



РЕГРЕССИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ПЕНЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РЫБОРАСТИТЕЛЬНОГО МУССА

А.М. Ильницкая, студентка, Initskaya_96@mail.ru
А.В. Чернова, канд. техн. наук, доц., anastasia.chernova@klgtu.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Рассмотрены основания для использования статистических методов планирования эксперимента, при помощи пакета анализа Microsoft Excel рассчитаны уравнения регрессии, позволяющие спрогнозировать варьирование консистенции рыборастворительного мусса в зависимости от концентрации водного отвара нута и стабилизатора.

рыборастворительный мусс, пена, регрессионное моделирование, уравнение регрессии, регрессионная статистика, дисперсионный анализ, Microsoft Excel

Производство муссовой продукции без добавления химически синтезированных стабилизаторов, позволяющих добиться муссовой структуры продукта, – серьезная проблема для производителя. Для достижения оптимальных органолептических характеристик продукта и обеспечения пенной структуры предложено использование аквафабы, которая представляет собой вязкий водный отвар нута, достигающий при энергичном перемешивании относительно стабильной белой пены. Наиболее часто аквафаба применяется как заменитель яичного белка. Сочетание компонентов, входящих в состав, дает аквафабе широкий диапазон эмульгирующих, пенообразующих, вязущих, желеобразующих и загущающих свойств.

Для создания оптимальной структуры мусса необходимо учитывать многие факторы, такие как консистенция мусса, выбор структурообразователя, устойчивость пены и многие другие, требующие корректировки путем проведения опытов и исследований.

Стандартные методы исследований связаны с экспериментами, для проведения которых необходимы большие затраты времени, сил и средств, так как они основаны на поочередном варьировании отдельных переменных в условиях, когда остальные предпочтительно сохранить неизменными [1]. Именно поэтому возникает необходимость поиска варианта, позволяющего осуществлять исследовательскую работу высокими темпами и дающего возможность принятия решений, близких к оптимальным. Таким вариантом являются статистические методы планирования эксперимента, позволяющие одновременно варьировать все факторы [2].

Целью данной работы является определение зависимости, позволяющей спрогнозировать изменение консистенции мусса в зависимости от концентрации аквафабы и стабилизатора, методом регрессионного анализа.

Объект исследования

В качестве стабилизатора пены был выбран агар-агар. Концентрацию аквафабы определяет соотношение вода: нут при варке нута. Использовали отвары, которые хранились в течение 48 сут. В качестве параметров оптимизации были выбраны консистенция водного отвара нута, объём осажённой пены и содержание сухих веществ в водном отваре нута. В основе исследования лежит таблица данных о водном отваре нута, полученных опытным путем.

Методы исследования

Для выявления подвижности пены образцы подвергались отстаиванию в течение часа, после чего были зафиксированы результаты в виде объема осажженной пены. Проводился экспресс-анализ консистенции с помощью анализатора консистенции ЭАК-1М, предназначенного для измерения условной вязкостной характеристики объекта, дающей представление о консистенции, выраженное в числовом виде на дисплее прибора. Определение сухих веществ в водном отваре нута проводилось в соответствии с документом «МУ по лабораторному контролю качества продукции общественного питания» по 2.1.2. Ускоренный метод (высушивание в сушильном шкафу при температуре 130 °С) [3].

При выборе области эксперимента учитывалось следующее. Прежде всего, были оценены границы областей определения факторов. При этом учитывались принципиальные ограничения для значений факторов, которые не могут быть нарушены ни при каких обстоятельствах. Выбор экспериментальной области факторного пространства был связан с анализом сопутствующей информации, в результате которого определялись комбинации уровней факторов. И так как каждая комбинация является многомерной точкой в факторном пространстве, то она была рассмотрена как исходная точка для построения плана эксперимента. Значения уровней верхних, нулевых и нижних факторов представлены в табл. 1. Предварительно были установлены интервалы варьирования факторов эксперимента, за X_1 принимается количество используемого стабилизатора, за X_2 – соотношение нут: вода в водном отваре нута. Для упрощения записи условий эксперимента и обработки экспериментальных данных вводятся кодированные значения уровней факторов: верхний уровень соответствует +1 (X^+), нижний: -1 (X^-), что представлено в табл. 1.

Таблица 1 – Значения уровней факторов

Фактор	Численное значение фактора	Фактор	Численное значение фактора
X_1^-	0,2	X_2^-	1:3
X_1^0	0,25	X_2^0	1:2,5
X_1^+	0,3	X_2^+	1:2

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования также приведены в табл. 2. При анализе данных в программе Microsoft Excel с использованием надстройки «Анализ данных» были построены уравнения регрессии и получены статистические данные, позволяющие судить об адекватности данных уравнений (табл. 3-5).

Таблица 2 – Результаты исследования взбитого водного отвара нута

Стабилизатор	Количество вносимого стабилизатора в образец водного отвара нута объемом 25 мл, г	Соотношение нут : вода в водном отваре нута	Объем осажженной пены, мл	Консистенция согласно показаниям ЭАК-1М (ед. приб.)	Содержание сухих веществ, %
Агар-агар	0,20	1:2,0	1,3	15	1,65
		1:2,5	1,5	15	1,37
		1:3,0	1,6	14	1,34
	0,25	1:2,0	1,2	15	1,81
		1:2,5	1,2	15	1,73
		1:3,0	1,3	15	1,69
	0,30	1:2,0	0,9	17	2,13
		1:2,5	1,1	16	1,96
		1:3,0	1,2	16	1,99

Таблица 3 – Регрессионная статистика

Показатель	Y_1	Y_2	Y_3
Множественный R	0,97	0,89	0,98
R-квадрат	0,94	0,80	0,96
Нормированный R-квадрат	0,92	0,74	0,95

Таблица 4 – Дисперсионный анализ

Показатель	df			SS			MS			F		
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_1	Y_2	Y_3
Регрессия	2	2	2	0,322	4,826	0,552	0,16109	2,413	0,276	48,255	12,338	71,189
Остаток	6	6	6	0,020	1,173	0,023	0,00334	0,196	0,003			
Итого	8	8	8	0,342	6	0,575						

Таблица 5 – Значения F-критерия Фишера для параметров

Показатель	Y_1	Y_2	Y_3
$F_{\text{факт}}$	48,255	12,338	71,189
$F_{\text{теор}}$	5,14	5,14	5,14

Уравнения регрессии имеют вид (1) – (3):

$$Y_1 = 2,82 - 4 \cdot X_1 - 1,37 \cdot X_2, \quad (1)$$

$$Y_2 = 9,58 + 16,67 \cdot X_1 + 3,88 \cdot X_2, \quad (2)$$

$$Y_3 = -0,17 + 5,73 \cdot X_1 + 1,16 \cdot X_2, \quad (3)$$

где Y_1 – объем осажденной пены, мл;

Y_2 – консистенция водного отвара нута согласно показаниям ЭАК-1М, единицы прибора;

Y_3 – содержание сухих веществ в водном отваре нута, %;

X_1 – количество используемого стабилизатора, вносимого в водный отвар нута, г;

X_2 – соотношение нут: вода в водном отваре нута.

Для вычисления тесноты связи между фактором и откликом для регрессии используют коэффициент корреляции Пирсона (множественный R). Значения коэффициента корреляции изменяются от -1 до 1. Чем ближе по модулю значение к 1, тем сильнее связь, чем ближе к 0, тем связь слабее. R-квадрат представляет собой коэффициент детерминации. Нормированный R-квадрат используется для множественной регрессии [4].

Исходя из данных табл. 3, можно заключить, что у Y_1 вариация результата на 94,1%, у Y_2 – на 80,4% и у Y_3 – на 95,9% определяется вариацией факторов. Таким образом, имеется сильная линейная зависимость между количеством используемого стабилизатора агар-агара, соотношением нут: вода и стойкостью пены.

На основании данных таблицы можно провести проверку на адекватность модели. Анализ выполняется при сравнении фактического и табличного значения F-критерия Фишера. Для всех трех параметров $F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$, откуда можем заключить, что каждая модель адекватна [5].

Также была осуществлена проверка значимости коэффициента b_0 (табл. 6).

Так как для Y_1 и Y_2 $t_{\text{расч}} \geq t_{\text{табл}}$, то коэффициент b_0 является значительным, для Y_3 $t_{\text{расч}} \leq t_{\text{табл}}$, откуда следует, что коэффициент b_0 является незначительным, а значит, фактор b_0 можно исключить из уравнения регрессии (4):

$$Y_3 = 5,73 \cdot X_1 + 1,16 \cdot X_2 \quad (4)$$

Был определен доверительный интервал коэффициента b_0 , результаты представлены в табл. 7.

Таблица 6 - Значение t-критерия для коэффициента b_0

Показатель	Y_1	Y_2	Y_3
$F_{\text{факт}}$	17,12	7,60	-0,95
$F_{\text{теор}}$	2,306	2,306	2,306

Таблица 7 – Доверительный интервал коэффициента b_0

Y_1	Y_2	Y_3
$1,44 \leq 2,82 \leq 3,19$	$6,66 \leq 9,57 \leq 12,48$	$-0,58 \leq -0,17 \leq 0,25$

Выводы

Таким образом, установлена и статистически доказана сильная линейная зависимость между количеством используемого стабилизатора агар-агара, соотношением нут: вода при варке нута и стойкостью пены. Регрессионные зависимости имеют вид: $Y_1 = 2,82 - 4 * X_1 - 1,37 * X_2$, $Y_2 = 9,58 + 16,67 X_1 + 3,88 * X_2$, $Y_3 = 5,73 X_1 + 1,16 * X_2$.

Отрицательные коэффициенты при X_1 и X_2 говорят об обратной зависимости. Действительно, объем осажженной пены будет тем меньше, чем больше концентрация агар-агара и отвара для приготовления аквафабы. Влияние концентрации агар-агара почти в три раза сильнее, чем концентрации отвара.

На основании уравнения регрессии можно заключить, что консистенция водного отвара нута и содержание сухих веществ в пене являются прямо пропорциональными величинами по отношению к количеству вносимого стабилизатора и соотношению нут: вода в водном отваре нута. Иными словами, консистенция и содержание сухих веществ в пене тем выше, чем выше количество используемого стабилизатора, вносимого в водный отвар нута, и концентрация отвара.

Данные зависимости могут быть использованы для прогнозирования стойкости пены в случае изменения рецептуры при производстве рыборастворительного мусса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конрад Карлберг. Регрессионный анализ в Microsoft Excel. – М.: Диалектика, 2017. – 400 с.
2. Г.Я. Гольдштейн, А.В. Катаев. Методология научного творчества/ учебное пособие. - Таганрог: Из-во ТРТУ, 1999. - 60 с.
3. "Методические указания по лабораторному контролю качества продукции общественного питания" (одобрены Минздравом СССР 23.10.1991 N 122-5/72, рекомендованы Минторгом СССР от 11.11.1991 N 1-40/3805). 2.1.2. Ускоренный метод (высушивание в сушильном шкафу при температуре 130 °C)
4. Норман Р. Дрейпер, Гарри Смит ; [пер. с англ. и ред. М. Власенко и др.] Прикладной регрессионный анализ, 3-е изд. - Москва: Диалектика, 2007. - 911 с.
5. Яковлев В.Б. Статистика. Расчеты в Microsoft Excel. 2-е изд., испр. И доп. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 353 с.

REGRESSION MODELING OF FOAM RESISTANCE IN THE PRODUCTION OF FISH MOUSSE

A.M. Pnitskaya, student, Pnitskaya_96@mail.ru
A.V. Chernova, Ph.D., Associate Professor, anastasia.chernova@klgtu.ru
Kaliningrad State Technical University

The grounds for using statistical methods for the experiment modeling are considered, linear regression equations that allows predicting the variation in the consistency of fish-and-vegetable mousse depending on the concentration of chickpea broth and stabilizer are calculated and analyzed.

fish-and-vegetable mousse, foam, regression modeling, regression equation, regression statistics, analysis of variance, Microsoft Excel data analysis