

Литература

1. Колеснікова Л. А. Зміна будови листкової пластинки та її епідермального шару у проростків пшениці ярої, вирощених на нафтозабрудненому ґрунті / Л. А. Колеснікова // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2011. – №3. – С. 149–157.
2. Колеснікова Л. А. Вплив нафтового забруднення ґрунту на хлоренхімний компонент листка проростків пшениці ярої / Л. А. Колеснікова // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2011. – №4. – С. 169–173.
3. Пиз Д. Гистологическая техника в электронной микроскопии/Д.Пиз. – М.:ИЛ., 1983– 163 с.
4. Писаренко П.В. Оцінка екологічного стану сільськогосподарських угідь Полтавської області / П.В. Писаренко, О. О. Ласло // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2009. – №2 – С. 23–25.
5. Писаренко П. В. Ізопериметрія рівновеликих плоских фігур і її використання для морфометрії зрізів листкової пластинки проростків пшениці ярої / П. В. Писаренко, Л. А. Колеснікова//Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2010. – №4. – С. 30–35.
6. Рудько Г. І. Екологічна безпека навколишнього природного середовища України. Контури проблеми / Г. І. Рудько, Б. Ю. Депутат // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2003. – №4. – С. 22–28.
7. Терек О. І. Фотосинтетичні пігменти рослин *Carex hirta* L. за умов нафтового забруднення ґрунту / О. І.Терек, Н. М. Джура, О. М. Цвілінюк // Физиология и биохимия культурных растений. – 2008. – Т. 40. – №3. – С. 238–243.

УДК 6.37.2:66.083.2

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА
ОБРАБОТКИ СЛИВОЧНОГО МАСЛА ВЫСОКИМ ЦИКЛИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ
С ЦЕЛЮ СТАБИЛИЗАЦИЮ ЕГО КАЧЕСТВА**

Сукманов В.А., д.т.н, проф., Громов С.В.

(Донецкий национальный университет экономики и торговли им. Михайла Туган-Барановского, Украина)

Введение

Сливочное масло (СМ) является одним из наиболее ценных продуктов питания, однако, , вырабатываемому в настоящее время продукту присущи определенные пороки, снижающие потребительские качества, пищевую и энергетическую ценность, наличие которых регламентировано соответствующими нормативными документами [1].

СМ, как и все жиры, является нестойким в хранении пищевым продуктом [2,3]. Нестойкость жиров при хранении проявляется в их прогоркании, т.е. ухудшении вкуса и запаха, а, следовательно, и качества, что приводит даже к их непригодности для пищевого использования. Пороки могут быть обнаружены уже в свежем масле, но могут возникнуть и в результате хранения продукта.

Пороки масла классифицируют на пороки вкуса и запаха, консистенции, обработки и внешнего вида, цвета [5]. Значительная часть пороков СМ является результатом микробиологических процессов в нем, которые являются результатом жизнедеятельности различных микроорганизмов и окислительной деструкции. Окислению в первую очередь подвергаются незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты и некоторые витамины, имеющие наибольшую пищевую ценность. Первичными продуктами окисления являются гидропероксиды и пероксиды, которые являются токсичными. Вторичные продукты окисления придают маслу специфические посторонние привкусы и запахи.

Обработка СМ высоким циклическим давлением (ВЦД) существенным образом влияет на его дисперсность и реологические показатели, что повышает его стойкость и обеспечивает стабильность высоких потребительских качеств в процессе длительного хранения.

Обработка СМ ВЦД приводит к изменениям его свойств, которые описываются соответствующими химическими числами, которые характеризуют стойкость продукта в процессе хранения. Йодное число (*ЙЧ*) жира является одним из важнейших показателей масел и жиров, который характеризует степень непредельности жира, способность его к окислению, высыханию, присоединению водорода. *ЙЧ* характеризует степень свежести жиров и при окислении жиров в процессе хранения *ЙЧ* уменьшается. Кислотное число (*КЧ*) является показателем качества пищевых жиров и характеризует скорость и глубину гидролиза масла. Число Рейхерта-Мейссля (*Ч_{р-м}*) показывает количество растворимых в воде летучих жирных кислот, содержащихся в масле. Число Поленске (*Ч_{пол}*) характеризует количество нерастворимых в воде летучих жирных кислот, преимущественно каприловой, пеларгоновой, каприновой. Число омыления (*ЧО*) характеризует среднюю молекулярную массу смеси жирных кислот жира. Перекисное число (*ПЧ*) - качественных показателей СМ, который увеличивается за счет окисления триглицеридов кислородом воздуха.

Исходя из вышеизложенного, цель работы – оптимизация процесса обработки СМ ВЦД с целью обеспечения его стойкости и стабилизации качества в процессе длительного хранения – является актуальной.

Основная часть

В качестве выходных параметров оптимизационной модели нами были приняты следующие показатели качества: y_1 – кислотное число (*КЧ*); y_2 – перекисное число (*ПЧ*); y_3 – йодное число омыления (*ЙЧ*); y_4 –

Секция 2: Управление качеством в АПК

число омыления ($ЧО$) y_5 – число Поленске ($Ч_n$); y_6 – число Рейхерта-Мейссля ($Ч_{p-m}$).

На первом этапе работ был реализован активный эксперимент (полный факторный эксперимент типа 3^2). Основные факторы: x_1 – P_{max} – величина максимального давления (МПа), x_2 – n – количество циклов поднятия и сброса давления. Для того, чтобы учесть различные значения скорости импульса подъема и сброса давления, было реализовано три режима изменения скоростей нагрузки: I – $v_{н\uparrow} - 1, v_{н\downarrow} - 5$ (МПа/с); II – $v_{н\uparrow} - 5, v_{н\downarrow} - 10$ (МПа/с); III – $v_{н\uparrow} - 10, v_{н\downarrow} - 25$ (МПа/с).

Уровни и интервалы варьирования факторов были выбраны, исходя из результатов предыдущих исследований. Каждый эксперимент выполняли в двойной повторяемости, а однородность результатов оценивали по критерию Кохрена.

Параллельные эксперименты в центре плана позволили сделать вывод, что уравнение регрессии первого порядка, полученное по результатам полного факторного эксперимента, не может предоставить удовлетворительного математического описания модельных систем и необходимо перейти к планированию второго порядка, чтобы учесть оценки квадратичных эффектов факторов и построить адекватную математическую модель.

Статистическая обработка экспериментальных данных содержала вычисление оценок регрессионных коэффициентов, проверку их значимости, оценку воспроизводимости экспериментов и установление адекватности полученного регрессионного уравнения. При этом использовали статистические критерии Кохрена, Стьюдента и Фишера.

Уравнения регрессии, которые адекватно описывают зависимость откликов y_i от управляемых факторов были определены матричным способом в пакете Excel и имеют следующий вид:

для режима I: $y_1 = 0,64 - 0,1x_1 - 0,21x_2 - 0,05x_1x_2 + 0,13x_1^2 + 0,10x_2^2$,

$$y_2 = 0,019 - 0,002x_1 - 0,003x_2 - 0,0003x_1x_2 + 0,001x_1^2 + 0,001x_2^2,$$

$$y_3 = 27,11 - 1,75x_1 - 2x_2 - 0,25x_1x_2 - 0,92x_1^2 + 0,33x_2^2,$$

$$y_4 = 232,61 - 1,83x_1 - 3,75x_2 - 0,625x_1x_2 + 0,33x_1^2 + 1,08x_2^2,$$

$$y_5 = 2,65 - 0,12x_1 - 0,25x_2 - 0,025x_1x_2 + 0,03x_1^2 + 0,10x_2^2,$$

$$y_6 = 35,71 - 1,00x_1 - 1,77x_2 - 0,4x_1x_2 - 0,37x_1^2 + 0,73x_2^2;$$

для режима II: $y_1 = 0,87 - 0,13x_1 - 0,18x_2 - 0,04x_1x_2 - 0,08x_1^2 - 0,01x_2^2$,

$$y_2 = 0,017 - 0,002x_1 - 0,004x_2 + 0,0003x_1x_2 - 0,001x_1^2 + 0,002x_2^2,$$

$$y_3 = 25,33 - 1,75x_1 - 2,33x_2 - 0,5x_1x_2 - 0,75x_1^2 + 1,5x_2^2,$$

$$y_4 = 231,39 - 1,08x_1 - 4,00x_2 - 0,375x_1x_2 - 0,58x_1^2 + 2,67x_2^2,$$

$$y_5 = 2,57 - 0,10x_1 - 0,27x_2 - 0,018x_1x_2 + 0,02x_1^2 + 0,16x_2^2,$$

$$y_6 = 34,94 - 1,03x_1 - 1,83x_2 - 0,425x_1x_2 + 0,13x_1^2 + 0,93x_2^2;$$

для режима III: $y_1 = 0,63 - 0,11x_1 - 0,2x_2 - 0,03x_1x_2 - 0,05x_1^2 + 0,17x_2^2$,

$$y_2 = 0,016 - 0,003x_1 - 0,003x_2 - 0,0003x_1x_2 + 0,0005x_1^2 + 0,002x_2^2,$$

$$y_3 = 22,44 - 1,25x_1 - 2,75x_2 - 0,75x_1x_2 + 0,58x_1^2 + 2,58x_2^2,$$

$$y_4 = 230,67 - 1,42x_1 - 4,00x_2 - 0,5x_1x_2 + 0,25x_1^2 + 2,50x_2^2,$$

$$y_5 = 2,51 - 0,12x_1 - 0,26x_2 - 0,018x_1x_2 + 0,08x_1^2 + 0,15x_2^2,$$

$$y_6 = 34,51 - 0,92x_1 - 2,00x_2 - 0,325x_1x_2 + 0,28x_1^2 + 1,03x_2^2;$$

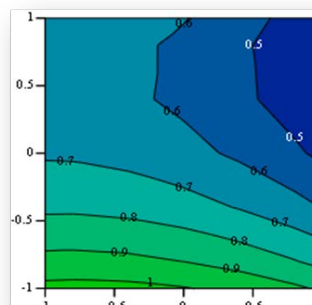
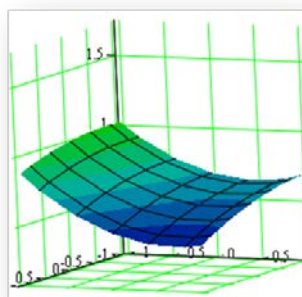


Рисунок 1 – Поверхность отклика и линии уровня для КЧ при режиме III

Второй этап заключался в геометрической интерпретации и анализе регрессионных уравнений. Графическая интерпретация зависимостей y_i в виде поверхностей отклика и линий уровня были получены для всех режимов. В качестве примера, на рис. 1 приведена поверхность отклика и линии уровня для $KЧ$ при режиме III.

Анализ графиков поверхностей отклика и линий уровня показывает, что минимальные значения исследуемых показателей находятся вблизи положительной границы области факторных значений эксперимента. Это позволило нам для нахождения экстремумов использовать методы классического анализа.

На третьем этапе определяли степень оптимизации по полученным функциям отклика. Для этого использовали показатель «качества» параметров оптимизации ε_y и показатель крутизны поверхностей отклика ξ_y .

$$\varepsilon_y = \left| \frac{\bar{y}}{y_{opt} - \bar{y}} \right|; \quad \xi_y = \left| \frac{y_{opt} - y_{nopt}}{y_{opt}} \right| \quad (1)$$

где \bar{y} – среднее арифметическое значение исследованных параметров; y_{opt} – оптимальное значение параметра; y_{nopt} – неоптимальное значение параметра в области исследования изменения факторов.

Четвертый этап заключался в поиске оптимальных значений параметров процесса. Исходя из приведенных выше данных, для оптимизации выбран параметр y_1 при фиксированных значениях y_2 и y_3 . При этом, независимые переменные y_i должны находиться в области эксперимента, границы которой определяются сферой радиуса R , описывающей область изменения факторов и являющейся ограничением на значение независимых переменных. Для решения поставленной задачи был использован метод неопределенных множителей Лагранжа. Соответственно составлена функция цели и система уравнений Лагранжа:

а) для режима I

$$\left. \begin{aligned} F &= 0,64 - 0,1x_1 - 0,21x_2 - 0,05x_1x_2 + 0,13x_1^2 + 0,10x_2^2 + \lambda_1(0,019 - 0,002x_1 - 0,003x_2 - \\ &- 0,0003x_1x_2 + 0,001x_1^2 + 0,001x_2^2 - y_2) + \lambda_2(27,11 - 1,75x_1 - 2x_2 - 0,25x_1x_2 - 0,92x_1^2 + \\ &+ 0,33x_2^2 - y_3) + \lambda_3(x_1^2 + x_2^2 - R^2) \\ \frac{\partial F}{\partial x_1} &= -0,1 - 0,05x_2 + 0,25x_1 + \lambda_1(-0,002 - 0,0003x_2 + 0,001x_1) + \\ &+ \lambda_2(-1,75 - 0,25x_2 - 1,83x_1) + 2\lambda_3x_1 \\ \frac{\partial F}{\partial x_2} &= -0,21x_2 - 0,05x_1 + 0,20x_2 + \lambda_1(-0,003 - 0,0003x_1 + 0,002x_2) + \\ &+ \lambda_2(-2,00 - 0,25x_1 + 0,67) + 2\lambda_3x_2 \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda_1} &= 0,019 - 0,002x_1 - 0,003x_2 - 0,0003x_1x_2 + 0,0007x_1^2 + 0,001x_2^2 - y_2 \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda_2} &= 27,11 - 1,75x_1 - 2,00x_2 - 0,25x_1x_2 - 0,92x_1^2 + 0,33x_2^2 - y_3 \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda_3} &= x_1^2 + x_2^2 - R^2; \end{aligned} \right\} (2)$$

б) для режима II

$$\left. \begin{aligned} F &= 0,87 - 0,13x_1 - 0,18x_2 - 0,04x_1x_2 - 0,08x_1^2 - 0,01x_2^2 + \lambda_1(0,017 - 0,002x_1 - 0,004x_2 + \\ &+ 0,0003x_1x_2 - 0,001x_1^2 + 0,002x_2^2 - y_2) + \lambda_2(25,33 - 1,75x_1 - 2,33x_2 - 0,5x_1x_2 - 0,75x_1^2 + \\ &+ 1,50x_2^2 - y_3) + \lambda_3(x_1^2 + x_2^2 - R^2) \\ \frac{\partial F}{\partial x_1} &= -0,13 - 0,04x_2 + 0,17x_1 + \lambda_1(-0,002 + 0,0003x_2 - 0,002x_1) + \\ &+ \lambda_2(-1,75 - 0,5x_2 - 1,50x_1) + 2\lambda_3x_1 \\ \frac{\partial F}{\partial x_2} &= -0,18x_2 - 0,04x_1 + 0,017x_2 + \lambda_1(-0,004 + 0,0003x_1 + 0,005x_2) + \\ &+ \lambda_2(-2,33 - 0,5x_1 + 3,00) + 2\lambda_3x_2 \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda_1} &= 0,017 - 0,002x_1 - 0,004x_2 + 0,0003x_1x_2 - 0,001x_1^2 + 0,002x_2^2 - y_2 \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda_2} &= 25,33 - 1,75x_1 - 2,33x_2 - 0,5x_1x_2 - 0,75x_1^2 + 1,50x_2^2 - y_3 \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda_3} &= x_1^2 + x_2^2 - R^2; \end{aligned} \right\} (3)$$

$$\begin{aligned}
 & \text{в) для режима III} \quad F = 0,63 - 0,11x_1 - 0,2x_2 - 0,03x_1x_2 - 0,05x_1^2 + 0,17x_2^2 + \lambda_1(0,016 - 0,003x_1 - 0,003x_2 - \\
 & \quad - 0,0003x_1x_2 + 0,001x_1^2 + 0,002x_2^2 - y_2) + \lambda_2(22,44 - 1,25x_1 - 2,75x_2 - 0,75x_1x_2 + 0,58x_1^2 + \\
 & \quad + 2,58x_2^2 - y_3) + \lambda_3(x_1^2 + x_2^2 - R^2) \\
 & \quad \frac{\partial F}{\partial x_1} = -0,11 - 0,03x_2 - 0,1x_1 + \lambda_1(-0,003 - 0,0003x_2 + 0,001x_1) + \\
 & \quad + \lambda_2(-1,25 - 0,75x_2 + 1,17x_1) + 2\lambda_3x_1 \\
 & \quad \frac{\partial F}{\partial x_2} = -0,2x_2 - 0,03x_1 + 0,33x_2 + \lambda_1(-0,003 - 0,0003x_1 + 0,004x_2) + \\
 & \quad + \lambda_2(-2,75 - 0,75x_1 + 5,17) + 2\lambda_3x_2 \\
 & \quad \frac{\partial F}{\partial \lambda_1} = 0,016 - 0,003x_1 - 0,003x_2 - 0,0003x_1x_2 + 0,0005x_1^2 + 0,002x_2^2 - y_2 \\
 & \quad \frac{\partial F}{\partial \lambda_2} = 22,44 - 1,25x_1 - 2,75x_2 - 0,75x_1x_2 + 0,58x_1^2 + 2,58x_2^2 - y_3 \\
 & \quad \frac{\partial F}{\partial \lambda_3} = x_1^2 + x_2^2 - R^2.
 \end{aligned} \tag{4}$$

где F – целевая функция Лагранжа; λ – неопределенный множитель Лагранжа.

Для решения системы уравнений (2) (4) с последующим вычислением значений функций отклика была реализована оптимизация в пошаговом режиме для значений $0 \leq R \leq 1.0$ в интегрированном пакете MAPLE 13. В результате решения указанных выше систем Лагранжа были получены оптимальные значения факторов, параметров и функций отклика.

В результате анализа значений показателей процесса при значениях управляемых факторов, которые являются близкими к оптимальным для более рациональных второго и третьего режимов произведена оценка относительного отклонения значений параметров оптимизации для двух рассматриваемых режимов изменения параметров процесса и получены следующие значения оптимальным режимам обработки СМ ВЦД: величина максимального давления, МПа - $P_{\max} = 320-340$; количество циклов нагружения, $n = 2-3$; скорость подъема давления, МПа/с, $v_{\text{нп}} = 7-10$; скорость сбрасывания давления, МПа/с, $v_{\text{нл}} = 15-25$, что обеспечило производство СМ с химическими числами, указывающими на увеличение его стойкость и стабильности качество в процессе длительного хранения (табл. 2).

Таблица 2 – Изменение химических чисел СМ в результате его обработки ВЦД

Наименование показателя	Значение показателя (химического числа)		
	непосредственно после выхода из маслообразователя	контроль СМ через 3 месяца хранения	опытные образцы СМ через 3 месяца хранения
Кислотное число, мгКОН/г	1,15	1,16	0,51–0,57
Перекисное число, ($\frac{1}{2}O_2$)/кг	0,024	0,025	0,014–0,016
Йодное число, $I_2/100$ г	30	26	22–24
Число омыления, мгКОН/г	228	241	229–233
Число Поленске	3,15	3,25	2,45–2,55
Число Рейхерта-Мейссля	26,5	40	33–35

Заключение

Таким образом, в результате исследований были получены оптимальные значения параметров процесса обработки СМ ВЦД, которые позволили существенным образом повысить стойкость и стабилизировать качество СМ в процессе длительного хранения, что было подтверждено соответствующими химическими числами для опытных образцов СМ.

Литература

1. Производство сливочного масла: Справочник / Андрианов Ю.П., Вышемирский Ф.А., Качераускис Д.В. т др. Под ред д-ра техн. наук Ф.А. Вышемирского. – М.: Агропромиздат, 1988 – 1988. – 303с. ISBN 5-10-000202-6.
2. Хомутов Б. И., Ловачев Л. Н. Хранение пищевых жиров. — М.: Экономика, 1972. — 160 с.
3. Чумак А.П., Гладкий П.Ф. Научно-практические основы технологии жиров и жирозаменителей. Х.: НТУ ХПИ, 2006.- 175с.
4. Хорвуд Д. Ф., Смит Л. К. Лабораторные исследования порока «олеистый привкус» сладкосливочного масла.— В кн.: XVIII Международный конгресс по молочному делу. М., 1972, с. 152—153.
5. Е. Г., Грищенко А. Д. Изменение свойств сливочного масла при хранении.— Известия вузов СССР. Пищевая технология, 1978, № 6, с 63—68.