

ПИЩЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 663.478:519.876.2:005.591.1

АДДИТИВНАЯ МОДЕЛЬ МУЛЬТИПЛИКАТИВНОГО ТИПА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СУСЛА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ КАЧЕСТВА ПОЛИСОЛОДОВЫХ ЭКСТРАКТОВ

*М. Л. Микулинич, А. В. Иванов, С. Л. Масанский, П. В. Микулинич,
А. Н. Моргунов*

Исследованы физико-химические показатели и химический состав полисолодового сусла в зависимости от фракционного состава помола соложенного голозерного сырья. Разработана номенклатура показателей качества и определены критерии их оценки для получения полисолодовых экстрактов высокого качества. Определены коэффициенты весомости для межгрупповых и внутригрупповых показателей качества. Проведена оценка относительных показателей качества с учетом коэффициентов весомости для всех изучаемых комбинаций. В результате смоделирована аддитивная модель мультипликативного типа, позволяющая оптимизировать фракционный состав помола соложенного голозерного сырья при получении полисолодового сусла и обеспечивающая качество экстракта с высокими потребительскими и технологическими свойствами.

Введение

Повышение количественного содержания голозерного соложенного сырья (до 75 %) в смеси при получении полисолодового экстракта на стадии затирания зернопродуктов способствует увеличению выхода продукта и повышению его пищевой и биологической ценности. Однако такое высокое содержание голозерного сырья, а также неоптимальный его фракционный состав вызывает увеличение продолжительности фильтрования и снижает качество экстракта.

Анализ литературных источников [1–5] показал, что в ситуации, когда повышение эффективности процесса по одному критерию вызывает ухудшение результата процесса по другому критерию, используются подходы, которые базируются на компьютерном моделировании с привлечением интегральных критериев или обобщенного критерия оптимальности. Метод математического моделирования описывается с помощью квалиметрической модели, которая позволяет свести в одну форму относительные и единичные показатели качества. Однако применение квалиметрической модели требует определенного подхода, и для каждого технологического процесса необходимо уточнение критериев в зависимости от поставленной цели.

Цель данной работы – разработать аддитивную модель мультипликативного типа для оптимизации фракционного состава помола соложенного голозерного сырья при получении полисолодового сусла из трехкомпонентной композиции на основе ячменя и овса голозерного с добавлением ржи.

Результаты исследований и их обсуждение

Объект исследования – технологические параметры получения полисолодового сусла из трехкомпонентной композиции на основе ячменя и овса голозерного с добавлением ржаного солода.

Предмет исследования – оптимизация фракционного состава помола соложеного голозерного сырья при получении полисолодового суслу.

Подготовку и проведение испытаний осуществляли стандартными и специальными физико-химическими и химическими методами [6–7]. Содержание редуцирующих сахаров определяли по методу Бертрана, аминного азота – медным методом, белка – по методу Кьельдаля, витаминов В₁ и В₂ – флуорометрическим методом, β-каротина – фотоколориметрическим методом, цинка, меди и железа – атомно-эмиссионным методом, сумму полифенольных соединений – методом Левенталья [7–9].

Выбор оптимального фракционного состава помола при получении полисолодовых экстрактов с высокими потребительскими и технологическими свойствами осуществляли путем компьютерного проектирования в табличном процессоре Excel аддитивной модели мультипликативного типа с помощью комплексного показателя. Методика расчета показателя построена на принципах квалиметрии, управления качеством продукции [10], товарной экспертизы [11] и применительно к разработке научных подходов создания полисолодовых экстрактов разработана впервые.

Алгоритм методики представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Алгоритм методики по расчету комплексного показателя полисолодового экстракта при определении оптимального фракционного состава помола соложеного голозерного сырья в композиции

Показатель качества	Действительное значение	Базовое значение	Относительный показатель качества, К	Коэффициент весомости, М	Внутригрупповой относительный показатель качества с учетом коэф. весомости, К _г	Межгрупповой относительный показатель качества, К _{гм}	Межгрупповой относительный показатель качества с учетом коэф. весомости, К _{ин}
Технологические показатели				М₁₁		К_{гм1}	К₁₁
сухие вещества	P _{1.1}	P _{1.1баз}	K _{1.1}	M _{1.1}	K _{1.1}		
продолжительность осахаривания	P _{1.2}	P _{1.2баз}	K _{1.2}	M _{1.2}	K _{1.2}		
скорость фильтрации	P _{1.3}	P _{1.3баз}	K _{1.3}	M _{1.3}	K _{1.3}		
кислотность	P _{1.4}	P _{1.4баз}	K _{1.4}	M _{1.4}	K _{1.4}		
цвет	P _{1.5}	P _{1.5баз}	K _{1.5}	M _{1.5}	K _{1.5}		
вязкость	P _{1.6}	P _{1.6баз}	K _{1.6}	M _{1.6}	K _{1.6}		
фракция А	P _{1.7}	P _{1.7баз}	K _{1.7}	M _{1.7}	K _{1.7}		
полифенольные вещества	P _{1.8}	P _{1.8баз}	K _{1.8}	M _{1.8}	K _{1.8}		
Показатели пищевой ценности				М₁₂		К_{гм2}	К₁₁
мальтоза	P _{2.1}	P _{2.1баз}	K _{2.1}	M _{2.1}	K _{2.1}		
аминный азот	P _{2.2}	P _{2.2баз}	K _{2.2}	M _{2.2}	K _{2.2}		
белок	P _{2.3}	P _{2.3баз}	K _{2.3}	M _{2.3}	K _{2.3}		
клетчатка	P _{2.4}	P _{2.4баз}	K _{2.4}	M _{2.4}	K _{2.4}		
Витаминный комплекс				М₁₃		К_{гм3}	К₁₁
витамин В ₁	P _{3.1}	P _{3.1баз}	K _{3.1}	M _{3.1}	K _{3.1}		
витамин В ₂	P _{3.2}	P _{3.2баз}	K _{3.2}	M _{3.2}	K _{3.2}		
β-каротин	P _{3.3}	P _{3.3баз}	K _{3.3}	M _{3.3}	K _{3.3}		
Минеральный комплекс				М₁₄		К_{гм4}	К₁₁
цинк	P _{4.1}	P _{4.1баз}	K _{4.1}	M _{4.1}	K _{4.1}		
медь	P _{4.2}	P _{4.2баз}	K _{4.2}	M _{4.2}	K _{4.2}		
железо	P _{4.3}	P _{4.3баз}	K _{4.3}	M _{4.3}	K _{4.3}		
Комплексный показатель качества (К_с)							$\sum_{i=1}^n K_i$

Вычисления сводятся к квалитетической аддитивной модели мультипликативного типа комплексной оценки по формуле (1):

$$K_o = \sum_{i=1}^n M_i \sum_{j=1}^m K_j M_j \quad (1)$$

где K_o – комплексный показатель качества;

M_i – коэффициент весомости для межгруппового i -го показателя качества (технологические показатели, показатели пищевой ценности и др.);

M_j – коэффициент весомости для внутригруппового j -го показателя качества (скорость фильтрации, кислотность, белок, лизин, β -каротин, цинк и др.);

K_j – внутригрупповой относительный показатель качества;

n – число показателей качества продукции для межгрупповых показателей;

m – число показателей качества продукции для внутригрупповых показателей.

Опыт проводили на полисолодовом сусле, состоящем из трех ингредиентов, содержащем 25 % ячменного, 25 % ржаного и 50 % овсяного солодов, с разным фракционным составом помола соложенного голозерного сырья. Данные (таблица 2) по фракционному составу помола варьировались по содержанию в смеси крупной крупки и муки, при постоянном фракционном составе помола средней и мелкой крупки. Далее, основываясь на результатах первого блока эксперимента, варьировали среднюю и мелкую крупку.

Таблица 2 – Фракционный состав помола голозерного соложенного сырья

Степень фракционного помола	Режим помола / Содержание фракции в смеси, %						
	1-й этап опыта				2-й этап опыта		
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Крупная крупка (сход сита 2,2)	5	10	15	20	5–20		
Средняя крупка (сход сита 1,0)	27,5		55		15	25	35
Мелкая крупка (сход сита 0,56)	27,5				40	30	20
Мука (проход сита 0,56)	40	35	30	25	25–40		

Смесь затирали при гидромодуле 1:5 настойным способом с последующей фильтрацией. Качественные показатели полученного полисолодового сусли оценивали по 18 показателям, результаты которых представлены в таблице 3.

Из таблицы 3 видно, что при увеличении доли крупной, средней крупки (режимы I–IV) и уменьшении доли мелкой крупки, муки (режимы V–VII) в смеси продолжительность осахаривания, кислотность, вязкость, содержание сухих веществ, фракции высокомолекулярных азотистых веществ (фракция А), полифенольных веществ, белка, мальтозы, аминного азота, клетчатки, витаминов (B_1 и B_2 , β -каротин) и минеральных веществ (цинк, медь, железо) уменьшалось, при этом скорость фильтрации увеличивалась на 7 % – 29 %. Данные изменения значений показателей объясняются уменьшением доли муки или мелкой крупки в смеси. Увеличение скорости фильтрации можно объяснить тем, что расстояние между частицами увеличилось, соответственно, уменьшилось сопротивление потоку.

Первым этапом в комплексной оценке качества образцов экстрактов нужно было осуществить выбор показателей качества и определить критерии их оценки для получения полисолодовых экстрактов высокого качества. В качестве межгрупповых показателей качества назначены:

– технологические показатели – группа показателей, которые влияют на качество в процессе производства;

– показатели пищевой ценности – группа показателей, которые влияют на качество готового экстракта и служат для характеристики потребительских свойств экстрактов;

– витаминного и минерального комплекса – группа показателей, которые влияют на каче-

ство готового экстракта и служат характеристикой потребительских свойств, в частности удовлетворение суточной потребности в витаминах и минеральных веществах.

В свою очередь, в качестве внутригрупповых технологических показателей качества были определены следующие единичные показатели: содержание сухих веществ, фракции А, полифенольных веществ, продолжительность осахаривания, скорость фильтрации, кислотность, цвет, вязкость.

Таблица 3 – Результаты эксперимента показателей качества полисолодового суслу

Показатель качества (P _i)	Значения/Режим помола						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
сухие вещества, %	13,0±0,1	12,8±0,1	12,5±0,1	12,4±0,1	12,6±0,1	12,4±0,1	12,2±0,1
продолжительность осахаривания, мин	15±2	15±2	15±2	10±2	10±2	10±2	10±3
скорость фильтрации, см ³ /ч	112±10	115±12	118±11	120±12	135±10	138±12	145±11
кислотность, к. ед.	2,7±0,1	2,7±0,1	2,6±0,1	2,6±0,1	2,9±0,1	2,8±0,1	2,6±0,1
цвет, цв. ед.	1,19±0,07	1,19±0,05	1,19±0,05	1,18±0,05	1,19±0,05	1,19±0,05	1,16±0,05
вязкость, МПа·с	1,37±0,01	1,29±0,01	1,22±0,01	1,17±0,02	1,23±0,02	1,20±0,02	1,17±0,02
фракция А, мг/100 см ³	14,8±0,4	13,7±0,3	12,6±0,2	11,5±0,2	11,2±0,3	10,8±0,2	10,2±0,2
полифенольные вещества, мг/100 см ³	9,2±0,2	6,8±0,2	6,5±0,1	6,0±0,1	6,4±0,2	6,1±0,2	5,8±0,1
мальтоза, мг/100 см ³	8,2±0,2	8,0±0,2	7,8±0,2	7,6±0,1	7,8±0,2	7,6±0,1	7,4±0,1
аминный азот, мг/100 см ³	35,0±1,3	30,7±1,1	27,4±1,1	28,0±1,1	28,3±1,1	28,0±1,1	27,6±1,1
белок, %	1,36±0,03	1,35±0,03	1,34±0,03	1,33±0,03	1,38±0,04	1,35±0,03	1,30±0,03
клетчатка, мг%	0,64±0,01	0,63±0,01	0,60±0,01	0,52±0,01	0,58±0,01	0,54±0,01	0,50±0,01
витамин В ₁ , мг/см ³	14,6±1,2	13,3±0,9	13,0±1,0	11,8±1,3	12,0±2,0	11,5±0,6	11,2±0,9
витамин В ₂ , мг/см ³	5,0±0,4	4,7±0,3	4,6±0,4	4,2±0,3	4,8±0,4	4,3±0,3	4,0±0,3
β-каротин, мг/см ³	0,29±0,02	0,26±0,02	0,18±0,01	0,16±0,01	0,22±0,01	0,16±0,01	0,12±0,01
цинк, мг/см ³	12,7±1,0	12,1±1,0	11,5±0,9	10,3±0,8	11,7±0,9	11,1±0,9	10,0±0,8
медь, мг/см ³	16,5±1,0	14,2±1,1	13,9±1,1	12,0±1,0	13,8±1,1	12,9±0,9	11,7±0,9
железо, мг/см ³	37,7±2,8	26,5±2,1	15,8±1,2	8,7±0,7	11,5±0,9	9,8±0,8	8,2±0,7

Содержание сухих веществ – показатель, характеризующий качество приготовленного суслу и правильность ведения технологического процесса. Для эффективного течения ферментативных реакций содержание сухих веществ в полисолодовом сусле не должно превышать 16 %, однако чем выше данный показатель, тем более максимально прошел перевод крахмала, белков, полифенольных веществ, витаминов, минеральных веществ в раствор, что в свою очередь увеличивает качество готового экстракта.

Максимальное содержание сухих веществ отмечено для режима I при 1-ом этапе опыта и составило 13,0 %; при 2-ом этапе опыта – для режима V – 12,6 %.

Продолжительность осахаривания – показатель, характеризующий качество приготовленного суслу и правильность соблюдения температурных пауз при затирании. Быстрая продолжительность осахаривания (не более 30 мин) характеризует высокую степень гидролиза растворимых и нерастворимых компонентов зернопродуктов, составляющих экстракт полисолодового суслу.

Высокая степень осахаривания затираемой массы отмечена при режимах IV–VII и составила 10 минут.

Скорость фильтрации – показатель, характеризующий процесс фильтрации. Скорость фильтрования затора и полнота отделения суслу зависит от степени измельчения зернопродуктов, а также от концентрации затора и полноты осахаривания.

Быстрая скорость фильтрации затираемой массы отмечена для режима IV при 1-ом этапе опыта и составила 120 см³/ч, при 2-ом этапе опыта – для режима VII – 145 см³/ч.

Кислотность и цвет – показатели, характеризующие качество приготовленного суслу. Наименьшая кислотность отмечается при режимах III–IV, VII и составила 2,6 к. ед. Наибольшей интенсивностью цвета обладали образцы суслу при режимах

I-III, V-VI, значение которых составило 1,19 цв. ед.

Вязкость – показатель, характеризующий качество приготовленного сусла, в частности содержание слизиобразных коллоидных веществ в полисолодовом сусле. Увеличение вязкости полисолодового сусла способствует увеличению производственных затрат при дальнейшем его производстве.

Наименьшее значение вязкости отмечается при режимах IV и VII и составило 1,17 мПа·с.

Содержание полифенольных веществ и фракции А – показатели, влияющие на накопление мутеобразующих веществ в сусле, провоцирующих его коллоидное помутнение.

Наименьшее содержание фракции А и полифенольных веществ отмечается для режима IV при 1-ом этапе опыта и составило 11,5 мг/100 см³ сусла и 6,0 мг/100 см³ сусла соответственно; при 2-ом этапе опыта – для режима VII – 10,2 мг/100 см³ сусла и 5,8 мг/100 см³ сусла соответственно.

В качестве внутригрупповых показателей пищевой ценности были назначены следующие единичные показатели: *содержание мальтозы, белка, аминного азота, клетчатки*.

Максимальное содержание мальтозы и белка отмечается для режима I при 1-ом этапе опыта и составило 8,2 % и 1,36 % соответственно; при 2-ом этапе опыта – для режима V – 7,8 % и 1,38 % соответственно.

Максимальное содержание аминного азота и клетчатки отмечается для режима I при 1-ом этапе опыта и составило 35,0 мг/100 см³ сусла и 0,64 мг% соответственно; при 2-ом этапе опыта – для режима V – 28,3 мг/100 см³ сусла и 0,58 мг% соответственно.

В качестве внутригрупповых показателей, характеризующих витаминный комплекс, были назначены следующие единичные показатели: *содержание витаминов В₁, В₂, β-каротина*.

Выбор витаминов обусловлен термолабильностью витамина В₁ и термостабильностью витаминов В₂, β-каротина, содержание которых будет косвенно свидетельствовать о содержании других витаминов этой же группы.

Максимальное содержание витаминов В₁, В₂, β-каротина отмечено для режима I при 1-ом этапе опыта и составило 14,6 мг/см³, 5,0 мг/см³, 0,29 мг/см³ соответственно; при 2-ом этапе опыта – для режима V – 12,0 мг/см³, 4,8 мг/см³, 0,22 мг/см³.

В качестве внутригрупповых показателей качества, характеризующих минеральный комплекс, были назначены следующие единичные показатели: *содержание цинка, меди, железа*.

Выбор минеральных веществ обусловлен их дефицитом [12] в организме человека, а также данные микроэлементы согласно [13] находятся в полисолодовом экстракте в наименьшем количестве.

Максимальное содержание минеральных веществ (цинк, медь, железо) отмечено для режима I при 1-ом этапе опыта и составило 12,7 мг/см³, 16,5 мг/см³, 37,7 мг/см³ соответственно; при 2-ом этапе опыта – для режима V – 11,7 мг/см³, 13,8 мг/см³, 11,5 мг/см³.

Вторым этапом в получении комплексного показателя качества было определение относительных показателей качества, принимающих значение от 0 до 1. Определение проводили по формулам (2) и (3):

$$K = P_j / P_{\text{баз}} \quad (2)$$

по формуле (2) – если при увеличении показателя качество экстракта улучшается

$$K = P_{\text{баз}} / P_j \quad (3)$$

по формуле (3) – если при увеличении показателя качество экстракта ухудшается

где P_j – значение j -го показателя (цвет, кислотность и т.д.) качества экстракта;

$P_{\text{баз}}$ – базовое значение j -го показателя качества экстракта.

Базовое значение ($P_{\text{баз}}$) принимали равным максимальному значению показателя качества (скорость фильтрации, цвет, содержание сухих веществ, мальтозы, белка, клетчатки, витаминов и микроэлементов), если при увеличении показателя качество экстракта улучшается; если при увеличении показателя качество экстракта ухудшается – равным минимальному значению показателя (продолжительность осахаривания, вязкость, содержание фракции А и полифенольных веществ).

Результаты расчетов относительных показателей качества представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов относительных показателей качества полисолодового сула

Показатель качества	Относительные показатели качества единичных показателей, К						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
<i>Технологические показатели</i>							
сухие вещества	1,00	0,98	0,96	0,95	1,00	0,98	0,97
продолжительность осахаривания	0,67	0,67	0,67	1,00	1,00	1,00	1,00
скорость фильтрации	0,93	0,96	0,98	1,00	0,93	0,95	1,00
кислотность	0,96	0,96	1,00	1,00	0,90	0,93	1,00
цвет	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	0,97
вязкость	0,85	0,91	0,96	1,00	0,95	0,98	1,00
фракция А	0,78	0,84	0,91	1,00	0,91	0,94	1,00
полифенольные вещества	0,65	0,88	0,92	1,00	0,91	0,95	1,00
<i>Показатели пищевой ценности</i>							
мальтоза	1,00	0,98	0,95	0,93	1,00	0,97	0,95
аминный азот	1,00	0,88	0,78	0,80	1,00	0,99	0,98
белок	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,98	0,94
клетчатка	1,00	0,98	0,94	0,81	1,00	0,93	0,86
<i>Витаминный комплекс</i>							
витамин В ₁	1,00	0,91	0,89	0,81	1,00	0,96	0,93
витамин В ₂	1,00	0,94	0,92	0,84	1,00	0,90	0,83
β-каротин	1,00	0,90	0,62	0,55	1,00	0,73	0,55
<i>Минеральный комплекс</i>							
цинк	1,00	0,95	0,91	0,81	1,00	0,87	0,79
медь	1,00	0,86	0,84	0,73	1,00	0,93	0,85
железо	1,00	0,70	0,42	0,23	1,00	0,85	0,71

Третий этап заключался в определении коэффициентов весомости для внутри- и межгрупповых показателей качества. Коэффициенты весомости показателей качества рассчитывали по данным, предоставленным экспертами. Коэффициенты соответствовали требованию, выраженному в формулах (4), (5), (6):

$$\sum_{i=1}^n M_i = 1 \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^m M_j = 1 \tag{5}$$

$$M_i = 1/N, i=1, 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

где M_i – среднее арифметическое значение коэффициента весомости i -го показателя качества;

N – число экспертов;

M_{ij} – коэффициент весомости i -го показателя, данный j -м экспертом.

В состав экспертной группы входили специалисты, которые имеют опыт работы в области технологии слабоалкогольной и безалкогольной продукции, товарной экспертизы и имеющие степень кандидатов технических наук по специальностям биотехнологии пищевых продуктов и биологически активных веществ; технологии алкогольной и безалкогольной пищевой продукции; технологии обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства, а также технологии и товароведения пищевых продуктов, продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания.

В качестве статистического показателя индивидуальных коэффициентов весомости, характеризующего степень согласованности экспертов, использовали коэффициент вариации. Коэффициент вариации (k_v) полученных экспертных оценок составил менее 0,25, следовательно, согласованность назначенных экспертами индивидуальных коэффициентов весомости считается достаточной.

Назначенные коэффициенты весомости представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Коэффициенты весомости для внутри- и межгрупповых показателей качества

Обозначение	Показатель качества	Назначенные коэффициенты весомости (M)
M_{i1}	<i>Технологические показатели</i>	0,70
$M_{j1.1}$	сухие вещества	0,10
$M_{j1.2}$	продолжительность осахаривания	0,10
$M_{j1.3}$	скорость фильтрации	0,30
$M_{j1.4}$	кислотность	0,10
$M_{j1.5}$	цвет	0,10
$M_{j1.6}$	вязкость	0,10
$M_{j1.7}$	фракция А	0,10
$M_{j1.8}$	полифенольные вещества	0,10
M_{i2}	<i>Показатели пищевой ценности</i>	0,10
$M_{j2.1}$	мальтоза	0,40
$M_{j2.2}$	аминный азот	0,10
$M_{j2.3}$	белок	0,40
$M_{j2.4}$	клетчатка	0,10
M_{i3}	<i>Витаминный комплекс</i>	0,10
$M_{j3.1}$	витамин В ₁	0,40
$M_{j3.2}$	витамин В ₂	0,40
$M_{j3.3}$	β-каротин	0,20
M_{i4}	<i>Минеральный комплекс</i>	0,10
$M_{j4.1}$	цинк	0,40
$M_{j4.2}$	медь	0,20
$M_{j4.3}$	железо	0,40

Из таблицы 5 видно, что наибольший коэффициент весомости присваивался технологическим показателям – 0,70, в частности скорости фильтрации – 0,30, так как при низкой скорости фильтрации значительно ухудшается кислотность, что, в свою очередь, в последующем ухудшает качество и сохраняемость экстракта.

Для группы показателей пищевой ценности наибольшие коэффициенты весомости назначены для показателей «мальтоза» и «белок» – 0,40, так как данные показатели являются основными веществами, обуславливающими энергетическую ценность экстракта.

Для показателей витаминного комплекса наибольшие коэффициенты весомости назначены для показателей «витамин В₁» и «витамин В₂» – 0,40, так как полисолодовый экстракт является источником витаминов группы В и данные витамины находятся в экстракте в наибольшем количестве; для показателей минерального комплекса наибольшие коэффициенты весомости назначены для показателей «цинк» и «железо» – 0,40, так как по отношению к суточной потребности человека в микроэлементах цинка и железа необходимо больше.

Четвертый этап заключался в определении внутригрупповых относительных показателей качества с учетом коэффициентов весомости по формуле (7):

$$K_j = K M_j \quad (7)$$

Результаты расчетов внутригрупповых относительных показателей качества с учетом коэффициентов весомости представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчетов единичных внутригрупповых относительных показателей качества с учетом коэффициентов весомости

Показатель качества	Внутригрупповые относительные показатели качества с учетом коэффициента весомости (K _j)						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
<i>Технологические показатели</i>							
сухие вещества	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
продолжительность осахаривания	0,07	0,07	0,07	0,10	0,10	0,10	0,10
скорость фильтрации	0,28	0,29	0,30	0,30	0,28	0,29	0,30
кислотность	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10
цвет	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
вязкость	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
фракция А	0,08	0,08	0,09	0,10	0,09	0,09	0,10
полифенольные вещества	0,07	0,09	0,09	0,10	0,09	0,10	0,10
<i>Показатели пищевой ценности</i>							
мальтоза	0,40	0,39	0,38	0,37	0,40	0,39	0,38
аминный азот	0,10	0,09	0,08	0,08	0,10	0,10	0,10
белок	0,40	0,40	0,39	0,39	0,40	0,39	0,38
клетчатка	0,10	0,10	0,09	0,08	0,10	0,09	0,09
<i>Витаминный комплекс</i>							
витамин В ₁	0,40	0,36	0,36	0,32	0,40	0,38	0,37
витамин В ₂	0,40	0,38	0,37	0,34	0,40	0,36	0,33
β-каротин	0,20	0,18	0,12	0,11	0,20	0,15	0,11
<i>Минеральный комплекс</i>							
цинк	0,40	0,38	0,36	0,32	0,40	0,35	0,31
медь	0,20	0,17	0,17	0,15	0,20	0,19	0,17
железо	0,40	0,28	0,17	0,09	0,40	0,34	0,29

Пятый этап заключался в определении межгрупповых показателей качества по формуле (8):

$$K_{jm} = \sum_{j=1}^m K_j \quad (8)$$

Результаты расчетов межгрупповых относительных показателей качества представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты расчетов межгрупповых относительных показателей качества

Межгрупповые показатели качества	Межгрупповые относительные показатели качества (K_{jm})						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Технологические показатели	0,87	0,91	0,94	0,99	0,95	0,96	0,99
Показатели пищевой ценности	1,00	0,97	0,95	0,92	1,00	0,97	0,94
Витаминный комплекс	1,00	0,92	0,85	0,77	1,00	0,89	0,82
Минеральный комплекс	1,00	0,83	0,70	0,56	1,00	0,88	0,77

Анализируя данные, представленные в таблице 7, отмечено, что варьирование фракционного состава помола соложеного голозерного сырья в наибольшей степени влияет на витаминный ($K_{jm}=0,77-1,00$) и минеральный ($K_{jm}=0,56-1,00$) комплексы, в меньшей степени – на технологические показатели ($K_{jm}=0,87-0,99$) и показатели пищевой ценности ($K_{jm}=0,92-1,00$).

Шестой этап заключался в определении межгрупповых относительных показателей качества с учетом коэффициента весомости по формуле (9):

$$K_{in} = K_{jm} M_i \quad (9)$$

Результаты расчетов межгрупповых относительных показателей качества с учетом коэффициентов весомости представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты расчетов межгрупповых относительных показателей качества с учетом коэффициентов весомости

Межгрупповые показатели качества	Межгрупповые относительные показатели качества (K_{in})						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Технологические показатели	0,61	0,64	0,66	0,70	0,66	0,67	0,69
Показатели пищевой ценности	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09
Витаминный комплекс	0,10	0,09	0,08	0,08	0,10	0,09	0,08
Минеральный комплекс	0,10	0,08	0,07	0,06	0,10	0,09	0,08

Используя значения межгрупповых относительных показателей качества, представленных в таблице 8, рассчитывали комплексный показатель качества для каждого режима по формуле (10):

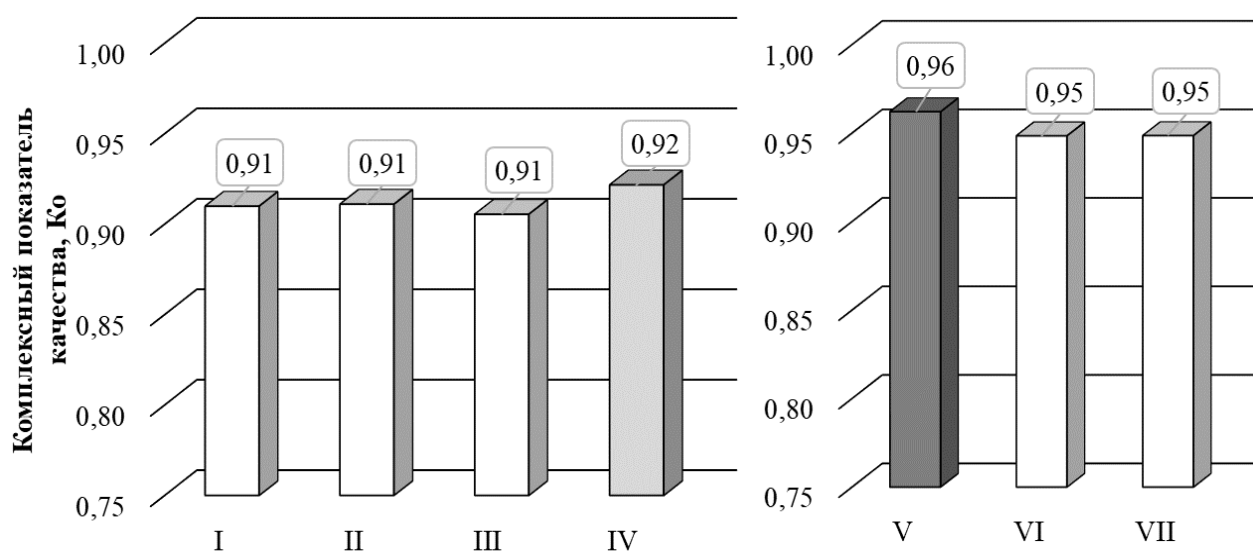
$$K_o = \sum_{i=1}^n K_{in} , \quad (10)$$

где K_o – комплексный показатель качества;

K_{jm} – межгрупповой относительный показатель качества.

На основании полученных результатов и пакета прикладных программ табличного процессора Excel смоделирована аддитивная модель мультипликативного типа в зависимости от фракционного состава помола соложеного голозерного сырья в композиции ячмень-рожь-овес (рисунок 1).

Применение квалитетической модели (по максимальному значению комплексного показателя) позволило выбрать оптимальный фракционный состав помола соложенного голозерного сырья: крупная крупка – 20 %, средняя крупка – 15 %, мелкая крупка – 40 %, мука – 20 %.



Режим (I–IV) – крупная крупка (сход сита 2,2) – от 5 до 20 %, мука (проход сита 0,56) – от 40 до 25 %, средняя (сход сита 1,0) и мелкая (сход сита 0,56) – 55 %;

Режим (V–VII) – крупная крупка (сход сита 2,2) и мука (проход сита 0,56) – 45 %, средняя крупка (сход сита 1,0) – от 15 до 35 % и мелкая крупка (сход сита 0,56) – от 40 до 20 %

Рисунок 1 – Аддитивного модель мультипликативного типа в зависимости от фракционного состава помола

Выбранный фракционный состав помола соложенного голозерного сырья в композиции ячмень-рожь-овес при соотношении 25:25:50 % позволил увеличить скорость фильтрации на 21 %.

Заключение

Исследованы физико-химические показатели и химический состав полисолодового суслу в зависимости от фракционного состава помола соложенного голозерного сырья. Показано, что увеличение доли крупной, средней крупки и уменьшение доли мелкой крупки, муки в смеси уменьшает технологические показатели и показатели пищевой ценности, при этом скорость фильтрации увеличивает. Смоделирована аддитивная модель мультипликативного типа для выбора оптимального фракционного состава помола при получении полисолодового суслу с высокими потребительскими и технологическими свойствами. Это позволило установить оптимальный фракционный состав помола для полисолодового суслу в композиции ячмень-рожь-овес в соотношении 25:25:50 % и оптимизировать качество экстракта.

Литература

- 1 Тележко, Л.Н. Комплексная оценка качества поликомпонентных крупяных запеканок / Л.Н. Тележко, М.А. Кашкано // Известия вузов. Пищевая технология. – 2014. – № 1. – С. 101–106.
- 2 Методология проектирования композиционного плодового напитка радиопротекторного действия / И.А. Мачнева [и др.] // Пиво и напитки. – 2014. – № 5. – С. 22–26.

- 3 Жулинская, О.В. Применение метода анализа иерархий для разработки нормативных параметров качества и безопасности функциональных пищевых продуктов / О.В. Жулинская, Б.А. Половин, К.В. Свидло // Вестник. – 2016. – № 2. – С. 85–90.
- 4 Токарев, А.В. Модели и методы управления производством колбасных изделий заданного качества: дис. канд. ... техн. наук: 05.18.04 / А.В. Токарев; Московский госуд. университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского. – Москва, 2016. – 159 с.
- 5 Грачев, Ю.П. Математические методы планирования экспериментов / Ю.П. Грачев, Ю. М. Плаксин. – М.: Де-Ли принт, 2005. – 296 с.
- 6 Косминский, Г.И. Технология солода, пива и безалкогольных напитков. Лабораторный практикум по техническому контролю производства / Г.И. Косминский. – 2-е издание. – Минск: Дизайн ПРО, 2001. – 352 с.
- 7 Ермолаева, Г. А. Справочник работника лаборатории пивоваренного предприятия / Г. А. Ермолаева. – СПб: Профессия, 2004. – 536 с.
- 8 Метод по определению аминокислот в продуктах питания с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии: МВИ МН 1363 – 2000: утв. ГУ РНПЦ гигиены 14.07.2000 г. – Минск, 2000. – 23 с.
- 9 Продукты пищевые. Методика определения токсичных элементов атомно-эмиссионным методом: ГОСТ 30538-97. – Введ. 05.01.2001. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус, гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1997. – 64 с.
- 10 Фомин, В. Н. Квалиметрия. Управление качеством. Сертификация: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Ось-89, 2007. – 384 с.
- 11 Евдохова, Л.Н. Товарная экспертиза: учеб. пособие / Л.Н. Евдохова, С.Л. Масанский. – Минск: Выш. шк., 2013. – 332 с.
- 12 Минеральные вещества в организме человека [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: <http://www.zdogow.dn.ua>. – Дата доступа: 08.11.2017.
- 13 Домарецкий, В.А. Технология экстрактов, концентратов и напитков из растительного сырья: учеб. пособие / В.А. Домарецкий. – М.: ФОРУМ, 2011. – 448 с.

Поступила в редакцию 16.11.2017