

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЯДЕРНО-МАГНИТНОЙ РЕЛАКСАЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ВЛАГИ В ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТАХ

Верещагина А.П., *канд. техн. наук*; Агафонов О.С., *канд. техн. наук*;
Корнен Н.Н., *канд. техн. наук*

ФГБНУ «Краснодарский научно-исследовательский институт хранения
и переработки сельскохозяйственной продукции», г.Краснодар

В рамках инновационного пути развития молочной отрасли проводятся научные исследования по расширению ассортимента продуктов маслоделия и сыроделия, сбалансированных по составу и содержанию физиологически функциональных ингредиентов с учетом потребностей различных возрастных групп населения.

Ассортимент сыров и сырных продуктов можно расширить за счет применения в их составе биологически активных добавок, содержащих витамины, фосфолипиды, макро- и микроэлементы, пищевые волокна, полиненасыщенные жирные кислоты и др. функциональные ингредиенты.

Разработка пищевого продукта предусматривает обеспечение его высоких потребительских свойств, в том числе в процессе хранения.

В связи с этим выбор сочетаний, форм, способов и стадий внесения обогащающих добавок должен проводиться с учетом возможного химического взаимодействия функциональных ингредиентов, содержащихся в добавке, с компонентами, входящими в состав продукта, обеспечивать формирование требуемых показателей качества и безопасности, а также их стабильность в процессе хранения.

Особая роль в формировании консистенции сыров и сырных продуктов в процессе их производства отводится воде, которая представлена различными ее состояниями, формой и энергией связи [1].

Для оценки влияния биологически активных добавок на формирование органолептических показателей сырных продуктов, определяли изменение содержания отдельных форм связи влаги в сырных продуктах методом ядерно-магнитной релаксации, относящимся к современным эффективным и безопасным методам исследований. В работе использовали импульсную методику детектирования ЯМР, которая является наиболее перспективной модификацией метода [2].

Ядерно-магнитные релаксационные характеристики протонов воды в сыре и сырных продуктах, позволяют определить содержание свободной, слабо-связанной, связанной и прочносвязанной форм влаги.

Для определения форм связи влаги в сырных продуктах исследовали ЯМ-релаксационные характеристики протонов воды в контрольном образце сыра (без добавок) и обогащенных биологически активными добавками образцах сырных продуктов.

Релаксационные характеристики протонов воды определяли с использованием импульсного метода Карра-Парселла-Мейбума-Гилла на ЯМР-анализаторе с управлением и обработкой результатов на базе персонального компьютера. Погрешность измерения амплитуд сигналов ЯМР не более $\pm 0,1$ %, времени спин-спиновой релаксации протонов воды (T_{2i}) в диапазоне от 5 до 500 мс не более $\pm 0,5$ %. Для исследования ядерно-магнитных релаксационных характеристик образцы продуктов массой 25 г термостатировали при температуре 23 °С в течение 1 часа и анализировали.

Для анализа данных импульсного ЯМР был использован разработанный во ВНИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта метод обработки сигналов ядерно-магнитной релаксации, который позволяет с достаточной достоверностью описать сигналы спинового эха и связать параметры полученной модели с рядом параметров, характеризующих химический состав исследуемых объектов. При исследовании ядерно-магнитных релаксационных характеристик протонов воды использовали специальные программы.

Минимальные значения суммы квадратов разности между экспериментальными и модельными данными при температуре образцов 23 °С были получены для четырехэкспоненциальной функции.

Можно предположить, что для всех исследуемых образцов протоны воды образуют четыре компоненты с различными временами спин-спиновой релаксации T_{2i} .

В таблицах 1 и 2 приведены значения времен спин-спиновой релаксации и амплитуды ЯМР сигналов протонов воды исследуемых продуктов – контрольного образца сыра и образцов сырных продуктов, обогащенных фосфолипидной БАД «Витол-Холин» и полисахаридно-витаминно-минеральной БАД, полученной из вторичных ресурсов, образующихся при переработке тыквы на пюре.

Таблица 1

Влияние БАД на времена спин-спиновой релаксации протонов воды в продуктах

Наименование показателя	Значение показателя для сырного продукта		
	Контрольного (без БАД)	Обогащенного БАД:	
		фосфолипидной	полисахаридно-витаминно-минеральной
Время спин-спиновой релаксации протонов воды компонент (T_{2i}), мс:			
первой компоненты (T_{20})	$1,10 \cdot 10^{-5}$	$1,40 \cdot 10^{-5}$	$1,30 \cdot 10^{-5}$
второй компоненты (T_{21})	$1,10 \cdot 10^{-3}$	$1,70 \cdot 10^{-3}$	$1,60 \cdot 10^{-3}$
третьей компоненты (T_{22})	$3,30 \cdot 10^{-2}$	$4,60 \cdot 10^{-2}$	$4,00 \cdot 10^{-2}$
четвертой компоненты (T_{23})	$1,25 \cdot 10^{-1}$	$1,56 \cdot 10^{-1}$	$1,35 \cdot 10^{-1}$

Из приведенных данных видно, что вода в сырных продуктах находится в четырех состояниях, при этом первая компонента, имеющая более низкое время спин-спиновой релаксации, характеризует протоны воды, находящиеся в прочносвязанном состоянии, время спин-спиновой релаксации, соответствующее

второй компоненте, характеризует связанное состояние протонов воды. Время на спин-спиновой релаксации, соответствующие третьей и четвертой компонентам, характеризуют состояние протонов воды в слабосвязанном и свободном состоянии.

Таблица 2

Влияние БАД на амплитуды сигналов протонов воды в продуктах

Наименование показателя	Значение показателя для сырного продукта		
	Контрольного (без БАД)	Обогащенного БАД:	
		фосфолипидной	полисахаридно-витаминно-минеральной
Амплитуда сигналов протонов воды, A_i , усл.ед.:			
A_0	133,2	160,0	140,0
A_1	1280,8	1382,0	1188,4
A_2	520,0	405,0	437,9
A_3	215,0	106,0	157,2
$A_{сис}$	2149,0	2053,0	1924,0

Известно, что амплитуда ЯМР сигналов протонов воды каждой компоненты характеризует долю каждой компоненты воды в общем ее содержании, учитывая это, рассчитывали долю различных форм воды (влаги) в сырных продуктах.

Полученные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3

Влияние БАД на содержание воды с различными формами связи в продуктах

Наименование показателя	Значение показателя для сырного продукта		
	Контрольного (без БАД)	Обогащенного БАД:	
		фосфолипидной	полисахаридно-витаминно-минеральной
Содержание различных форм воды, % к общему содержанию влаги:			
прочносвязанная (A_0)	6,2	7,8	7,5
связанная (A_1)	59,6	67,3	65,5
слабосвязанная (A_2)	24,2	19,7	21,2
свободная (A_3)	10,0	5,2	5,8

Следует отметить, что содержание прочносвязанной и связанной влаги в продуктах, обогащенных добавками, выше на 11-14 % по сравнению с контрольным образцом, при этом в сырном продукте, обогащенном фосфолипидной БАД этот показатель выше по сравнению с продуктом, обогащенным полисахаридно-витаминно-минеральной добавкой. Это объясняется тем, что в фосфолипидной БАД «Витол-Холин» отмечено высокое содержание фосфатидилхолинов (76,10 % от общего содержания фосфолипидов), обладающих высокой влагоудерживающей способностью по сравнению с другими группами фосфолипидов.

Следует отметить, что наличие в составе полисахаридно-витаминно-минеральной БАД пищевых волокон (26,84 % от общего содержания углеводов) и белков (13,60 %) обуславливает ее достаточно высокую влагоудерживающую способность.

Таким образом, метод ЯМ-релаксации позволяет определить эффективность влияния БАД на влагоудерживающую способность сырных продуктов.

Кроме этого, следует отметить, что снижение в общем содержании влаги в продукте, обогащенном БАД, ее свободных и слабосвязанных форм позволит обеспечить более стабильные микробиологические показатели такого продукта в процессе хранения и увеличить сроки его годности.

Литература

1. Твердохлеб, Г.В., Химия и физика молока и молочных продуктов / Г.В.Твердохлеб, Р.Раманаускас / М.: ДеЛи принт, 2006. – 360 с.
2. Чижик, В.И. Ядерная магнитная релаксация/ В.И.Чижик – Л.: ЛГУ, 1991. – 256 с.