

*И.Б.Фролов, Л.Л.Богданова, К.В.Объедков  
Институтмясо-молочнойпромышленности, Минск, РеспубликаБеларусь*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗОМЕРИЗАЦИИ ЛАКТОЗЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПРЕБИОТИЧЕСКОЙ ЛАКТУЛОЗОСОДЕРЖАЩЕЙ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ**

*(Поступила в редакцию 15.12.2014 г.)*

*В данной статье описаны результаты исследований эффективности изомеризации лактозы в лактулозу при изготовлении пребиотической лактулозосодержащей кормовой добавки. В качестве значимых факторов, влияющих на эффективность изомеризации, выбраны температура и продолжительность процесса изомеризации, активная кислотность среды и содержание сухих веществ в молочной сыворотке. В результате исследований установлено, что чем выше температура изомеризации, показатель активной кислотности среды и концентрация сухих веществ в исследуемом диапазоне, тем выше степень изомеризации лактозы в лактулозу.*

**Введение.** Важнейшей проблемой промышленного животноводства является высокий уровень заболеваемости молодняка сельскохозяйственных животных, связанный с нарушением нормального микробиоценоза пищеварительного тракта. Уменьшение количества микроорганизмов кишечной микрофлоры оказывает неблагоприятное воздействие на пищеварение, приводит к снижению иммунологической устойчивости организма и создает условия для развития условно патогенных и патогенных микроорганизмов. В связи с этим необходимость борьбы с энтеропатогенными заболеваниями в настоящее время является актуальной задачей всего животноводства. В последнее время научные исследования направлены на поиск способов повышения бифидогенной активности кормовых добавок. Это связано с тем, что в нормальной микрофлоре кишечника молодняка сельскохозяйственных животных в период молочного вскармливания бифидобактерии составляют от 80 до 90%. Установлено, что бифидобактерии, помимо участия в метаболизме белков, жиров и углеводов, стимулируют перистальтику кишечника, регулируют кислотный баланс, синтезируют биологически активные вещества, подавляют развитие гнилостных и патогенных микроорганизмов. В этой связи использование кормовой

добавки, обогащенной лактулозой, которая, проходя через ЖКТ животного в неизменном виде, служит основным субстратом питания бифидобактерий, является весьма актуальным. Целью наших исследований являлось изучение эффективности изомеризации лактозы в лактулозу при изготовлении пребиотической лактулозосодержащей кормовой добавки.

**Материалы и методы исследований.** В работе использовали следующие материалы: модельные растворы сухой подсырной сыворотки с содержанием сухих веществ 5%, 12,5% и 20%, 10%-ный раствор гидроокиси кальция, 30%-ный раствор лимонной кислоты, 6,4 М раствор серной кислоты, концентрированную творожную сыворотку с массовой долей сухих веществ 18%, сгущенную подсырную сыворотку с массовой долей сухих веществ 37%. Методы исследований: определение сухих веществ молочной сыворотки – по ГОСТ 28562, ГОСТ 3626, активной кислотности – по ГОСТ 26781, массовой доли лактулозы – по МВИ МН 2356 – 2005, массовой доли влаги в кормовой добавке – по ГОСТ 29246, золы – по ГОСТ 15113.8, индекса растворимости – по ГОСТ 30305.4, кислотности в восстановленной до массовой доли сухих веществ 6,5% кормовой добавке – по ГОСТ 30305.3.

**Результаты и их обсуждение.** С целью изучения эффективности изомеризации лактозы в лактулозу были приготовлены модельные растворы подсырной сыворотки с содержанием сухих веществ 5%, 12,5%, 20%. Изомеризацию проводили в течение 10, 20 и 30 мин при температуре 60, 75 и 90 °С. Активную кислотность растворов для проведения изомеризации устанавливали до значений 9, 10 и 11 ед. рН. Заданные температурные режимы поддерживали с помощью водяной бани, ультратермостата и сушильного шкафа. Установление значений активной кислотности растворов контролировали с помощью рН-метра, а продолжительность изомеризации – секундомером. После изомеризации растворы нейтрализовали 30%-ным раствором лимонной кислоты до значений 6,0–6,5 ед.рН. Затем растворы быстро охлаждали в проточной воде до температуры 20 °С. Образовавшийся в результате реакции изомеризации осадок в растворах с массовой долей сухих веществ 12,5% и 20% отделяли центрифугированием при 5000 об/мин в течение 10 мин. Полученную надосадочную жидкость использовали для определения массовой доли лактулозы спектрофотометрическим методом. Из приготовленных изомеризованных растворов делали соответствующие разведения, позволяющие определить массовую долю лактулозы в диапазоне измерений 0,1–0,5%. Для построения градуировочного

графика на спектрофотометре определялась оптическая плотность растворов, содержащих различные концентрации лактулозы. Было установлено, что между концентрацией лактулозы и оптической плотностью раствора имеется линейная зависимость. В программе Excel были рассчитаны коэффициенты и получено уравнение регрессии:

$$C = 20,05 \cdot D - 2,32, \quad (1)$$

где  $D$  – оптическая плотность раствора,  
 $C$  – концентрация лактулозы, %.

Полученная модель является адекватной с коэффициентом детерминации 0,98. В дальнейших исследованиях использовался показатель оптической плотности раствора.

Чтобы проанализировать влияние отдельных, наиболее значимых, факторов на процесс гидролиза молочной сыворотки был реализован план  $B_4$ , который считается одним из наиболее близких к  $D$ -оптимальному. В качестве значимых факторов выбраны температура и продолжительность процесса изомеризации, активная кислотность среды и содержание сухих веществ в молочной сыворотке. В таблице 1 приведены результаты эксперимента, проведенного по указанному плану.

Таблица 1 – Результаты многофакторного эксперимента

Температура изомеризации, Т, °С	Продолжительность изомеризации, t, мин	Активная кислотность среды, АК, ед.рН	Сухие вещества молочной сыворотки, SV, %	Оптическая плотность, D, ед.ОП(с учетом разбавления)		Концентрация лактулозы, %	Степень изомеризации, %
				экспериментальная	расчетная		
X1	X2	X3	X4	Y1	Y1p	-	-
1	2	3	4	5	6	7	8
90	30	11	20	12,395	11,122	7,11	48,0
60	30	11	20	9,092	9,352	5,12	34,6
90	10	11	20	11,232	11,122	6,41	43,3
60	10	11	20	4,883	9,352	2,59	17,5
90	30	9	20	2,499	3,352	1,15	7,8
60	10	9	20	1,604	1,582	0,62	4,2
90	10	9	20	1,160	3,352	0,35	2,4
60	10	9	20	1,533	1,582	0,57	3,9
90	30	11	5	2,779	4,036	1,60	43,2
60	30	11	5	2,714	2,266	1,56	42,2
90	10	11	5	2,572	4,036	1,48	40,0

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
60	10	11	5	1,872	2,266	1,06	28,6
90	30	9	5	1,799	2,487	1,01	27,3
60	30	9	5	0,720	0,717	0,36	9,7
90	10	9	5	1,052	2,487	0,56	15,1
60	10	9	5	0,441	0,717	0,20	5,4
90	20	10	12,5	5,451	5,249	3,05	33,0
60	20	10	12,5	2,143	3,479	1,06	11,5
75	30	10	12,5	4,306	4,364	2,36	25,0
75	10	10	12,5	2,583	4,364	1,32	14,2
75	20	11	12,5	7,162	6,694	4,07	44,0
75	20	9	12,5	1,955	2,034	0,94	10,2
75	20	10	20	7,579	6,352	4,21	28,4
75	20	10	5	2,291	2,377	1,31	35,4

Как следует из полученных результатов, при максимальных значениях выбранных значимых факторов (кислотность среды 11 ед. рН, температура 90 °С, продолжительность изомеризации 30 мин, сухие вещества сыворотки 20%) достигается достаточно высокая степень изомеризации лактозы в лактулозу – 48%.

Планы типа Вп предполагают использование квадратичной модели вида

$$Y(a,x) = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_1^2 + a_6x_2^2 + a_7x_3^2 + a_8x_4^2 + a_9x_1x_2 + a_{10}x_1x_3 + a_{11}x_1x_4 + a_{12}x_2x_3 + a_{13}x_2x_4 + a_{14}x_3x_4 \quad (2)$$

Для расчета коэффициентов полинома воспользовались программой Statistica. Из 14 коэффициентов исследуемого полинома значимыми оказались коэффициенты  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_3$ ,  $a_4$  и  $a_{14}$ . Таким образом, установлено, что продолжительность процесса изомеризации не оказывает существенного влияния на конечное содержание лактулозы в гидролизованной сыворотке. В результате расчетов получена следующая модель зависимости оптической плотности гидролизованной сыворотки от исходного содержания в ней сухих веществ, рН и температуры изомеризации:

$$D = 0,06 \cdot T - 0,26 \cdot AK - 1,81 \cdot SV + 0,21 \cdot AK \cdot SV - 0,75(3)$$

где  $T$  – температура изомеризации, °С;

$AK$  – активная кислотность среды, ед. рН ;

$SV$  – сухие вещества молочной сыворотки, %.

Полученная модель адекватна с коэффициентом детерминации 0,98.

По полученному уравнению в программе MatLab были построены поверхности откликов (рис. 1).

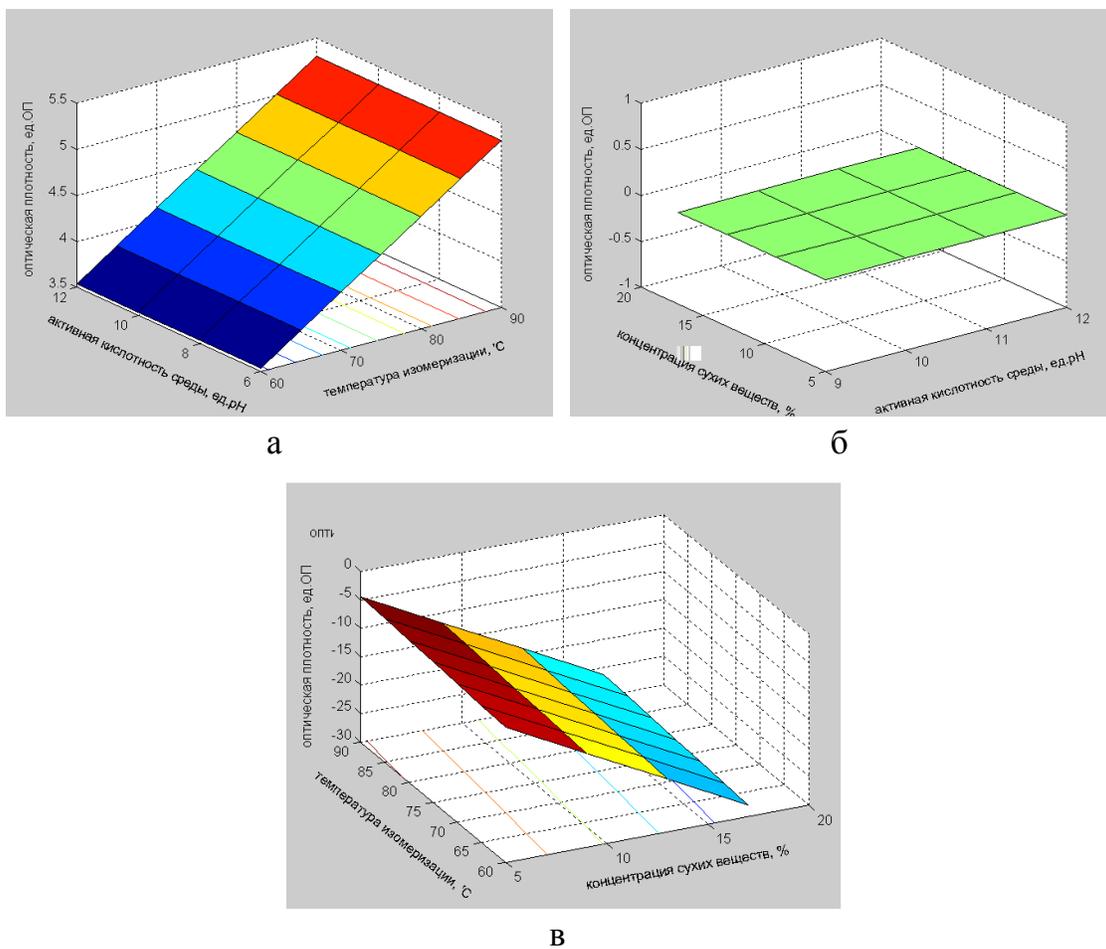


Рисунок 1 – График зависимости оптической плотности раствора от:  
а) температуры изомеризации и активной кислотности среды; б) концентрации сухих веществ и активной кислотности среды; в) концентрации сухих веществ и температуры изомеризации

Из рисунка 1 следует, что все исследованные факторы оказывают положительное влияние на оптическую плотность растворов и, соответственно, на степень изомеризации лактозы в лактулозу. Это значит, что в исследованном диапазоне чем выше значение каждого из факторов, тем выше степень изомеризации лактозы. Для того, чтобы подтвердить или опровергнуть это заключение, по полученному уравнению регрессии в программе MatLab был проведен расчет оптимальных параметров процесса гидролиза молочной сыворотки. Из результатов расчета следует, что чем выше температура изомеризации,

pH среды и концентрация сухих веществ в исследуемом диапазоне, тем выше степень изомеризации лактозы в лактулозу.

**Выводы.** В результате проведенных исследований установлено, что чем выше температура изомеризации, показатель активной кислотности среды и концентрация сухих веществ в исследуемом диапазоне, тем выше степень изомеризации лактозы в лактулозу. Полученные результаты были учтены при разработке технических условий на кормовую лактулозосодержащую добавку и технологической инструкции по ее изготовлению.

*I. Frolov, L. Bogdanova, K. Objedkov*

**RESEARCH ON LACTOSE ISOMERIZATION EFFICIENCY  
IN THE MANUFACTURE OF PREBIOTIC  
LACTULOSE-CONTAINING FEED ADDITIVE**

**Summary**

The study aims to examine the efficiency of isomerization of lactose into lactulose in the manufacture of prebiotic lactulose-containing feed additives. It was found that the higher the isomerization temperature, the value of active acidity of medium as well as solids concentration in the studied range, the higher the degree of isomerization of lactose into lactulose.