

УДК 502/504 : 631.15

О. В. АМЧЕСЛАВСКИЙ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия»

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ
ПРИ АКТИВАЦИИ ВОДЫ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ**

Проведена оптимизация данных с помощью уравнений регрессии и двумерных сечений поверхностей отклика, определены оптимальные параметры факторов. Подтверждено, что математическая модель для пятифакторного опыта активации водных растворов адекватна.

Анолит, католит, активированный раствор, сахарная кукуруза, оптимизация, уравнения регрессии, поверхности отклика.

Optimization of the data was carried out by means of regression equations and two-dimensional sections of response surfaces, optimal parameters of factors were determined. It was confirmed that the mathematical model for pentad factor test of water solutions activation was adequate.

Anolyte, catholyte, activated solution, sweet com, optimization, regression equations, response surface.

На юге России гарантированное возделывание сахарной кукурузы возможно только в условиях орошения [1]. В отличие от зерновой кукурузы эту культуру выращивают на небольших площадях. Несмотря на достаточную влажность почвы и минеральное питание, урожайность сахарной кукурузы низкая, она подвержена болезням и вредителям, часть ее стеблей полегает и даже изламывается. Для решения этих задач нужны неординарные технологические и технические решения [2–4].

При проведении поисковых исследований автор воспользовался пятифакторным экспериментом. Особое внимание в многофакторных экспериментах обращено на правильность подбора факторов. Фактор – это независимая переменная, влияющая на параметр оптимизации. Каждый фактор характеризуется областью определения, т. е. совокупностью всех значений, которые он может принимать. В проведенной работе каждый фактор связан с технической характеристикой электро-активатора (диапазон напряжения, вольтамперная характеристика, возможность взаимного перемещения электродов и т. д.). Управляемость – установление нужного значения фактора и поддержание его постоянным в течение

всего опыта. Этой особенностью обладает активный эксперимент.

Факторы должны непосредственно воздействовать на объект исследования, а не быть функцией двух переменных [5].

На основании экспериментально-теоретических исследований, которые базируются на поисковых опытах, было выявлено, что на процесс электрохимической активации воды и водных растворов влияют следующие факторы: расстояние между электродами; напряжение постоянного тока, подаваемое на электроды; сила тока, подаваемого на электроды; время активации; концентрация минеральных удобрений, или степень минерализации раствора.

Известно, что сила тока есть функция напряжения, по закону Ома. В данных исследованиях рассматриваются также следующие зависимости: тока – от электродного зазора, тока – от времени. При определенном значении расстояния L между электродами величина тока достигает своего максимума, затем начинает снижаться. Это объясняется противодействием электрическому направленному движению заряженных частиц хаотического теплового движения из-за неизбежного повышения температуры раствора в результате электрохимической обработки.

Интервалы варьирования факторов определялись по литературным источникам, результатам предварительных опытов, теоретическим и экспериментальным исследованиям, по общепринятым методикам (табл. 1 и 2) [5].

Предварительные опыты показали, что на величину электрохимических показателей исследуемых водных растворов влияют напряжение, сила тока, расстояние между электродами, время активации, а также концентрация минеральных удобрений. Причем зависимость данных показателей от времени обработки и концентрации раствора не является прямой и линейной и имеет экстремальный характер. При увеличении времени обработки и степени минерализации до определенного значения (25 мин и 3 %) рН католита достигает максимального значения, а рН анолита – минимального.

Для используемых факторов, согласно разработанной методике проведения опытов, строились матрицы планирования экспериментов с числом опытов (строк матрицы) N , кратным $2k$.

Для реализации исследований в области оптимума выбран предельно насыщенный план второго порядка (план Рехтшафнера). Он близок к D-оптимальному плану и удобен тем, что является предельно насыщенным, т. е. число опытов в серии равно числу коэффициентов уравнения регрессии, строящегося на основе данных этого эксперимента. Но этот план не является полным факторным. Однако он дает возможность осуществить построение на основе предварительных опытов, проведенных по схеме для дисперсионного анализа. Предварительный дисперсионный анализ дает достаточно информации для решения последующей оптимизационной задачи, выбора

центра и шага варьирования. При решении задачи регрессионного анализа план Рехтшафнера может быть использован при трех и более факторах. Матрица плана для пятифакторного эксперимента имеет вид, приведенный в табл. 2. Исследования технологии добавления ЖКУ проводились методом математического планирования эксперимента, который позволяет определить оптимальное значение параметров в эксперименте [5 – 7].

В результате расчетов получены уравнения регрессии в кодированном виде, незначимые коэффициенты удалены. Выполнен повторный расчет коэффициентов регрессионной модели:

для католита –

$$Y_k = 11,71 - 0,01x_1 + 0,62x_2 + 0,63x_3 + 0,66x_4 + 0,56x_5 - 0,03x_1x_2 - 0,02x_1x_3 - 0,01x_1x_4 - 0,02x_1x_5 + 0,01x_2x_3 + 0,03x_2x_4 + 0,03x_2x_5 + 0,02x_3x_4 + 0,01x_3x_5 + 0,02x_4x_5 - 0,30x_1^2 - 0,33x_2^2 - 0,34x_3^2 - 0,36x_4^2 - 0,36x_5^2; \quad (1)$$

для анолита –

$$Y_A = 2,31 - 0,02x_1 + 0,22x_2 + 0,23x_3 + 0,25x_4 - 0,16x_5 - 0,02x_1x_2 - 0,02x_1x_3 - 0,01x_1x_4 - 0,02x_1x_5 + 0,02x_2x_3 + 0,04x_2x_4 + 0,03x_2x_5 + 0,02x_3x_4 + 0,01x_3x_5 + 0,01x_4x_5 - 0,10x_1^2 + 0,16x_2^2 + 0,17x_3^2 + 0,11x_4^2 + 0,10x_5^2. \quad (2)$$

Анализ полученных уравнений регрессии был выполнен с помощью двумерных сечений, при этом решена задача, в которой требовалось найти значения факторов, обеспечивающих максимальную рН для католита и минимальную рН для анолита.

Для анализа и систематизации полученные математические модели второго порядка были приведены к типовой канонической форме вида:

Таблица 1

Факторы, уровни и интервалы варьирования для водородного показателя католита и анолита

Уровни и интервалы варьирования	Расстояние между электродами L , мм	Напряжение U , В	Сила тока I , А	Время t , мин	Концентрация минеральных удобрений M , %
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
-1	120	100	1,0	20	2
0	150	150	5,5	25	3
+1	220	200	10,0	30	4
ε	70	50	4,5	5	1

Реализованная матрица плана Рехтшафнера второго порядка
для пятифакторного эксперимента

Номер опыта	Фактор					Значение критерия оптимизации	
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y_1	Y_2
1	-1	-1	-1	-1	-1	7,60	2,30
2	-1	1	1	1	1	12,70	3,50
3	1	-1	1	1	1	11,20	2,80
4	1	1	-1	1	1	11,20	2,80
5	1	1	1	-1	1	11,10	2,70
6	1	1	1	1	-1	11,30	3,60
7	1	1	-1	-1	-1	8,80	2,60
8	1	-1	1	-1	-1	8,90	2,70
9	1	-1	-1	1	-1	8,90	2,70
10	1	-1	-1	-1	1	8,70	1,90
11	-1	1	1	-1	-1	10,00	3,10
12	-1	1	-1	1	-1	10,10	3,10
13	-1	1	-1	-1	1	9,90	2,30
14	-1	-1	1	1	-1	10,10	3,20
15	-1	-1	1	-1	1	9,90	2,40
16	-1	-1	-1	1	1	9,80	2,30
17	1	0	0	0	0	11,40	2,20
18	0	1	0	0	0	12,00	2,70
19	0	0	1	0	0	12,00	2,70
20	0	0	0	1	0	12,00	2,70
21	0	0	0	0	1	11,90	2,30

$$Y - Y_S = B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + \dots + B_{kk}X_k^2, \quad (3)$$

где Y – значение критерия оптимизации; Y_S – значение критерия оптимизации в оптимальной точке; X_1, X_2, \dots, X_k – новые оси координат, повернутые относительно старых x_1, x_2, \dots, x_k ; $B_{11}, B_{22}, \dots, B_{kk}$ – коэффициенты регрессии в канонической форме.

При оценке работы электроактиватора по двум критериям предложена методика компромиссного решения, позволяющая определить реальное значение каждого фактора. Получены значения критериев оптимизации, приведенные для католита и анолита (см. таблицы 1 и 2).

Уравнения регрессии, представленные в канонической форме, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} &\text{для католита} - \\ Y_1 & 13 \quad 0,29x_1^2 \quad 0,33x_2^2 \\ & 0,33x_3^2 \quad 0,37x_4^2 \quad 0,38x_5^2; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} &\text{для анолита} - \\ Y_2 & 1,84 \quad 0,10x_1^2 \quad 0,16x_2^2 \\ & 0,18x_3^2 \quad 0,10x_4^2 \quad 0,10x_5^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Для построения двумерных сечений и поверхностей отклика поочередно и

попарно каждые три фактора приравнивали нулю, показатели pH принимали постоянными и экстремальными. С учетом этого и принимая $x_3 = x_4 = x_5 = 0$, уравнения (4), (5) были преобразованы (приводятся в кодированном виде):

$$\begin{aligned} Y_K & 11,71 \quad 0,01x_1 \quad 0,62x_2 \\ & 0,03x_1x_2 \quad 0,30x_1^2 \quad 0,33x_2^2; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} Y_A & 2,31 \quad 0,02x_1 \quad 0,22x_2 \\ & 0,02x_1x_2 \quad 0,10x_1^2 \quad 0,16x_2^2. \end{aligned}$$

В (6) фигурируют важнейшие параметры: x_1 (расстояние L) и x_2 (напряжение U). Графическая интерпретация уравнений (6) представлена на рисунках 1 и 2.

Аналогично выведены все оставшиеся варианты уравнений и построены соответствующие двумерные сечения и поверхности отклика.

Выводы

Напряжение U на электродах может изменяться в пределах 100...200 В, при этом расстояние L между электродами должно быть 70...170 мм. Время активации t должно изменяться в пределах 20... 30

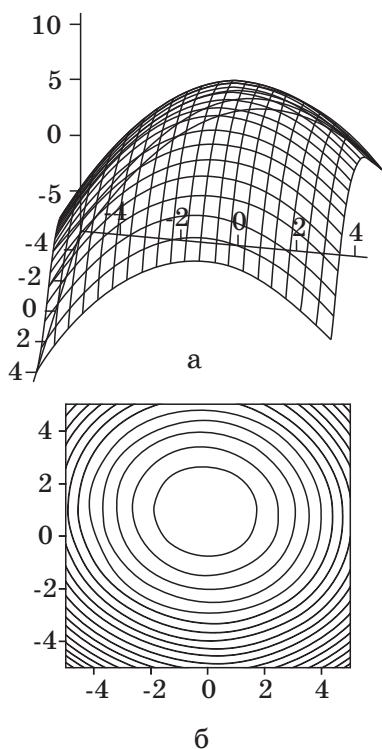


Рис. 1. Двумерное сечение (а) и поверхность отклика (б) функции $Y_K = f(x_1, x_2)$ для католита

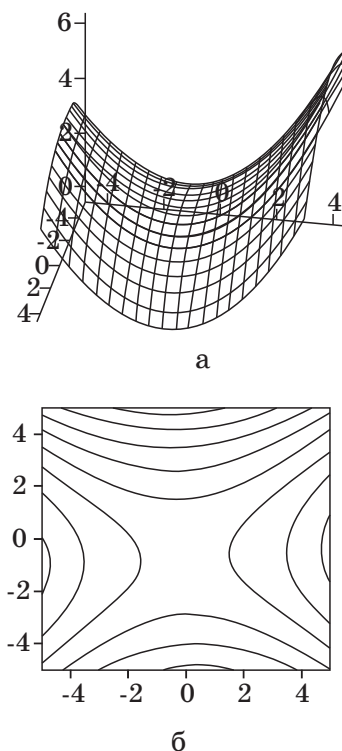


Рис. 2. Двумерное сечение (а) и поверхность отклика (б) функции $Y_A = f(x_1, x_2)$ для католита

мин, а оптимальная концентрация ЖКУ – находиться в пределах 2,5...3,5 %. Сила тока определяется из известного соотношения между U и I .

Целесообразно использовать конкретные оптимальные значения следующих факторов: $U = 150$ В; $L = 120$ мм; $t = 25$ мин; $M = 3$ %.

Подтверждено, что математическая модель для пятифакторного опыта активации водных растворов адекватна.

1. Овчинников А. С., Пындак В. И., Амчеславский О. В. Перспективная технология возделывания сахарной кукурузы // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2009. – № 1. – С. 57–58.

2. Пат. № 2291606 РФ, МПК А01С 1/00 (2006.01). Способ возделывания сахарной кукурузы на зерно / В. И. Пындак, А. С. Овчинников, В. Н. Павленко, О. В. Амчеславский. – Опубл. 2007. – Бюл. № 2. – 3 с.

3. Заявка № 2010152721. Способ возделывания пропашных культур / В. И. Пындак,

А. С. Овчинников, О. В. Амчеславский, А. Е. Новиков. – Заявлено 22.12.2010.

4. Овчинников А. С., Пындак В. И., Амчеславский О. В. Инновационные технологии возделывания сахарной кукурузы на юге России // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2011. – № 1 (21). – С. 3–9.

5. Кузнецов Н. Г., Богданов С. И. Вводные лекции по математическому моделированию и математической теории эксперимента: учеб. пособие. – Волгоград: ВГСХА, 2008. – 182 с.

6. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий – М.: Наука, 1976. – 280 с.

7. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных – М.: Колос, 1967. – 159 с.

Материал поступил в редакцию 16.05.11.

Амчеславский Олег Валерьевич, ассистент

Тел. 8 (8442) 41-81-53