESS OF FERMENTATION DRINKS WITH SUBSIDIARY SUBSTANCES

The assessment of synthetic flocculant influence of anionic action on the quantitative content of the substances which are a part of drinks turbidity is given. Mathematical processing of research results received at carrying out experiment in a final beer fermentation process is carried out. The mathematical model allowing to calculate required flocculant quantity for receiving desirable amount of high-molecular fraction of proteins, polyphenolic substances and yeast cells is received. The results of the received model aprobation within carrying out a final beer fermentation process are presented.

Fermentation drinks, modeling of clarification process, subsidiary substances, flocculants.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia.
Phone/fax: +7 (3842) 73-40-40,
e-mail: office@kemtipp.ru

Дата поступления: 14.05.2013

