

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ ИЗОМЕРИЗАЦИИ ЛАКТОЗЫ В ЛАКТУЛОЗУ**

### **С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНИОНООБМЕННЫХ СМОЛ И РАСТВОРА ГИДРОКСИДА НАТРИЯ**

**А. Г. Храмцов, А. Д. Лодыгин, С. А. Рябцева,  
А. С. Бессонов, С. В. Лодыгина, М. П. Вершинина**

Представлены результаты исследований эффективности использования гидроксида натрия и анионообменных смол для изомеризации лактозы в лактулозу в растворах молочного сахара. Обоснован выбор анионообменных смол и режимов обработки растворов молочного сахара.

In the article the results of research on efficiency of sodium hydroxide and anion-exchange gums usage for lactose to lactulose isomerisation at solutions of lactulose are represented. The choice of anion-exchange gums and parameters of solutions of lactulose treatment are grounded.

Для поддержания и восстановления нормального биоценоза кишечника человека может применяться лактулоза, признанная на конгрессе Международной Молочной Федерации 1998 года в Дании «бифидус-фактором №1 в мире». Появление новых перспективных направлений развития технологии лактулозы, проведение реакции изомеризации без использования щелочных реагентов требует глубокого изучения для последующего внедрения в промышленность.

Целью исследования явилось изучение процесса изомеризации лактозы в лактулозу в 5%-м растворе молочного сахара-сырца с использованием в качестве регулятора рН среды анионообменных смол АВ-17-8чс, ЭДЭ-10П в ОН-форме и 40%-го раствора гидроксида натрия.

На первом этапе работы было изучено влияние концентрации гидроксида натрия в растворе молочного сахара-сырца на рН-среды. Результаты данной серии экспериментов (средние значения по трем параллельным сериям опытов) представлены в таблице 1. Математическая обработка результатов эксперимента позволила вывести регрессионную зависимость:

$$Y = 1,6633 * \ln(x) + 7,2249 (R^2 = 0,8623), \quad (1)$$

где  $x$  – концентрация NaOH, %;

$Y$  – pH раствора молочного сахара-сырца.

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы.

1. При увеличении концентрации гидроксида натрия pH раствора молочного сахара-сырца увеличивается неравномерно. На первом этапе в пределах дозы внесения раствора NaOH до 0,15% наблюдается резкое возрастание значений pH от 6,02 – 6,1 до 9,65 – 9,95. На втором этапе увеличение количества реагента соответствует незначительному увеличению pH со стабилизацией на уровне 11,5 при дозе внесения раствора NaOH 0,085 – 0,09%.

2. Внесение раствора NaOH в дозах выше 0,3 – 0,4% нецелесообразно, так как их дальнейшее увеличение приводит к перерасходу щелочного реагента при незначительном возрастании pH растворов молочного сахара-сырца.

3. Полученная регрессионная зависимость может использоваться при моделировании процесса щелочной изомеризации лактозы в лактулозу в растворах молочного сахара-сырца.

Таблица 1 – Влияние концентрации гидроксида натрия на рН 5%-го раствора молочного сахара-сырца

№ п/п	Концентрация NaOH, %	рН раствора молочного сахара-сырца
1	0,005	6,082
2	0,01	7,758
3	0,015	9,8
4	0,02	10,328
5	0,025	10,594
6	0,03	10,766
7	0,035	10,902
8	0,04	11,004
9	0,05	11,166
10	0,06	11,280
11	0,07	11,376
12	0,08	11,454
13	0,09	11,520

Безреагентное регулирование рН раствора молочного сахара проводили на анионообменных смолах АВ-17-8чс и ЭДЭ-10П, переведенных в ОН-форму в статических условиях при температуре 20 °С. Соотношение анионообменной смолы – раствор молочного сахара-сырца – составляет 1:3. Измерения рН осуществляли при постоянном перемешивании смолы с раствором молочного сахара-сырца до постоянного значения. Анионообменную обработку растворов молочного сахара проводили двумя способами: 1) с использованием смол, переведенных в ОН-форму с помощью 10%-ного раствора NaOH; 2) на ионообменных смолах, регенерированных водой после однократной обработки раствора молочного сахара.

Средние результаты трех серий параллельных опытов представлены в таблице 2.

Анализ результатов эксперимента позволяет сделать следующие выводы:

1. Ионное равновесие между раствором молочного сахара-сырца и твердой фазой для смолы АВ-17-8чс наступает в среднем за 4 – 6 минут, что на 8 – 10 минут меньше по сравнению с аналогичными показателями для смолы ЭДЭ-10П, причем максимальное значение рН при использовании смолы АВ-17-8чс выше, чем аналогичный показатель для ионита ЭДЭ-10П.

2. Максимального значение pH раствора молочного сахара-сырца уменьшается при повторном использовании анионообменной смолы после регенерации ее водой, но оно достаточно для изомеризации лактозы в лактулозу, т. е. не требуется ее реагентного перевода в ОН-форму после однократного цикла анионообменной обработки раствора молочного сахара.

Таблица 2 – Кинетика регулирования pH растворов молочного сахара на анионообменных смолах

№ п/п	Время, мин	pH раствора при взаимодействии со смолой			
		АВ-17-8чс		ЭДЭ-10П	
		первый способ	второй способ	первый способ	второй способ
1	0	6,16	6,16	6,16	6,16
2	1	10,90	10,41	9,86	9,30
3	2	10,95	10,52	10,06	9,75
4	3	10,96	10,54	10,14	9,83
5	4	10,97	10,55	10,19	9,88
6	6	10,97	10,55	10,24	9,94
7	8	10,98	10,55	10,26	9,97
8	10	10,98	10,55	10,29	9,99
9	12	10,98	10,55	10,30	10,00
10	14	10,98	10,55	10,32	10,01
11	16	10,98	10,55	10,33	10,02
12	18	10,98	10,55	10,33	10,02
13	20	10,98	10,55	10,33	10,03
14	25	10,98	10,55	10,33	10,03

Заключительная серия экспериментов на данном этапе исследований была посвящена изучению изомеризации лактозы в лактулозу реагентным и безреагентным способами. В качестве контролируемых параметров были выбраны степень изомеризации  $S_i$ , % (определяемая поляриметрическим методом), pH среды раствора после изомеризации.

Для этого растворы после анионообменной обработки или внесения в него раствора гидроксида натрия нагревали на водяной бане и термостатировали при заданной температуре, отбирая пробы через каждые 10 мин. Измерение контролируемых параметров проводилось в охлажденных до температуры 20<sup>0</sup>С образцах. Результаты данной серии экспериментов представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты исследований кинетики изомеризации лактозы в лактулозу реагентным и безреагентным способами

№ п/п	Температура, °С	Время термостатирования, мин	Изомеризация с использованием					
			NaOH		Анионообменной смолы			
			рНср	Si ср, %	АВ-17-8чс		ЭДЭ-10П	
					рН ср	Si ср, %	рН ср	Si ср, %
1	50	0	10,95	18,68	11,11	18,72	10,81	20,12
2		10	10,89	20,24	11,06	24,31	10,75	24,32
3		20	10,83	21,70	11,00	25,74	10,70	24,61
4		30	10,78	24,88	10,95	26,96	10,65	26,11
5		40	10,71	24,24	10,87	28,01	10,58	27,95
6		50	10,62	25,23	10,79	28,33	10,52	28,31
7		60	10,51	25,40	10,69	28,77	10,44	28,74
1	60	0	10,80	20,50	11,01	23,40	10,72	21,52
2		10	10,74	21,68	10,94	25,13	10,67	23,48
3		20	10,68	22,50	10,87	26,94	10,61	25,67
4		30	10,60	24,16	10,81	28,16	10,53	28,14
5		40	10,51	25,60	10,71	29,10	10,46	29,61
6		50	10,40	25,07	10,60	29,82	10,38	29,95
7		60	10,29	27,65	10,48	30,53	10,30	29,51
1	70	0	10,75	20,97	10,93	24,81	10,68	22,67
2		10	10,67	22,38	10,79	26,74	10,62	23,43
3		20	10,59	24,79	10,64	28,58	10,54	25,30
4		30	10,49	25,46	10,48	30,18	10,45	29,74
5		40	10,34	27,60	10,35	33,14	10,37	32,26
6		50	10,19	29,89	10,19	34,66	10,26	31,06
7		60	10,02	27,78	9,99	31,37	10,13	29,15
1	80	0	10,76	21,87	10,86	27,19	10,63	26,71
2		10	10,58	25,70	10,65	29,45	10,54	28,42
3		20	10,41	28,55	10,41	32,46	10,45	33,84
4		30	10,00	30,24	10,18	36,50	10,32	32,98
5		40	9,98	32,15	9,97	34,73	10,18	31,74
6		50	9,74	31,72	9,78	31,67	10,01	29,19
7		60	9,50	31,01	9,51	30,41	9,83	28,03

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы.

1. В процессе изомеризации рН раствора молочного сахара уменьшается, причем при увеличении температуры скорость снижения рН увеличивается. В процессе термостатирования скорость снижения рН практически не изменяется или незначительно возрастает.

2. В процессе изомеризации при увеличении температуры степень изомеризации увеличивается. При температурах 70<sup>0</sup>С, 80<sup>0</sup>С при длительном

термостатировании наблюдается уменьшение степени изомеризации, возможно вследствие автокаталитического распада лактулозы.

3. Наибольшая эффективность процесса изомеризация была достигнута при обработке растворов молочного сахара на ионите АВ-17-8чс. По сравнению с реагентной изомеризацией в данном случае наблюдалась более высокая степень изомеризации и меньшее образование побочных продуктов. По отношению к смоле ЭДЭ-10П смола АВ-17-8чс имеет более высокие физико-химические характеристики. Так, при длительном исследовании наблюдалось «шелушение» смолы ЭДЭ-10П, медленно наступало равновесие в системе анионит – раствор молочного сахара-сырца и требовалось большее количество циклов регенерации.

Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию процесса изомеризации лактозы с использованием анионита АВ-17-8чс, а также изучение возможности использования получаемого раствора лакто-лактuloзы в составе бифидогенных препаратов и питательных сред для культивирования бифидобактерий.