

Биотехнология, бионанотехнология и технология сахаристых продуктов

УДК 664.1.035.1

Профессор В.А. Голыбин, доцент В.А. Федорук,
(Воронеж. ун-т инж. технол.) кафедра технологии сахаристых веществ,
тел. (473) 255-07-51
главный специалист К.К. Горожанкина
(Ин-т технологий пищевых продуктов, г. Москва) тел. (495) 915-52-10

Оптимизация способа подготовки жомопрессовой воды в импульсном магнитном поле

Применение импульсного магнитного поля для подготовки экстрагента (жомопрессовой воды) и подбор оптимальных условий обработки.

The use of pulsed magnetic fields to prepare extractant (pulp press water) and selection of optimal processing conditions.

Ключевые слова: экстрагент, диффузия, оптимизация.

Процесс экстракции сахарозы из свекловичной стружки является в сахарном производстве основополагающим. От проведения этого процесса зависит переход сахарозы в диффузионный сок и в конечном итоге выход сахара-песка стандартного качества. В качестве питательной воды для экстрагирования используется наряду со свежей жомопрессовая вода (ЖПВ), полученная после прессования свекловичного жома и прошедшая обработку.

Для оптимизации параметров комбинированной обработки жомопрессовой воды в импульсном магнитном поле с применением карбонатной суспензии сока II сатурации проводили исследования по взаимодействию влияющих на этот процесс факторов. Для этого были применены математические методы планирования. Математическое описание данного процесса может быть получено эмпирически. При этом его математическая модель имеет вид уравнения регрессии, найденного статистическими методами на основе экспериментальных данных.

В качестве основных факторов, влияющих на эффективность способа подготовки жомопрессовой воды, были выбраны:

X_1 – продолжительность магнитной обработки, с;

X_2 – индукция магнитного поля, Тл;

X_3 – давление прессования жома, МПа;

X_4 – расход карбонатной суспензии сока

II сатурации, % к массе воды.

© Голыбин В.А., Федорук В.А., Горожанкина К.К., 2012

Все эти факторы совместимы и некоррелируемы между собой (табл. 1).

Выбор интервалов изменения входных факторов обусловлен технологическими условиями проведения процесса физико-химической очистки жомопрессовой воды. Критериями оценки (выходные факторы) влияния различных факторов на процесс очистки были выбраны: Y_1 – чистота жомопрессовой воды, %; Y_2 – эффект очистки на диффузии, %; Y_3 – эффект известково-углекислотной очистки диффузионного сока, %; Y_4 – выход жомопрессовой воды, % к массе жома. Выбор оценки Y обусловлен их наибольшей значимостью для определения эффективности способа подготовки жомопрессовой воды.

Опыты проводили по следующей методике: получали на специальных ножах свекловичную стружку толщиной 2 мм (длина 100 г стружки 12 м, содержание брака 3 %), которую помещали в лабораторную диффузионную батарею. Осуществляли диффузионный противоточный процесс в течение 60 мин, при температуре 70-72 °С путем отвода диффузионного сока и подачи свежей воды. На лабораторном прессе получали из свежего жома ЖПВ при давлении прессования 3,00 МПа. Воду нагревали до 60 °С и подвергали комбинированной физико-химической очистке с внесением карбонатной суспензии сока II сатурации в количестве: 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 % к массе воды. Параметры импульсного магнитного поля изменяли в следующих интервалах: индукция 0,10-0,30 Тл; продолжительность обработки 2-15 с.

Пределы измерения входных факторов

Условия планирования	Пределы измерения факторов			
	X ₁ , с	X ₂ , Тл	X ₃ , МПа	X ₄ , % к массе воды
Основной уровень	6	0,20	3,0	0,50
Интервал варьирования	2	0,05	1,0	0,35
Верхний уровень	8	0,25	4,0	0,75
Нижний уровень	4	0,15	2,0	0,25
Верхняя «звёздная точка»	10	0,30	5,0	1,0
Нижняя «звёздная точка»	2	0,10	1,0	0,0

Далее проводили процесс экстракции сахарозы из свекловичной стружки. В качестве питательной воды для диффузионного процесса использовали очищенную ЖПВ, предварительно смешав её с подкисленной водопроводной водой. Экстрагирование сахарозы из свежей свекловичной стружки проводили при температуре 70-72 °С и продолжительности 60 мин, рН питательной воды – 5,7-6,0, соотношение массовых расходов ЖПВ : водопроводная вода : свекловичная стружка = 0,5 : 0,5 : 1. Обессахаренную стружку, полученную в каждой пробе в процессе экстракции, отжимали на лабораторном прессе при следующих величинах давления в зоне прессования: 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 5,0 МПа – определяя выход ЖПВ, % к массе жома.

Диффузионный сок подвергали известково-углекислотной очистке по типовой схеме. Общий расход оксида кальция на операции очистки составлял 100 % к массе несахаров диффузионного сока.

Для исследования было применено центральное композиционное ротатабельное униформпланирование и был выбран полный факторный эксперимент 2⁴. Порядок опытов рандомизировали посредством таблицы случайных чисел, что исключало влияние неконтролируемых факторов на результаты эксперимента. Опыты в каждой точке матрицы дублировали для повышения точности.

Программа исследований была заложена в матрицу планирования эксперимента (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Матрица планирования эксперимента

Номер опыта	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-1	-1	-1	-1	71,52	16,17	38,28	55,78
2	+1	-1	-1	-1	64,75	16,00	38,01	55,14
3	-1	+1	-1	-1	73,19	16,28	38,42	55,27
4	+1	+1	-1	-1	65,86	16,07	38,08	55,68
5	-1	-1	+1	-1	68,70	16,09	38,12	57,82
6	+1	-1	+1	-1	63,00	15,85	37,83	57,59
7	-1	+1	+1	-1	74,32	16,29	38,40	57,65
8	+1	+1	+1	-1	67,14	16,08	38,15	57,73
9	-1	-1	-1	+1	72,67	16,27	38,26	56,83
10	+1	-1	-1	+1	68,50	16,05	38,11	55,61
11	-1	+1	-1	+1	74,88	16,30	38,57	56,47
12	+1	+1	-1	+1	67,62	16,10	38,20	55,92
13	-1	-1	+1	+1	70,36	16,15	38,27	57,68
14	+1	-1	+1	+1	64,85	16,02	38,00	57,85
15	-1	+1	+1	+1	75,48	16,38	38,42	57,80
16	+1	+1	+1	+1	69,87	16,19	38,37	57,64
17	-2,00	0	0	0	63,95	15,87	37,92	56,87
18	+2,00	0	0	0	74,03	16,26	38,39	56,93
19	0	-2,00	0	0	65,26	15,98	37,99	55,41
20	0	+2,00	0	0	76,20	16,47	38,68	57,98
21	0	0	-2,00	0	65,15	16,12	38,13	54,48
22	0	0	+2,00	0	61,90	15,06	36,87	58,00

23	0	0	0	-2,00	63,94	15,23	37,10	55,27
----	---	---	---	-------	-------	-------	-------	-------

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
24	0	0	0	+2,00	76,55	16,65	38,72	56,75
25	0	0	0	0	75,83	16,37	38,55	56,70
26	0	0	0	0	75,83	16,37	38,55	56,70
27	0	0	0	0	75,83	16,37	38,55	56,70
28	0	0	0	0	75,83	16,37	38,55	56,70
29	0	0	0	0	75,83	16,37	38,55	56,70
30	0	0	0	0	75,83	16,37	38,55	56,70
31	0	0	0	0	75,85	16,37	38,55	56,70

В результате статистической обработки экспериментальных данных с помощью программы SGWIN получены уравнения регрессии, адекватно описывающие процесс очистки жомопрессовой воды комбинированным физико-химическим способом в импульсном магнитном поле с применением в качестве химического реагента карбонатной суспензии сока II сатурации под влиянием исследуемых факторов:

$$Y_1 = 75,83 - 1,84 \cdot X_1 + 1,15 \cdot X_2 - 2,88 X_3 + 1,71 \cdot X_4 - 1,52 \cdot X_1^2 - 0,33 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,99 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,07 \cdot X_1 \cdot X_4 - 1,08 \cdot X_2^2 + 0,10 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,28 \cdot X_2 \cdot X_4 - 2,19 \cdot X_3^2 - 0,06 \cdot X_3 \cdot X_4 - 1,20 \cdot X_4^2; \quad (1)$$

$$Y_2 = 16,37 - 0,08 \cdot X_1 + 0,03 \cdot X_2 - 0,10 \cdot X_3 + 0,15 \cdot X_4 - 0,05 \cdot X_1^2 + 0,04 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,01 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,01 \cdot X_2^2 + 0,01 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,16 \cdot X_3^2 + 0,01 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,08 \cdot X_4^2; \quad (2)$$

$$Y_3 = 38,55 - 0,11 \cdot X_1 + 0,03 \cdot X_2 - 0,12 \cdot X_3 + 0,17 \cdot X_4 - 0,06 \cdot X_1^2 + 0,03 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,01 \cdot X_2^2 + 0,02 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,02 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,22 \cdot X_3^2 + 0,01 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,12 \cdot X_4^2; \quad (3)$$

$$Y_4 = 56,70 + 0,04 \cdot X_2 + 0,92 \cdot X_3 + 0,26 \cdot X_4 + 0,12 \cdot X_1^2 + 0,11 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,01 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,01 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,05 \cdot X_2^2 + 0,12 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,09 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,04 \cdot X_3^2 - 0,17 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,09 \cdot X_4^2. \quad (4)$$

Анализ этих уравнений позволяет выделить факторы, влияющие на рассматриваемый процесс. Например, чистота жомопрессовой воды (1), полученной при величине давления в зоне прессования 3,0 МПа, в процессе очистки при добавлении суспензии сока II сатурации в количестве 0,5 % к массе воды, обработке ее в импульсном магнитном поле в течение 6 с, значении магнитной индукции 0,20 Тл соста-

вит 75,83 %. Давление в зоне прессования является более значимым фактором, по сравнению с остальными – больший коэффициент по модулю перед X_3 , равный 2,88, далее по значимости идет «продолжительность магнитной обработки», коэффициент перед X_1 равен 1,84. Увеличение этих параметров приводит к снижению чистоты очищенной жомопрессовой воды – знак «-» перед коэффициентами, стоящими у X_1 и X_3 . Увеличение индукции магнитной обработки и количества вносимой суспензии сока II сатурации приведёт к повышению показателя чистоты ЖПВ – знак «+» перед X_2 и X_4 .

Уравнения регрессии (2), (3), описывающие изменения выходных параметров эффектов очистки диффузионного сока и ИУО – Y_2 и Y_3 – имеют подобную значимость факторов. Наиболее значимый – X_4 – количество вносимого химического реагента. Ранее было установлено, что использование суспензии сока II сатурации сказывается не только на качественных показателях очищенной ЖПВ, но и диффузионного сока, вследствие обеспечения наименьшего перехода нес сахаров из свекловичной стружки в процессе диффузии. Использование жомопрессовой воды в качестве экстрагента, полученной при величине давления в зоне прессования 3,0 МПа и очищенной при добавлении суспензии сока II сатурации в количестве 0,5 % к массе воды и обработке ее в ИМП ($\tau = 6$ с, $I_n = 0,20$ Тл), обеспечит эффект очистки на диффузии равный 16,37 % (2) и эффект ИУО – 38,55 % (3). Увеличение давления в зоне прессования при получении ЖПВ и продолжительности магнитной обработки приведут к снижению выходных параметров Y_2 и Y_3 – знак «-» перед коэффициентами, стоящими у X_1 и X_3 . Увеличение индукции магнитной обработки и количества вносимой суспензии сока II сатурации

приведёт к повышению этих выходных параметров – знак «+» перед X_2 и X_4 .

Выход жомопрессовой воды при величине давления в зоне прессования 3,0 МПа из обессахаренной свекловичной стружки, полученной в процессе диффузии, где экстрагент подвергался комбинированной физико-химической очистке (расход суспензии сока II сатурации 0,5 % к массе воды, обработка в ИМП: $\tau = 6$ с, $I_n = 0,20$ Тл), составит 56,70 % к массе жома. Давление в зоне прессования является значимым фактором по сравнению с остальными – больший коэффициент по модулю перед X_3 , равный 0,92. Увеличение этого фактора приведёт к повышению выхода ЖПВ – знак «+» перед X_3 .

Таким образом, в результате выполнения серии опытов по матрице получены экспериментальные данные о влиянии факторов и построена математическая модель процесса, позволяющая рассчитать чистоту жомопрессовой воды, эффект очистки на диффузии и на станции дефекосатурации, выход жомопрессовой воды.

Был проведен выбор оптимальных условий процесса комбинированной физико-химической очистки жомопрессовой воды с использованием метода Харрингтона. Задача

оптимизации процесса очистки жомопрессовой воды с применением суспензии сока II сатурации в условиях импульсной магнитной обработки заключалась в поиске условий, при которых выходные параметры ($Y_1 - Y_4$) достигают максимального значения.

Полученные уравнения регрессии (1)-(4) были использованы для решения задачи оптимизации процесса данной очистки. Для решения задачи оптимизации процессов с большим количеством откликов использована обобщенная функция желательности D . Для построения этой функции преобразованы измеренные значения откликов в безразмерную шкалу желательности d . Построение шкалы устанавливает соотношение между значением отклика Y и соответствующим ему значением d (частная функция желательности).

Частные функции имеют вид:

$$d_1 = \exp [- \exp (- 8,784 + 0,134 Y_1)],$$

$$d_2 = \exp [- \exp (- 19,119 + 1,239 Y_2)],$$

$$d_3 = \exp [- \exp (- 45,575 - 1,216 Y_3)],$$

$$d_4 = \exp [- \exp (- 30,950 + 0,560 Y_4)].$$

Значения этих функций для всех точек плана, определенные по этим формулам с помощью программы MS Excel, приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Значения частных функций и обобщенной функции желательности каждого опыта

Номер опыта	X_1	X_2	X_3	X_4	d_1	d_2	d_3	d_4	D
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-1	-1	-1	-1	0,648	0,0001	0,686	0,465	0,004
2	+1	-1	-1	-1	0,340	0,610	0,592	0,335	0,450
3	-1	+1	-1	-1	0,707	0,705	0,728	0,361	0,602
4	+1	+1	-1	-1	0,395	0,636	0,618	0,445	0,513
5	-1	-1	+1	-1	0,530	0,643	0,632	0,783	0,641
6	+1	-1	+1	-1	0,255	0,551	0,521	0,757	0,485
7	-1	+1	+1	-1	0,742	0,708	0,722	0,764	0,734
8	+1	+1	+1	-1	0,457	0,639	0,643	0,773	0,617
9	-1	-1	-1	+1	0,689	0,702	0,679	0,654	0,681
10	+1	-1	-1	+1	0,521	0,628	0,629	0,431	0,546
11	-1	+1	-1	+1	0,758	0,711	0,767	0,595	0,704
12	+1	+1	-1	+1	0,480	0,646	0,659	0,493	0,564
13	-1	-1	+1	+1	0,602	0,663	0,683	0,768	0,676
14	+1	-1	+1	+1	0,345	0,617	0,589	0,786	0,560
15	-1	+1	+1	+1	0,775	0,734	0,728	0,781	0,754
16	+1	+1	+1	+1	0,581	0,677	0,713	0,763	0,680
17	-2,00	0	0	0	0,301	0,559	0,557	0,659	0,499
18	+2,00	0	0	0	0,733	0,699	0,719	0,669	0,705
19	0	-2,00	0	0	0,365	0,603	0,585	0,390	0,473

20	0	+2,00	0	0	0,793	0,759	0,793	0,800	0,786
----	---	-------	---	---	-------	-------	-------	-------	-------

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	0	0	-2,00	0	0,359	0,653	0,636	0,205	0,418
22	0	0	+2,00	0	0,205	0,205	0,123	0,802	0,254
23	0	0	0	-2,00	0,300	0,277	0,205	0,361	0,280
24	0	0	0	+2,00	0,802	0,802	0,802	0,651	0,761
25	0	0	0	0	0,784	0,732	0,762	0,633	0,725
26	0	0	0	0	0,784	0,732	0,762	0,633	0,725
27	0	0	0	0	0,784	0,732	0,762	0,633	0,725
28	0	0	0	0	0,784	0,732	0,762	0,633	0,725
29	0	0	0	0	0,784	0,732	0,762	0,633	0,725
30	0	0	0	0	0,784	0,732	0,762	0,633	0,725
31	0	0	0	0	0,784	0,732	0,762	0,633	0,725

Обобщенная функция желательности определена по формуле

$$D = \sqrt[4]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \cdot d_4},$$

и приведена в последней графе табл.3.

Оптимальным сочетанием входных факторов исследуемого процесса следует считать то, при котором полученный результат обобщенной функции желательности D имеет наибольший результат.

Для оптимизации процесса очистки жомпрессовой воды с применением суспензии сока II сатурации в условиях импульсной магнитной обработки обобщенная функция желательности имеет максимальное значение в опыте 20 и составляет 0,786. На основании этого результата оптимальным сочетанием входных факторов исследуемого процесса следует считать проведение комбинированной физико-химической очистки жомпрессовой воды при следующих условиях:

- индукция импульсного магнитного поля 0,25-0,30 Тл;
- продолжительность обработки 5,5-6,0 с;
- давление прессования жома для получения ЖПВ 3,0 МПа;
- расход карбонатной суспензии сока II сатурации 0,5 % к массе воды.

Комбинированная очистка жомпрессовой воды сгущенной карбонатной суспензией сока II сатурации и ИМП обеспечила по сравнению с классическим способом:

- увеличение чистоты ЖПВ на 7,7-8,3 %, эффекта очистки на станции диффузии до 16-17 %, эффекта известково-углекислотной очистки до 38-39 %;

- снижение количества азотсодержащих веществ в ЖПВ на 56-58 %, цветности очищенного сока – на 2,0-4,2 усл. ед., содержание солей кальция в соке II сатурации – на 35-40 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голыбин, В.А. Использование магнитного поля для обработки жомпрессовой воды [Текст] / В.А. Голыбин, Ю.И. Зелепукин, А.В. Пономарев, К.К. Горожанкина // Сахар. – 2008. – № 12. – С. 38-40.
2. Голыбин, В.А. О влиянии магнитной обработки на эффективность известково-углекислотной очистки [Текст] / В.А. Голыбин, Ю.И. Зелепукин, А.В. Пономарев, К.К. Горожанкина // Вестник ВГТА. 2008. – № 1. – С. 54-59.