

Д.Е. Федоров, Н.А. Комарова, Л.М. Архипова

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ХОЛОДИЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ КРОВИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Данная работа посвящена исследованию кинетики холодильной обработки крови крупного рогатого скота. Проведены эксперименты по замораживанию и размораживанию крови крупного рогатого скота при различной толщине слоя образца. На основании проведенных исследований получены графики зависимости температуры в центре образца по времени. Приведенные температурные кривые процессов заморозки и разморозки крови разбиты на три этапа, установлена продолжительность каждого из этапов в зависимости от толщины исследуемого образца. По полученным графикам установлена криоскопическая температура крови. С помощью математического анализа получены полиномиальные уравнения второй и третьей степени, описывающие поведение температурных кривых на различных этапах холодильной обработки крови крупного рогатого скота.

Кровь, замораживание, температурные кривые, криоскопическая температура, математическое моделирование.

Введение

Кровь убойных животных по своим биохимическим показателям является крайне полезным сырьем, используемым для переработки на пищевые, кормовые, медицинские и технические продукты [1]. Ценность крови, получаемой при убойе животных, обусловлена наличием в ней большого количества витаминов, минеральных солей, гормонов и особенно белковых веществ, содержание которых в крови сопоставимо с таковым у мяса, что дает возможность использовать данное сырье в мясной промышленности при производстве кровяных колбас, паштетов, зельцев, консервов и т.д. Продукты, получаемые из крови животных, характеризуются высокими качественными показателями, хорошей усвояемостью и меньшей себестоимостью. В кондитерской промышленности кровь убойных животных применяется как

Показатель	Возраст, мес.		
	8	14	20
Эритроциты, $10^{12}/л$	7,98	7,04	6,33
Лейкоциты, $10^9/л$	8,61	8,06	6,73
Гемоглобин, г/л	116,50	118,25	130,75
Кальций, ммоль/л	2,09	1,84	2,39
Фосфор, ммоль/л	2,17	1,91	2,16
Кислотная емкость, ммоль/л	112,0	109,50	112,50
Каротин, ммоль/л	0,31	0,11	0,27
Общий белок, г/л	82,12	76,38	75,95
Альбумины, г/л	39,15	36,12	34,7
Глобулины, г/л	42,97	40,25	41,25

полноценный заменитель яичного белка, а также при производстве сахаристых взбитых кондитерских изделий и сухих фитозэкстрактов.

Из пищевых продуктов, изготавливаемых на основе крови животных, стоит также отметить пищевой альбумин, получаемый путем обезвоживания дефибрированной или стабилизированной крови или эритроцитной массы (темный пищевой альбумин) либо путем обезвоживания плазмы крови или ее сыворотки (светлый пищевой альбумин). Функциональные продукты питания, аналогичные по свойствам кисломолочным и характеризующиеся высокой биологической ценностью, изготавливаются с применением плазмы крови животных как полноценного источника белков [2]. Кровяная мука явля-

ется ценным кормовым продуктом и может применяться как заменитель рыбной муки [3]. При этом стоит отметить, что использование крови как кормового продукта в рационе питания сельскохозяйственных животных повышает привес при откорме.

Ассортимент лечебных препаратов, получаемых из крови убойных животных, включает в себя достаточно широкую номенклатуру. Наиболее распространенным препаратом является гематоген, производимый в сухом и жидком виде. Фибриноген, присутствующий в крови, является основой изготовления фибринных пленок, применяемых при кровотечениях и ожогах. Путем гидролиза белков крови убойных животных получают препараты для парентерального питания (белковые гидролизаты): фибриносол, аминокептид, р-р гидролизин и т.д.

На показатели крови крупного рогатого скота влияет множество факторов: возраст, условия содержания, экологическая обстановка и т.д. В табл. 1 приведены средние значения морфологических и биохимических показателей крови быков чернопестрой породы [4].

Таблица 1

Морфологические и биохимические показатели крови крупного рогатого скота

В случаях, когда возникает необходимость хранения пищевой крови до переработки, ее консервируют поваренной солью (5–10 % к массе), что дает возможность продлить сроки хранения до 5 суток. Для этих целей также применяют раствор аммиака (10 мл на 1 кг крови). Такой способ консервирования позволяет хранить кровь в течение месяца, однако при этом возникает необходимость удаления аммиака перед применением. Все эти способы обладают рядом недостатков, которые устраняются при использовании метода низкотемпературного хранения. Замораживание является одним из самых прогрессивных способов консервирования, позволяющих в значительной мере повысить сроки годности

крови при сохранении всех ее биохимических показателей. Пищевую кровь обычно замораживают до температуры не выше минус 10 °С, что продлевает сроки ее хранения до 6 месяцев и более. При этом большое влияние оказывают температурно-временные режимы заморозки крови.

Целью настоящей работы является анализ кинетики заморозки и разморозки крови крупного рогатого скота. Основными задачами в рамках данной цели являются выявление криоскопической температуры и математическое моделирование процессов заморозки и разморозки на основе полученных температурных кривых. Исследование кинетики необходимо для разработки технологических режимов холодильной обработки крови убойных животных.

Материалы и методы исследований

Для проведения экспериментальных исследований был использован низкотемпературный холодильник для хранения препаратов крови и биоматериалов КНХ-10-70-1 (рис. 1). Диапазон рабочих температур данной холодильной установки составляет минус 40–70 °С, потребляемая мощность 300 Вт.



Рис. 1. Внешний вид холодильной установки КНХ-10-70-1

В данном агрегате применяется двухкаскадная схема холодильной установки (рис. 2). В верхнем каскаде циркулирует хладагент R507, в нижнем – R508a. В обоих каскадах реализован простейший холодильный цикл испаритель – компрессор – конденсатор – дроссель. Конденсатор-испаритель 4 служит для отвода теплоты испарения хладагента верхнего каскада. В нижнем каскаде установлен расширительный сосуд 8 для предотвращения опасности чрезмерного повышения давления при остановке машины.

Объектом исследований служила кровь крупного рогатого скота. Опыты проводили три раза при толщине слоя образца 3, 5 и 7 мм. Температуру измеряли в середине образца с помощью термопар и 8-канального измерителя температуры ОВЕН ТРМ138. По полученным данным строили графики зависимости температуры образца от времени.

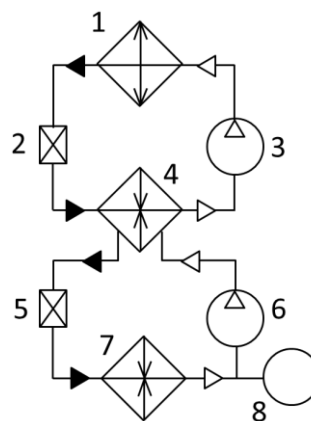


Рис. 2. Упрощенная схема двухкаскадной холодильной машины: 1 – конденсатор высокой ступени; 2, 5 – дроссельный вентиль; 3 – компрессор высокой ступени; 4 – конденсатор-испаритель; 6 – компрессор низкой ступени; 7 – испаритель низкой ступени; 8 – расширительный сосуд

Результаты и их обсуждение

На рис. 3 представлены графики зависимости температуры в центре образца крови при замораживании.

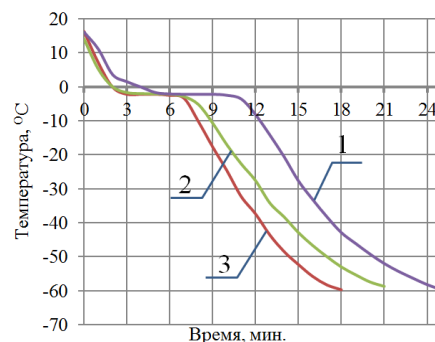


Рис. 3. Зависимость температуры крови от времени в процессе замораживания при толщине образца: 1 – 7 мм; 2 – 5 мм; 3 – 3 мм

Из полученных графиков весь процесс заморозки можно условно разделить на три этапа. На первом этапе образец охлаждается с постоянной скоростью до криоскопической температуры. Для образцов с толщиной слоя 3 и 5 мм это время составило соответственно 3 и 4 мин, при толщине слоя 7 мм кровь охлаждалась до криоскопической температуры за 9 мин.

На втором этапе на температурных кривых наблюдается пологая площадка (см. рис. 3), соответствующая переходной фазе воды между жидкостью и льдом, охлаждение на данном этапе не вызывает изменений в температуре образца. В течение данного промежутка времени из крови выделяется скрытая теплота плавления, которая равна 332,43 Дж. Гипотетически это тепло уходит на образование межмолекулярной структуры. Из кривых, представленных на рис. 3, по пологой площадке была установлена криоскопическая температура крови, которая составила минус 2,2 °С. Время выделения скрытой теплоты плавления для всех образцов было равно (3,5±0,5) мин.

После перехода крови в твердое состояние начинается третий этап заморозки, характеризующийся

постепенным снижением скорости изменения температуры. Опыт по замораживанию был остановлен при достижении температуры в образце минус 60 °С. Время замораживания крови до данной температуры составило 25, 21 и 18 мин для образцов с толщиной слоя 7, 5 и 3 мм соответственно.

С помощью программы MS Excel были получены математические полиномиальные уравнения второй степени, описывающие температурные кривые на третьем этапе заморозки, которые выглядят следующим образом:

$$t_1 = 0,3074\tau^2 - 9,2814\tau - 6,6886, R^2 = 0,9990; \quad (1)$$

$$t_2 = 0,166\tau^2 - 6,9391\tau + 6,9422, R^2 = 0,9961; \quad (2)$$

$$t_3 = 0,231\tau^2 - 7,806\tau + 5,7167, R^2 = 0,9981, \quad (3)$$

где t_1, t_2, t_3 – температура в образце с толщиной слоя 3, 5 и 7 мм соответственно, °С; τ – время от начала третьего этапа заморозки, мин; R^2 – достоверность аппроксимации.

Уравнения (1), (2), (3) позволяют определить температуру образца крови в данный момент времени на третьем этапе заморозки, когда температура начинает падать ниже криоскопической. Рассмотрим это на примере определения температуры крови через 6 мин после начала падения температуры ниже криоскопической при толщине слоя 3 мм. Подставив в уравнение (1) время (τ), равное 6, получаем $t_1 = -37,93$ °С. В данном случае третий этап начинался через 6 мин после начала заморозки, таким образом, общее время составляло 12 мин. Сравнивая значение температуры на рис. 3 через 12 мин после начала заморозки образца толщиной 3 мм с расчетным ($-37,93$ °С), можно заметить, что они практически совпадают. Данные математические уравнения могут быть полезны при моделировании процессов заморозки крови.

Температурные кривые разморозки крови изображены на рис. 4.

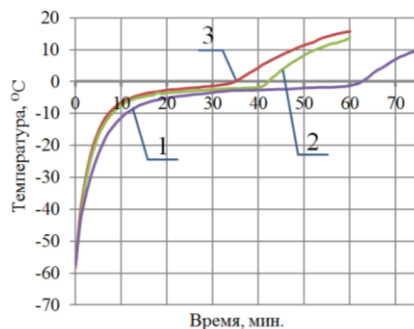


Рис. 4. Зависимость температуры крови от времени в процессе размораживания при толщине образца: 1 – 7 мм; 2 – 5 мм; 3 – 3 мм

Из графиков, представленных на рис. 4, процесс разморозки крови можно также условно разбить на три этапа. На первом этапе наблюдается наибольшая скорость разморозки, что связано с интенсивным теплообменом между кровью и окружающей средой,

на графиках этот процесс представлен экспоненциальной кривой. Образцы крови с толщиной слоя 3, 5 и 7 мм достигли криоскопической температуры в минус 2,2 °С в центре образца соответственно через 23, 32 и 47 мин.

На втором этапе разморозки площадка на кривых, соответствующая выделению скрытой теплоты плавления, менее пологая в отличие от случая с замораживанием. Длительность второго этапа разморозки составила 12, 10 и 15 мин для образцов с толщиной слоя 3, 5 и 7 мм соответственно. Температура в центре образцов с толщиной слоя 3 и 7 мм на протяжении данного этапа повышается до минус 0,5 °С, для образца толщиной 5 мм температура на втором этапе повысилась до минус 1,4 °С.

После этого на графиках наблюдается заметный скачок скорости нагрева образцов, что обусловлено разрушением межмолекулярной структуры льда и переходом крови в жидкое состояние. Опыты по разморозке прекращались при достижении температуры в центре образцов 10–16 °С. Характер кривой разморозки образца с толщиной слоя 5 мм был схож с таковым у образца толщиной 3 мм. При этом в процессе заморозки на первых двух этапах температурные кривые образцов толщиной 3 и 5 мм также практически совпадают (см. рис. 3).

Для математического моделирования температурных кривых на первом этапе разморозки до достижения криоскопической температуры были получены полиномиальные уравнения третьей степени:

$$t_1 = 0,0135\tau^3 - 0,683\tau^2 + 11,139\tau - 4,225 + t_0, R^2 = 0,9773; \quad (4)$$

$$t_2 = 0,004\tau^3 - 0,2974\tau^2 + 6,972\tau + 4,065 + t_0, R^2 = 0,9412; \quad (5)$$

$$t_3 = 0,0016\tau^3 - 0,1574\tau^2 + 4,8693\tau + 6,964 + t_0, R^2 = 0,9465, \quad (6)$$

где t_1, t_2, t_3 – температура в образце с толщиной слоя 3, 5 и 7 мм соответственно, °С; τ – время от начала разморозки, мин; t_0 – температура в начале разморозки, °С; R^2 – достоверность аппроксимации.

Температурные кривые на третьем этапе разморозки были описаны полиномиальными уравнениями второй степени:

$$t_1 = t_0 - 0,0131\tau^2 + 0,9889\tau - 0,9996, R^2 = 0,9996; \quad (7)$$

$$t_2 = t_0 - 0,0287\tau^2 + 1,3170\tau - 1,3436, R^2 = 0,9985; \quad (8)$$

$$t_3 = t_0 - 0,0248\tau^2 + 1,1622\tau - 0,7748, R^2 = 0,9986, \quad (9)$$

где t_1, t_2, t_3 – температура в образце с толщиной слоя 3, 5 и 7 мм соответственно, °С; τ – время от начала третьего этапа разморозки, мин; t_0 – температура в

начале третьего этапа разморозки, $^{\circ}\text{C}$; R^2 – достоверность аппроксимации.

Стоит отметить, что меньшая достоверность аппроксимации в уравнениях (5), (6), (8), (9) для образцов толщиной 5 и 7 мм вызвана погрешностями измерения температуры, которые непосредственным образом сказываются на температурных кривых. Полученные уравнения описывают идеальные процессы изменения температуры образцов.

Таким образом, в результате проведенных исследований были получены температурные кривые за-

морозки и разморозки крови крупного рогатого скота при различной толщине слоя. Была установлена криоскопическая температура крови, которая составила минус 2,2 $^{\circ}\text{C}$. С помощью математического анализа были получены уравнения, описывающие изменение температуры крови по времени на различных этапах холодильной обработки. Приведенные результаты исследований могут быть использованы при разработке технологических режимов заморозки пищевой крови крупного рогатого скота.

Список литературы

1. Гринюк, А.В. Использование жидкого азота в технологии сублимационной сушки крови / А.В. Гринюк, О.В. Кригер // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 4. – С. 33–37.
2. Изгарышева, Н.В. Преимущества использования вторичного сырья мясной промышленности в технологии кислородных коктейлей / Н.В. Изгарышева, О.В. Кригер, В.А. Жданов // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 1. – С. 27–31.
3. Петрушенко, Ю. Плазма крови вместо рыбной муки / Ю. Петрушенко, С. Гусейнов // Животноводство России. – 2010. – № 3. – С. 35–36.
4. Ляпина, В.О. Морфологические и биохимические показатели крови молодняка крупного рогатого скота при различных условиях его содержания / В.О. Ляпина, Е.А. Ажмулдинов, Н.Ф. Белова, М.Г. Титов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2006. – № 2. – С. 136–138.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт
пищевой промышленности»,
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.
Тел./факс: (3842) 73-40-40
e-mail: office@kemtipp.ru

SUMMARY

D.E. Fedorov, N.A. Komarova, L.M. Arhipova

RESEARCH ON KINETICS OF REFRIGERATION PROCESSING OF CATTLE BLOOD

The work is devoted to the research on the kinetics of refrigeration processing of cattle blood. Experiments on freezing and defrosting of the cattle blood have been done at various thickness of the sample layer. On the basis of the carried-out researches the graphs of temperature dependence against time in the center of the sample have been plotted. The given temperature curves of blood freezing and defrosting are divided into three stages. The duration of each of the stages depending on the thickness of the studied sample has been established. According to the graphs plotted the cryoscopic blood temperature has been established. The polynomial equations of the second and the third degrees describing the behavior of the temperature curves at various stages of refrigeration processing of cattle blood have been obtained by means of mathematical analysis.

Blood, freezing, temperature curves, cryoscopic temperature, mathematical modeling.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia
Phone/Fax: +7(3842) 73-40-40
e-mail: office@kemtipp.ru