МРНТИ 65.33.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.4.29-1239**

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СОСТАВА ЗЛАКОВЫХ КУЛЬТУР С МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

М.Т. Агедилова, Ж.Т. Ботбаева, А.М. Омаралиева

АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова», Астана, Казахстан

Корреспондент-автор: amt5@yandex.ru

В статье рассматривается исследование качества и подлинности сырья пшеничной, рисовой и гречневой муки, а также рисовой и гречневой мучки с помощью методом ИК-Фурье спектроскопии. Применение такой молекулярной оптической спектроскопии как ИК-спектр в пищевых отраслях в целях структурно-группового анализа и полной идентификации чистых веществ и малокомпонентных смесей, и определения их концентраций имеет большую значимость. Инфракрасная спектроскопия дает возможность установить строение молекул различных пищевых продуктов, которые содержат органические и неорганические вещества. По числу и положению пиков в ИК-спектрах поглощение можно судить о характеристике веществ (качественные анализ), а по интенсивности полос поглощения - о количестве веществ (количественный анализ). Максимум ИК-поглощения: рисовая и гречневая - 2925,7 см ^{1}, пшеничная - 2927,7 см ^{1} (–CH_2–). Смещение отражает различия в структуре и межмолекулярных взаимодействиях. ИК-спектры позволяют различать виды муки и оценивать состав белков и крахмала.

Цель исследования - применение метода ИК-Фурье спектроскопии для анализа химического состава пшеничной, рисовой и гречневой муки и мучки с выявлением характерных полос поглощения, соответствующих различным функциональным группам, что позволит провести сравнительный составной анализ и оценить их пищевую ценность.

Ключевые слова: ИК-спектроскопия, пшеница, рисовая и гречишная мука, рисовая и гречишная мучка.

ИҚ-СПЕКТРОСКОПИЯСЫ АРҚЫЛЫ ДӘНДІ ДАҚЫЛДАРДЫҢ ҚҰРАМЫН АНЫҚТАУ

М.Т. Агедилова, Ж.Т. Ботбаева, А.М. Омаралиева

«Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті» АҚ, Астана, Қазақстан, e-mail: amt5@yandex.ru

Мақалада ИҚ-спектроскопиясы әдісімен бидай, күріш және қарақұмық ұнының, сондай-ақ күріш пен қарақұмық ұнының шикізатының сапасы мен түпнұсқалығын зерттеу қарастырылған. Тамақ өнеркәсібінде ИҚ-спектрі сияқты молекулалық оптикалық спектроскопияны құрылымдық-топтық талдау және таза заттар мен төмен компонентті қоспаларды толық анықтау және олардың концентрациясын анықтау мақсатында қолданудың маңызы зор.

Инфрақызыл спектроскопия құрамында органикалық және бейорганикалық заттар болуы әртүрлі тағам өнімдерінің молекулаларының құрылымын анықтауға мүмкіндік береді.

ИҚ-спектрінде жұтылу шыңдардың саны мен орнын заттардың сипаттамаларын бағалау үшін (сапалық талдау), ал жұту жолақтарының қарқындылығын заттардың санын бағалау үшін пайдалануға болады (сандық талдау). Максималды инфрақызыл сіңіру: күріш пен қарақұмық - 2925,7 см ^{1}, бидай - 2927,7 см ^{1} (–CH_2–) бұл ауысу құрылымдағы және молекулааралық әрекеттесудегі айырмашылықтарды көрсетеді. ИҚ-спектрлері ұн түрлерін ажыратуға және белок пен крахмал құрамын бағалауға мүмкіндік береді.

Зерттеудің мақсаты бидай, күріш және қарақұмық ұнының және қарақұмық жармасының химиялық құрамын талдау үшін ИҚ-спектроскопия әдісін қолдану болды, әртүрлі функционалды топтарға сәйкес келетін тән сіңіру жолақтарын анықтау, бұл салыстырмалы композициялық талдауға және олардың тағамдық құндылығын бағалауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: ИҚ-спектроскопия, бидай, күріш және қарақұмық ұны, күріш және қарақұмық ұн ұнтағы.

IDENTIFICATION OF THE COMPOSITION OF CEREAL CROPS USING IR SPECTROSCOPY

M.T. Agedilova✉, J.T. Botbayeva, A.M. Omaraliyeva

JSC "K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business", Astana, Kazakhstan, e-mail: amt5@yandex.ru

The article examines the study of the quality and authenticity of raw materials of wheat, rice and buckwheat flour, as well as rice and buckwheat flour using the method of IR- spectroscopy. The use of molecular optical spectroscopy, such as IR spectrum in the food industry for the purposes of structural-group analysis and complete identification of pure substances and low-component mixtures and determination of their concentrations is of great importance.

Infrared spectroscopy makes it possible to determine the structure of molecules of various food products that contain organic and inorganic substances.

The number and position of peaks in the IR absorption spectra can be used to judge the characteristics of substances (qualitative analysis), and the intensity of absorption bands can be used to judge the quantity of substances (quantitative analysis). Maximum IR absorption: rice and buckwheat – 2925.7 cm ^{1}, wheat – 2927.7 cm ^{1} (–CH_2–). The shift reflects differences in structure and intermolecular interactions. IR spectra allow us to distinguish between flour types and assess the protein and starch composition.

The aim of the study was to use the IR-spectroscopy method to analyze the chemical composition of wheat, rice and buckwheat flour and buckwheat meal, identifying characteristic absorption bands corresponding to different functional groups, which will allow for a comparative compositional analysis and assessment of their nutritional value.

Keywords: IR spectroscopy, wheat, rice and buckwheat flour, rice and buckwheat flour.

Введение. Современные тенденции в пищевой промышленности требуют внедрения высокоэффективных и неразрушающих методов анализа для оценки качества сырья и готовой продукции. Инфракрасная спектроскопия (ИКС) является одним из таких методов, позволяющим быстро и точно определять химический состав продуктов питания. Особенно актуально применение ИКС для анализа муки и мучных изделий, поскольку это позволяет оценить содержание углеводов, белков, жиров и других компонентов, что непосредственно влияет на питательную ценность и технологические свойства продукции.

В последние годы все большее распространение в исследовании качества и подлинности сырья и продуктов находит метод ИК-Фурье спектроскопии. Спектральный анализ является физическим методом, который определяет качественный и количественный анализ состава вещества на основе изучения спектров [1]. Глубокое обучение становится всё более популярным инструментом в различных научных областях. В области инфракрасной спектроскопии, где идентификация функциональных групп в неизвестных соединениях представляет собой серьёзную проблему, растёт потребность в инновационных подходах к оптимизации и совершенствованию процессов анализа. В данном исследовании представлена иидентификация состава злаковых культур: риса и гречихи, а также их «полуфабрикатов» - рисовой муки и мучки, гречишной муки и мучки с методом ИК-спектроскопии.

В настоящее время в питании человека все большее внимание уделяется производству пищевых продуктов питания, обогащенных различным сырьем, богатым биологически активными веществами. По экономическим соображениям пищевые предприятия могут фальсифицировать содержание в продуктах различными добавками, которые являются более дешевыми ингредиентами. Решение проблемы обнаружения

фальсификации сырья в продуктах требует соответствующих методов идентификации, направленных на достижение безопасности и качества реализуемого сырья и пищевой продукции. Важной задачей является разработка объективных методов идентификации видовой принадлежности компонентов, входящих в состав сырья и готовых продуктов. Метод ИК-спектроскопия имеет ряд преимуществ, так как можно исследовать любые образцы, в любой форме и агрегатном состоянии - твердые и жидкие, порошки и пасты, гранулы, суспензии, волокна и т.д. [2].

ИК-Фурье спектроскопия идентифицирует значения характеристических частот в спектре, соответствующих химическому составу образца, и определяют сравнительную подлинность пищевого готового продукта или сырья по табличным спектральным данным для эталонного образцового сырья.

Экспериментальным результатом в ИК-спектроскопии является инфракрасный спектр (ИК-спектр) - функция интенсивности пропущенного инфракрасного излучения от его частоты. Инфракрасная спектроскопия дает возможность установить строение молекул различных пищевых продуктов, которые содержат органических и неорганических веществ. По числу и положению пиков в ИК-спектрах поглощения можно судить о характеристике веществ (качественный анализ), а по интенсивности полос поглощения - о количестве веществ (количественный анализ). Так как в инфракрасной области расположено большинство колебательных и вращательных спектральных данных изучаемых образцов.

Применение молекулярной оптической спектроскопии как ИК-спектр в пищевых отраслях в целях структурно-группового анализа и полной идентификации веществ и малокомпонентных смесей, и определения их концентраций имеет большую значимость [3].

Существенная роль ИК-спектроскопии в анализе пищевых продуктов и сырья объясняется тем, что качественная интерпретация спектров достаточно проста. При интерпретации колебательных спектров пищевых продуктов и сырья очень важным приближением является анализ характеристических частот колебаний, т.е. таких колебаний, которые можно отнести к определенной группе атомов независимо от того, какой макромолекуле эта группа принадлежит [4].

Исследование объектов - пищевых продуктов в ИК-спектре дает возможность связать частоты поглощения с наличием в образце определённых молекулярных фрагментов в экспериментальной информации.

Целью исследований является применение метода ИК-Фурье спектроскопии для анализа химического состава пшеничной, рисовой и гречневой муки, а также их мучки. Исследование направлено на выявление характерных полос поглощения, соответствующих различным функциональным группам, что позволит провести сравнительный анализ состава и оценить пищевую ценность этих продуктов.

Методы и материалы. Объектами исследования являются следующие отобранные образцы: пшеничная мука (контрольный образец), рисовая мука, гречневая мука и их мучки - рисовая мучка и гречневая мучка. Целью исследования является определение химических функциональных групп в этих образцах с использованием инфракрасной спектроскопии (ИКС), что позволяет идентифицировать их состав и оценить качество продуктов и сырья.

Объектом экспериментального исследования является сорт пшеницы «Мирас 07», выведенный Казахским НИИ земледелия и растениеводства, а также мука из этой пшеницы. Данный сорт предназначен для пищевых целей. Урожай пшеницы «Мирас 07» в летнем посеве составил 22,3 ц/га, а в осеннем посеве - 29,0 ц/га. По уровню урожайности он превосходит лучшие районированные сорта зерновых. Отбор зерна проводился по ГОСТ 5904-82. В работе использовались следующие методы: ГОСТ 10846-91 - зерно и продукты его переработки, метод определения белка - ГОСТ 29033-91, определение массовой доли жира - СТ РК 1054-2002 [5, 6].

Спектры исследованных образцов были зарегистрированы с использованием ИК-Фурье

спектрометра в таблетках с KBr.

Применение метода ИК-Фурье спектроскопии позволяет эффективно исследовать химический состав пищевых культур и продуктов их переработки, что особенно важно для оценки качества сырья и готовой продукции в кондитерской и хлебопекарной промышленности.

Во всех спектрах исследованных образцов наблюдаются характерные полосы поглощения, отражающие их химический состав и позволяющие проводить идентификацию основных компонентов, таких как углеводы, белки и липиды.

Обсуждение и результаты. Метод ИК-спектроскопии основан на поглощении электромагнитного излучения инфракрасного диапазона молекулами изучаемого вещества, при котором происходит возбуждение колебательных и вращательных состояний. Измеряя частоты поглощения электромагнитного излучения молекул в инфракрасной области, можно определить параметры молекул - частоту колебаний атомов, например, в исследуемых образцах аппарат показывает интенсивные сигналы валентных колебаний (ν_{as} и ν_{s}) метиленовой группы = CH_2 у пшеничной муки (709,2 $см^{-1}$ и 2927,7$см^{-1}$), рисовой муки (710,9 $см^{-1}$ и 2925,7 $см^{-1}$), гречневой муки (710,0 $см^{-1}$ и 2927,7$см^{-1}$). Таким образом, можно увидеть аналогичное расстояние между атомами и осью вращения, а также интенсивность расщепления функциональных групп.

Межмолекулярное взаимодействие в ИК-спектре влияет на изменение характеризующей энергии связей атомов в молекуле, так, может происходить исчезновение вращательной структуры, расширение диапазона полос к смещению частоты в спектре. Основные диагностические различия между рисовой, пшеничной и гречневой мукой в ИК-спектрах проявляются в областях спектра, а именно: в области 3000-2800 $см^{-1}$, соответствующей валентным колебаниям С–Н в липидах; в области 1700–1600 $см^{-1}$, где наблюдаются колебания С=О и амидных групп белков; в области 1200-900 $см^{-1}$, характерной для углеводов и крахмалов (колебания связей С–О, С–С, С–Н).

В молекулах, на ИК-спектрах, межмолекулярные водородные связи оказывают заметное влияние: во-первых, они приводят к ослаблению О–Н связей, а во-вторых - к снижению частоты колебаний других N–H связей, что проявляется в виде расширения полос поглощения в спектре.

Особое внимание уделялось области длинноволнового ИК-диапазона (менее 400 $см^{-1}$, в ряде случаев - менее 300 $см^{-1}$), поскольку в этом спектральном интервале фиксируются колебания, связанные с кристаллической решёткой материала. Низкочастотные полосы в спектре указывают на степень упорядоченности структуры вещества и наличие кристаллической решётки в образце. В области около 2925-2928 см ^{1} наблюдаются характерные полосы поглощения, обусловленные валентными колебаниями С–Н связей в метиленовых группах ($–CH_2–$).

Установлено, что для рисовой и гречневой муки максимум полосы поглощения фиксируется при 2925,7 см ^{1}, для пшеничной муки - при 2927,7 $см^{-1}$. Эти полосы соответствуют асимметричным (ν_as) и симметричным (ν_s) валентным колебаниям метиленовых групп ($=CH_2$). Небольшое смещение полосы поглощения в сторону более высоких частот в случае пшеничной муки может быть связано с различиями в молекулярной упаковке, степени насыщенности углеводородных цепей или интенсивностью межмолекулярных взаимодействий.

Наблюдаемые в образцах сырья (рисовой, гречневой и пшеничной муки) близкие между собой сигналы спектра полосы поглощения группы молекулярных фрагментов отличаются по интенсивности (таблица 1).

Таблица 1 - Сравнительный анализ полос поглощения зерновых культур в ИК-спектрах

Пшеничная мука	Рисовая мука	Гречневая мука	Интерпретация ИК-спектров по характерным колебаниям групп

Область прозрачности, мкм (см$^{-1}$)			
		444,7 водородные связи, деформационные колебания углеродного скелета	
	528,3		
571, 9	571,8	565,0	
709,2	710,9	710,0	валентные колебания (*v*as и *v*s) метиленовой группы = CH2
763,8	764,4	762,0	маятниковые колебания метиленовых групп, валентные колебания углеродного скелета
859,7валентные колебания углеродного скелета		860,1 валентные колебания углеродного скелета	
929,5	928,9	928,9	валентные колебания углеродного скелета,характерного для углеводов и крахмалов (колебания связей C–O, C–C, C–H).
1019,1	1018,3	1018,3	C—N-связи в скелетных колебаниях, алифатические амины
1062,7	1081,2	1081,2	C—N-связи в скелетных колебаниях, алифатические амины
1157,1	1158,1	1158,1	C—N-связи в скелетных колебаниях, алифатические амины
	1243,5	1243,5	алифатические амины
1362,3 C—N-связи в скелетных колебаниях	1384,3 симметричному колебанию (δs)*гем*-диметильной группы	1384,3 симметричному колебанию (δs)	деформационные колебанияC—H-связей,C—N-связи в скелетных колебаниях
1421,3	1460,0 асимметричному деформационному колебанию метильных групп (δαs)	1460,0 асимметричному деформационному колебанию метильных групп (δαs)	асимметричному колебанию метильных групп (δαs)
1539,0			
1659,2	1630,6 ;1660,3	1630,6;1660,3	сопряжение двух связей C=O, валентные колебания связей N—H(наблюдаются колебания C=O и амидных групп белков)
	2161,2	2161,2	

2361,5			C-O
2927,8	2925,7	2925,7	валентные колебания (*v* as и *v*s) метиленовой группы = CH2 в липидах
3207,7	3203,6	3203,6	вторичных амидов, валентные колебания связей N—H
3295,7 Транс-изомер	3291,8 Транс-изомер	3291,8 Транс-изомер	вторичных амидов, валентные колебания связей N—H
3443,2 Транс-изомер	3444,4 Транс-изомер	3444,4 Транс-изомер	свободной аминогруппы
	3521,6	3521,6	свободной аминогруппы
	3597,9	3597,9	
3622,3	3620,9	3620,9	
3696,3			

На основе данных ИК-спектроскопии были выявлены значительные различия в полосах поглощения между образцами пшеничной муки и образцами рисовой и гречневой муки. Пшеничная мука содержит в своём составе: крахмал (основной углевод), простые сахара (глюкоза, мальтоза), белки (главным образом глютен), клетчатку, липиды (в небольшом количестве). На рисунке 1 представлена спектрограмма образца 1 - пшеничной муки (контрольный образец).

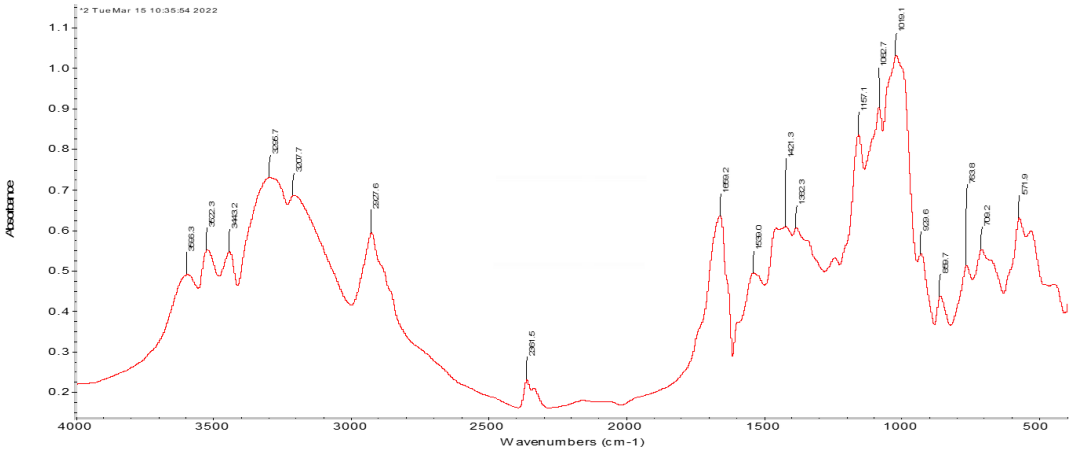


Рис.1 - ИК-спектрограмма пшеничной муки (контрольный образец)

В ИК-спектре пшеничной муки полосы поглощения в области 929,5–1157,1 см$^{-1}$ относятся преимущественно к валентным и деформационным колебаниям C–O, C–C, C–H связей, характерным для структурных элементов крахмала и других углеводов. Полоса поглощения при 929,5 см$^{-1}$ соответствует деформационным колебаниям C–H в углеводных кольцах, характерным для полисахаридов (крахмала, целлюлозы), и указывает на наличие α-глюкозидных связей в структуре крахмала.

Полоса поглощения при 1019,1 см$^{-1}$ обусловлена валентными колебаниями C–O и C–O–C связей, характерных для крахмала, простых сахаров и гликозидных соединений, и отражает наличие гликозидных связей и углеводов в образ-

цах пшеничной, рисовой и гречневой муки.

Полоса поглощения при 1062,7 см$^{-1}$ обусловлена валентными колебаниями С–О–Н и С–С связей, характерных для полисахаридов, включая амилозу и амилопектин, и отражает внутреннюю структуру крахмала, при этом её интенсивность коррелирует с их концентрацией в образцах в виде узких хороших сигналов.

Полоса поглощения при 1157,1 см$^{-1}$ связана с валентными колебаниями С–О–С, а также сочетающимися колебаниями С–С–Н и С–О–Н, характерными для полисахаридов и сахаров в образцах, и отражает наличие структурных фрагментов крахмала, других углеводов, а также, возможно, пентозанов, присутствующих в оболочках зерна.

Полоса поглощения при 1243,5 см$^{-1}$ наблюдается только в спектрах рисовой и гречневой муки, тогда как в пшеничной муке она отсутствует, что, вероятно, связано с различиями в составе полисахаридов или присутствием специфических функциональных групп, характерных для риса и гречки, но не представленных в значительном количестве в пшенице.

Особенно выраженные полосы при 1019,1 и 1062,7 см$^{-1}$ указывают на значительное содержание амилозы и амилопектина, составляющих основу крахмальной фракции. Пик при 929,5 см$^{-1}$ связан с глюкозидными циклами, а полоса на 1157,1 см$^{-1}$ может свидетельствовать о наличии других углеводов и гликозидных компонентов.

В спектрах образца пшеничной муки полоса при 1362,3 см$^{-1}$ свидетельствует о С–N-связях в скелетных колебаниях белковых фракций, тогда как в спектрах рисовой и гречневой муки аналогичная полоса (например, при 1384,3 см$^{-1}$) относится к симметричному (δ_s) изгибу – CH_3-групп, и в обоих случаях эти полосы указывают на присутствие алкильных фрагментов (CH_3/CH_2) и азотсодержащих компонентов (аминогрупп) в белковой части муки. На рисунке 2 показана спектрограмма образца 2 - рисовой муки.

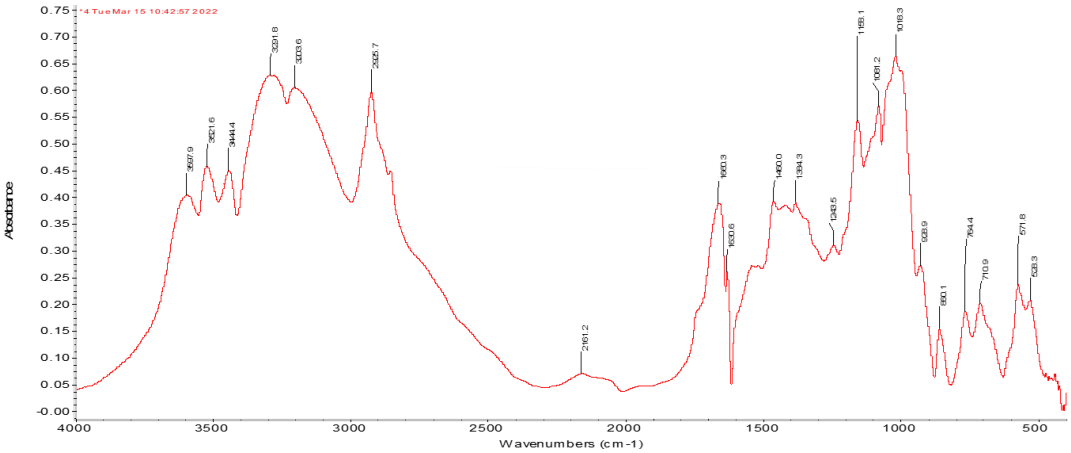


Рис.2 - ИК-спектрограмма рисовой муки

Полоса поглощения при 1243,5 см $^{-1}$ наблюдается только в спектрах рисовой и гречневой муки, тогда как в пшеничной муке она отсутствует, что, вероятно, связано с различиями в составе полисахаридов или присутствием специфических функциональных групп, характерных для риса и гречки, но не представленных в значительном количестве в пшенице.

В области 2925,7 см $^{-1}$ образцы рисовой и гречневой муки демонстрируют более выраженные полосы поглощения по сравнению с контрольным образцом пшеничной муки. Усиление интенсивности в данной области связано с присутствием большего количества метиленовых (–CH_2–) групп в составе углеводородных цепей.

Это обусловлено различиями в химическом

составе исследуемых образцов. Рисовая мука характеризуется повышенным содержанием полиненасыщенных жирных кислот, что объясняет высокую интенсивность валентных колебаний C–H связей.

Гречневая мука - это псевдозлак, её мука безглютеновая, что отличает её от пшеничной муки по структуре белков. Углеводная структура гречневой муки характеризуется более широкой температурой желатинизации и высоким содержанием устойчивого крахмала, что замедляет переваривание углеводов. Она также богата клетчаткой и не перевариваемыми полисахаридами (в том числе пентозанами). Все исследованные образцы муки содержат значительное количество углеводов (около 70-79 % по массе), включая сахар, крахмал и декстрин, что оказывает влияние на их ИК-спектральные характеристики. На рисунке 3 представлена спектрограмма образца 3 - гречневой муки, где отмечаются характерные полосы, отличающие её от других исследуемых образцов.

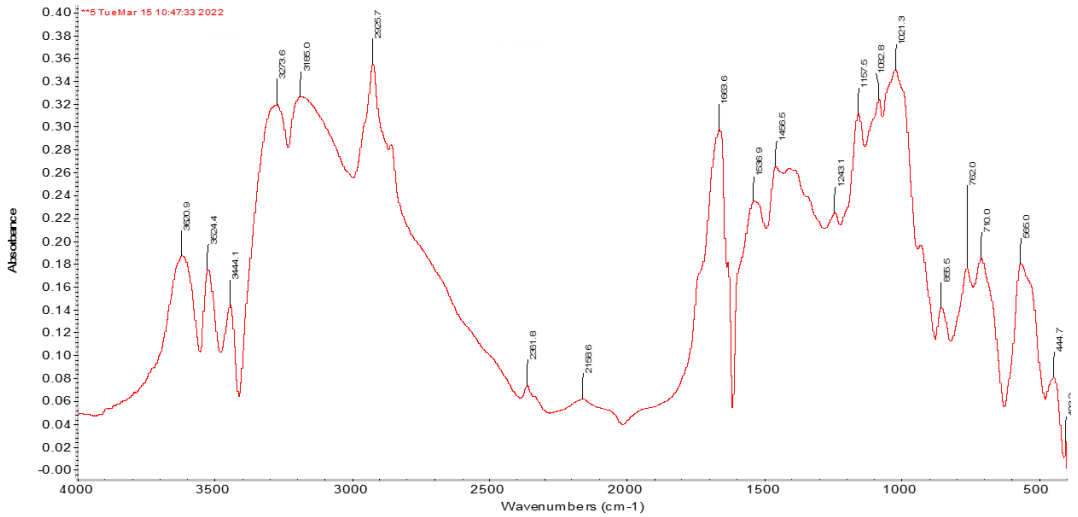


Рис.3 - ИК-спектрограмма гречневой муки

Только у гречневой муки при 444,7 $см^{-1}$ области полосы поглощения обнаружены колебания водородных связей, это объясняется тем, что в ИК-спектроскопии часто отражаются колебания скелетной структуры молекулы, и тем, что гречневая мука богата полифенолами (например, рутином), которая содержит необычные углеводы и большое количество клетчатки, что может объяснять уникальность данной полосы.

Полосы поглощения при 1421,3 $см^{-1}$ и 1460 $см^{-1}$ в ИК-спектре образцов пшеничной, рисовой и гречневой муки ассоциируются с изгибными (деформационными) колебаниями C–H в метильных и метиленовых группах (δ CH_3, δ CH_2) и часто встречаются в спектрах углеводородных цепей и белковых компонентов. С точки зрения химического состава и пищевой ценности эти полосы характеризуют присутствие углеводородных фрагментов (алкановых групп) в молекулах крахмала, белков и липидов. Их интенсивность может косвенно свидетельствовать о количестве этих групп в образце, т.е. о степени насыщенности алкильных звеньев в углеводных и белковых фракциях муки [4].

В образцах пшеничной, рисовой и гречневой муки полосы поглощения в диапазоне 1630–1660 $см^{-1}$ интерпретируются как амид (C=O валентные колебания пептидной связи), что свидетельствует о присутствии белковых фракций (глютен, альбумины, глобулины), причем смещение частоты и интенсивность полосы отражают различия во вторичной структуре белков (α-спираль, β-слои).

В ИК-спектрах полоса поглощения валентного колебания C-O проявляется в образце при

2361,5 $см^{-1}$ либо очень слабо, даже может отсутствовать, потому что является в этих областях в виде фонового сигнала, а не как диагностический признак для сравнения риса и пшеницы, гречневой муки.

Широкие полосы в диапазоне 3500–3200 $см^{-1}$ характерны для гидроксильных групп (O–H) в образцах пшеничной, рисовой и гречневой муки, особенно когда они участвуют в водородных связях - это приводит к снижению частоты и расширению полосы. Наличие гипотетических гидроксильных и аминогрупп (C–N) в структуре исследуемых образцов повышает их полярность и улучшает взаимодействие с водой и маслом, что способствует формированию стабильных мучных эмульсий.

Полосы поглощения при 3622,3 $см^{-1}$ и 3669 $см^{-1}$ в ИК-спектрах пшеничной, рисовой и гречневой муки соответствуют растяжениям O–H свободных или слабо связанных гидроксильных групп и свидетельствуют о присутствии гидроксилов (в углеводах, моносахаридах или влаге), не вовлечённых в сильные водородные связи.

Далее в работе рассматривался сравнительный анализ рисовой и гречневой муки с их мучками.

Рисовая и гречневая мучка - это побочные продукты зерна переработки, состоящие преимущественно из оболочек, зародышей и мелких частиц, удалённых при шлифовке или дроблении, они сильно отличаются по составу и назначению от муки, получаемой из очищенного ядра зерна. Мучка используется преимущественно в кормовых целях, хотя содержит питательные вещества - белки, жиры, клетчатку и минералы. В то же время рисовую и гречневую муку получают из очищенного зерна, они предназначены для пищевого потребления человеком, особенно в диетическом и безглютеновом питании, применяются в выпечке, загущении соусов и других технологических процессах [7].

В объекте рисовой мучки интенсивность полос поглощения видимых и не видимых диапазонов слабее, чем в рисовой муке и гречневой мучке. В таблице 2 показаны результаты исследования рисовой мучки в сравнении с эталоном.

Таблица 2 - Показатели ИК-спектров рисовой муки и рисовой мучки

Рисовая мука, $см^{-1}$	**Рисовая мучка, $см^{-1}$**	**Возможная группа / тип колебаний**	**Характеристика отражающих сигналов**
528,3			
571,8	562		
710,9			
764,4			
860,1			
928,9			
1018,3			
1081,2			
1158,1	1158,7		
1243,5			
13,84,3			

1460,0	1462,2	Деформационные (изгибные) колебания C–H (метилен / метильные группы)	Указывают на насыщенные алкильные фрагменты; типично для липидов и органических цепей
	1547,1	Возможно связаны с амидными / белковыми группами (амид II) или деформациями N–H / C–N	Наличие белковых компонентов или аминов, что говорит о белковой или азотной составляющей
1630,6			
1660,3	1742,4	Валентное колебание C=O (эфирные группы, липиды /жиры) (например, липидный компонент)	Присутствие эфирных/ жирных компонентов, что говорит о наличии липидов или сложных эфиров в образце
2161,2			
	2854,5	Валентные колебания C–H (алкановые цепи, метиленовые / метильные группы)	Свидетельствуют о наличии алифатических углеводородных участков (жиры, цепи углеводов) в образце
2925,7	2925,0		
	3196,8	Растяжения O–H / N–H (гидроксильные или аминогруппы), особенно связанные / водородные связи	Указывает на наличие гидроксильных групп (влажность, углеводы) или аминогрупп (белки) в образце
3203,6			
3291,8	3294,5		
3444,4	3444,5	Более высокочастотные растяжения O–H (свободные или слабосвязанные гидроксилы)	Подтверждают присутствие свободных гидроксильных групп (вода, углеводы), не участвуют или слабо участвуют в водородных связях
3521,6	3525,5		
3597,9			

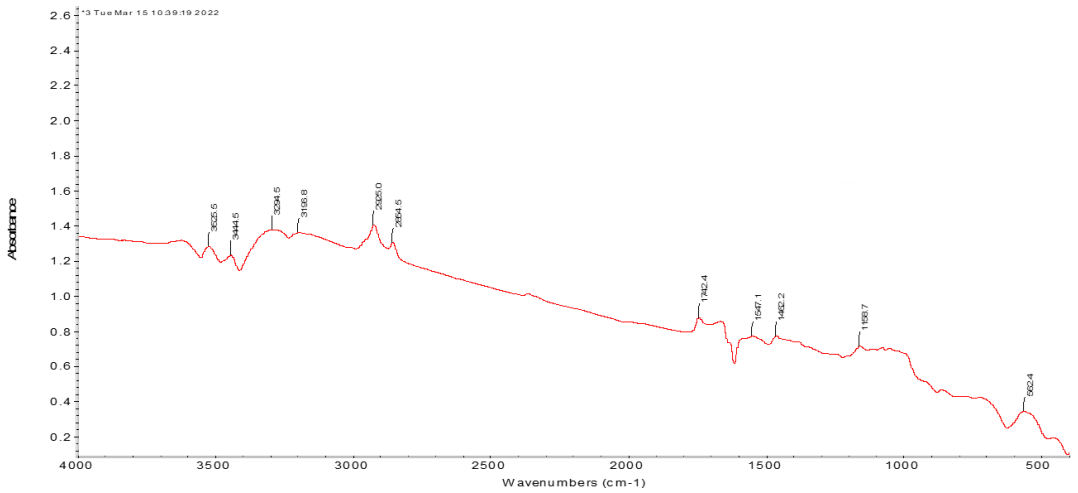


Рис.4 - ИК-спектрограмма рисовой мучки

По результатам исследований видно, что в области длинноволнового ИК-диапазона от 600 - 1000 $см^{-1}$ интенсивности полосы не отражаются, поскольку в этом спектральном интервале фиксируются колебания, связанные с кристаллической решёткой материала. Низкочастотные полосы в спектре указывают на степень упорядоченности структуры вещества и наличие кри-

сталлической решётки в образце - рисовой мучке, изменение скелета структуры зерна зависит от переработки. В образце рисовой мучки в этих полосах поглощений отсутствуют сигналы по сравнению с рисовой мукой, это говорит о том, что структура молекулы рисовой мучки при механическом воздействии сильно изменится, и это отвечает на колебания углеродного скелета молекулы.

В статье “A Comparative Investigation of the IR Spectra of a Carbohydrate Series” [8] отмечается, что в диапазоне 960–1060 $см^{-1}$ часто встречаются преобладающие линии, интерпретируемые как валентные колебания α-гликозидных связей и сочетания C–O, C–C, C–O–H. Это говорит о том, что полоса ~ 1018 $см^{-1}$ отнесена к таким группам [9].

В рисовой муке пик полосы поглощения во всех фрагментах имеет сплывчивый бугор, это объясняется тем, что механическое воздействие сильно влияет на снижение частоты изменением дисперсионной системы.

Полоса поглощения 1018 $см^{-1}$ показывает значения для валентных колебаний C–O/ C–O–C в крахмале и связанных углеводах.

В спектрах рисовой мучки по сравнению с гречневой мучкой многие характерные полосы почти исчезают или проявляются лишь как слабые пики или «бугры», что, вероятно, говорит о нарушении кристаллической решётки в ходе переработки зерна. Особенно выраженная полоса при ~ 1018 $см^{-1}$ указывает на значительное содержание амилозы и амилопектина - основных компонентов крахмальной фракции. Пик около 929,5 $см^{-1}$ соотносится с колебаниями глюкозидных циклов, а полоса при 1158,1 $см^{-1}$ может свидетельствовать о присутствии других углеводов и гликозидных соединений.

Полоса при 1742,4 $см^{-1}$ указывает на наличие эфирных или липидных компонентов, что может быть остатком жиров после обработки. Полоса 1462,2 $см^{-1}$ подтверждает присутствие насыщенных углеводородных групп, типичных для органических цепей. Полоса при 1547,1 $см^{-1}$ может указывать на амидные или аминогенные компоненты, т.е. белковые или азотсодержащие фракции, хотя эта интерпретация требует подтверждения дополнительными данными. Появление полос 2854,5 и 2925,0 $см^{-1}$ говорит о существенном содержании алкильных участков - метиленов и метильных групп - что характерно как для липидов, так и для углеводородных цепей углеводов.

Полосы 3196,8, 3294,5, 3444,5, 3525,5 $см^{-1}$ свидетельствуют о наличии гидроксильных групп - это может быть связано с углеводами (сахара, полисахариды) или влагой, особенно свободными или слабосвязными O–H группами.

Полосы в образце показывают, что рисовая мучка сохраняет остаточные жиры, насыщенные углеводные цепи, свободные гидроксильные группы и, возможно, белковые компоненты. Это согласуется с тем, что мучка - менее очищенный продукт, и в ней остаются части оболочек, зародышей, что даёт более сложный спектр, чем у хорошо рафинированной муки.

По сравнению с гречневой мукой состояние пика полосы поглощения в спектрах не сильно изменилось (рисунок 4). Полосы поглощения, отвечающие колебаниям скелета, относительно интенсивны при 1100- 700 $см^{-1}$ двух областях.

Сравнение показателей ИК-спектров гречневой муки с гречневой мучкой показывает, что в области 2000–3000 $см^{-1}$ наблюдаются отличия (см. таблицу 3). В частности, полосы при 2854,5 и 2924,5 $см^{-1}$ (валентные колебания C–H - асимметричные и симметричные) характерны для алифатических углеводородных цепей (липиды, углеводные фрагменты) и выражены у муки, а в мучке они ослаблены или смещены, что может свидетельствовать о трансформации этих структур в процессе переработки.

В работе [10] корреляционный анализ показал, что количество флавоноидов, высвобождаемых в пищеварительную жидкость, значительно связано с антиоксидантной активностью. ИК-спектроскопия гречневой, рисовой и пшеничной муки позволяет выявить характерные функциональные группы и конформационные изменения белков и полисахаридов, возникающие при

различных способах помола и фракционирования. Данное исследование может предоставить теоретическую основу для улучшения физико-химических свойств и функциональных характеристик татарской гречихи с помощью технологии ультратонкого помола, что подтверждается изменениями ИК-спектров после измельчения. Исследование влияния фракций гречихи (ФГ) на физико-химические характеристики пшеничной муки (ПМ), реологию теста и показатели качества хлеба показало, что фракционирование семян гречихи изменяет микроструктуру и молекулярную конформацию компонентов муки в зависимости от размера частиц, что хорошо коррелирует с изменениями ИК-спектров. Содержание белка в смесях ФГ–ПМ увеличивалось при добавлении ПМ среднего размера и снижалось при добавлении крупного или мелкого помола, что отражается в интенсивности амидных полос в ИК-спектре и может служить индикатором структурных изменений белка [11].

В данном исследовании сравнивали эталонный образец с гречневой мукой и гречневой мучкой. Результат анализа показал, что в спектрах гречневой мучки были обнаружены полосы поглощения при 1035,8 $см^{-1}$, 1237,7 $см^{-1}$, 1385,9 $см^{-1}$, 1525,4 $см^{-1}$, 1631,1 $см^{-1}$, 1659,3 $см^{-1}$, 2854,5 $см^{-1}$, 2924,5 $см^{-1}$, 3184,0 $см^{-1}$, 3275,5 $см^{-1}$, 3444,4 $см^{-1}$, 3524,9 $см^{-1}$, 3631,8 $см^{-1}$.

Таблица 3 - ИК-спектральные показатели гречневой муки и мучки

Гречневая мука $см^{-1}$	**Гречневая мучка $см^{-1}$**	**Характеристика**
444,7	457,7	
565,0	552,9	
710,0	718,0	
762,0		
855,5		
1021,3	1035,8	интерпретируются как валентные колебания C–O–C или C–O связей (углеводные скелеты), что указывает на присутствие полисахаридов и структурных элементов крахмала
1082,8		
1157,5		
1243,1	1237,7	соответствуют асимметричным колебаниям C–O или C–O–C в сложных углеводах или гликозидных связях
	1385,9	связывают с изгибными колебаниями алкильных групп (δCH_3 / δCH_2), что говорит о насыщенных углеводородных фрагментах в структуре
1456,5		
1536,9	1525,4	относятся к амидным или аминогруппам (δ N–H и/или C–N), что указывает на присутствие белковых компонентов или азотсодержащих соединений
1663,6	1631,1	характерны для амида (C=O растяжения в пептидных связях) и могут отражать вторичную структуру белков в образцах
	1659,3	

2156,6		
2361,8		
	2854,5	соответствуют валентным колебаниям С–Н (асимметричные и симметричные) в метиленовых/метильных группах, типичных для алифатических цепей (жиры, углеводородные фрагменты)
2925,7	2924,5	
3185,0	3184,0	относятся к растяжениям О–Н (гидроксильных групп) или N–Н (аминогрупп) - особенно свободных или слабо связанных групп, что указывает на наличие свободных гидроксилов и аминов, а также на влажность и гидратацию образца
3273,6	3275,5	
3444,1	3444,4	
3524,4	3524,9	
3620,9	3631,8	

Полоса поглощения при 718,0 см$^{-1}$ в ИК-спектре гречневой мучки может соответствовать скелетным деформационным колебаниям С–С, С–О–С или ароматическим колебаниям, особенно изгибным или внеплоскостным деформациям. Такое проявление в спектре говорит о наличии устойчивых фрагментов молекулы, формирующих “скелет” структуры (углеводный или ароматический остов). Это может свидетельствовать об участии сложных полисахаридных или фенольных компонентов, характерных для оболочек зерна или фитосоединений, сохранившихся в мучке после переработки.

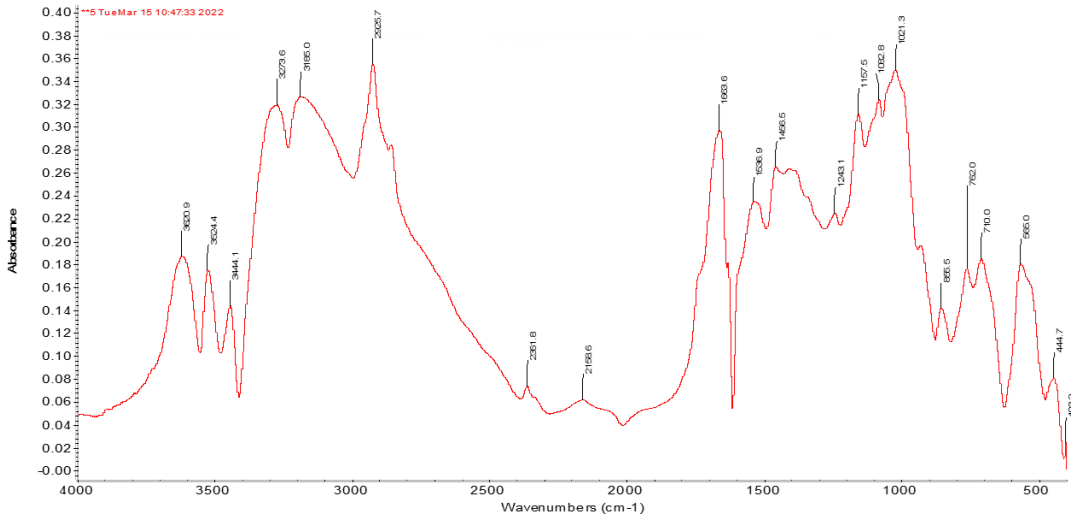


Рис.5 - ИК-спектрограмма гречневой мучки

Поглощение в области 3275–2654 см$^{-1}$ обусловлено валентными колебаниями С—Н. Оно проявляется в виде сложной широкой полосы поглощения, в которой пики при 2924 и 2654 см$^{-1}$ относятся к валентным колебаниям метиленовой группы (ν_{as} и ν_s) (рисунок 5). Положение этих полос поглощения хорошо сохраняется у всех типов алифатических углеводородов. Интенсивность полос поглощения зависит от числа метиленовых и метильных групп в молекуле углеводорода.

Выявленные полосы поглощения при 1035,8, 1237,7, 1385,9, 1525,4, 1631,1, 1659,3, 2854,5, 2924,5, 3184,0, 3275,5, 3444,4, 3524,9 и 3631,8 см$^{-1}$ в спектре гречневой мучки подтверждают присутствие различных функциональных групп:

валентные и деформационные колебания С–О/С–О–С (углеводные структуры), алкильных CH_3/CH_2 (насыщенные цепи), амидных/аминогрупп (белковые компоненты), свободных и слабо связанных О–Н/N–Н групп (гидроксильные или аминогруппы, влага/гидратация), что указывает на комплексный состав мучки с углеводными, белковыми и гидрофильными элементами, способными к образованию водородных связей и взаимодействию с водой.

По свойствам это говорит о том, что гречневая мучка сохраняет комплексный химический состав - помимо углеводов (включая полисахариды, гликозиды и крахмал), в ней присутствуют белковые компоненты и гидроксильные группы. Такое разнообразие функциональных групп может придавать мучке дополнительные свойства: способность к внутримолекулярному и межмолекулярному связыванию воды, возможность образования водородных связей, а также влияние на реологические характеристики растворов и взаимодействие с другими компонентами в технологических системах.

Выводы. По итогам исследования диапазон основных колебаний молекул (образцов), называемый «средний инфракрасный», лежит между волновыми числами от 3690 до 444 $см^{-1}$. Во всех спектрах исследованных образцов обнаружены полосы поглощения, отражающие общий химический состав.

Таким образом, можно проследить полученные результаты исследуемых объектов. Алгоритмизация последовательностей расшифровки ИК-спектра позволяет определить интенсивность полос поглощения по наличию функциональных групп в молекулах.

На основании сравнения ИК-спектров пшеничной муки (контроль), рисовой и гречневой муки, а также исследуемых мучек (рисовой и гречневой) можно сделать следующие выводы о пищевой ценности и составе.

У образцов, демонстрирующих выраженные полосы в области 2854,5 и 2924,5 $см^{-1}$ (валентные колебания С–Н), можно предполагать значительное содержание алифатических цепей - то есть липидов и углеводных фрагментов, что указывает на жировую и углеводную компоненты, активные в структуре.

По результатам интерпретации полос поглощения и характеристик пиков определяется химическая природа полосы ~2925–2928 $см^{-1}$ у исследуемых образцов.

Рисовая мука: имеет острый пик - это показывает, что структура крахмала более упорядочена, длинные цепи амилопектина обеспечивает гладкую, нежную текстуру, но без клейкости (без белков глютенового типа).

Гречневая мука: пик выше и шире, присутствуют не только углеводы, но и липидные и белковые фрагменты, по структуре более сложная, пористая, с высокой способностью удерживать воду и жир.

Пшеничная мука: пик менее острый, CH_2-группы участвуют во внутримолекулярных связях с белками (глютеном), пик «размыт» → свидетельствует о развитой белково-крахмальной матрице в продукте эластичной структуре теста.

В области 2920–2950 $см^{-1}$ наблюдаются валентные колебания С–Н групп, характеризующие липидно-углеводные компоненты. У пшеничной муки (2927,8 $см^{-1}$) пик сглаженный, что отражает среднее содержание липидов и взаимодействие белков с полисахаридами. У рисовой муки (2925,7 $см^{-1}$) пик острый, средней высоты - признак упорядоченных CH_2-групп и преобладания крахмала амилопектинового типа. У гречневой муки (2925,8 $см^{-1}$) пик высокий, широкий с бугорком, что указывает на большее содержание липидов и белково-липидных комплексов. Водоудерживающая способность выше у рисовой и гречневой муки по сравнению с пшеничной.

В области 3200–3450 $см^{-1}$ наблюдаются валентные колебания связей N–H и O–H, отражающие наличие белков и гидроксильных групп. У пшеничной муки (3207,7; 3295,7; 3443,2 $см^{-1}$) полосы указывают на развитые водородные связи и белково-полисахаридные комплексы. У рисовой (3203,6; 3291,8; 3444,2 $см^{-1}$) и гречневой муки полосы смещены к меньшим частотам, что свидетельствует о более сильных водородных

связях и большем содержании гидроксильных групп. Это указывает на повышенную влагопоглощающую способность и более выраженные гидрофильные свойства рисовой и гречневой муки по сравнению с пшеничной.

По результатам сравнений рисовой и гречневой мучки в областях 2850–2925 $см^{-1}$ наблюдаются валентные колебания С–Н метильных и метиленовых групп, а в области 3180–3295 $см^{-1}$ - N–H и O–H валентные колебания, отражающие белки и гидроксильные группы. Обе мучки имеют невысокую интенсивность пиков, что говорит о меньшей концентрации свободных функциональных групп по сравнению с другими зерновыми продуктами: рисовая мучка более упорядочена и гидрофильна, гречневая - структурно сложнее.

У рисовой мучки (2854,5; 2925,0; 3294,5 $см^{-1}$) пики низкой интенсивности, что указывает на наличие упорядоченных CH_2-групп и гидрофильных функциональных групп, обеспечивающих водопоглощающие свойства.

У гречневой мучки (2924,5; 3184,0; 3275,5 $см^{-1}$) пики также слабые и размытые, что отражает более гетерогенную структуру с белково-липидными комплексами и менее упорядоченные углеводные цепи.

Интенсивные или чётко выраженные полосы в «углеводной» области (примерно 1000–1100 $см^{-1}$, С–О / С–О–С) особенно свидетельствуют о высоком содержании крахмала (амилозы/амилопектина) и других полисахаридов, что повышает энергетическую ценность образца рисовой муки.

Полосы, характерные для гидроксильных групп (О–Н), особенно широкие и смещённые (3275,5-3444,4 см-1), указывают на присутствие гидроксилов, связанных или свободных, что свидетельствует о влаге, углеводах и гидрофильных компонентах - это может усиливать способность к удержанию воды или участие в межмолекулярных связях.

Наличие амидных или аминогрупп (в области ~ 1500–1650 $см^{-1}$) даже при слабой выраженности свидетельствует о белковых компонентах или азотсодержащих веществах - это говорит о том, что образцы не являются чисто углеводными, а содержат значимые доли белков или аминокислот (при 3521,6 см-1), и указывает на наличие свободных гидрофильных функциональных групп, что чаще связано со свободными аминокислотами, белковыми аминогруппами и гидроксильными группами полисахаридов.

В образцах мучки многие характерные полосы ослаблены или исчезают, что говорит о нарушении упорядоченной структуры (например, кристалличности крахмала), снижении содержания легкодоступных крахмальных компонентов и большей доле грубых фракций (оболочки, клетчатка) - это уменьшает усвояемость углеводов, снижает энергетическое значение и может увеличивать долю пищевых волокон в рационе.

Таким образом, спектроскопические данные подтверждают, что муки (особенно пшеничная) содержат более структурированную, усвояемую крахмальную и белковую часть, тогда как мучки характеризуются большим содержанием структурных (не крахмальных) компонентов, клетчатки и частично разрушенной крахмальной фракцией, что сказывается на пищевой ценности, перевариваемости и функциональных свойствах продукта.

В пищевой отрасли исследование спектров продуктов позволяет интерпретировать пики поглощения и на основании этого делать выводы о составе и свойствах материалов.

Полученные результаты имеют практическое значение для лабораторий контроля качества зерновых продуктов, предприятий пищевой промышленности, производителей муки и хлебобулочных изделий, а также для научных исследований в области пищевой химии.

Финансирование. *Данное исследование выполнено в рамках грантового финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан по теме: AP09561622 «Разработка технологии производства безглютеновых мучных кондитерских изделий с использованием муки из семян зернобобовых культур, выращенных в Казахстане».*

Литература

1. Hongyou Li, Qiuyu Lv, Ake Liu, Jiarui Wang, Xiaoqian Sun, Jiao Deng, Qingfu Chen, Qi Wu. Comparative metabolomics study of Tartary (Fagopyrum tataricum (L.) Gaertn) and common (Fagopyrum esculentum Moench) buckwheat seeds//Food Chem. -2022.- Vol.371:131125. DOI 10.1016/j.foodchem.2021.131125.

2. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия: основы, техника, аналитическое применение // Пер. с англ. Тарасевича Б.Н. - М.: Мир. - 1982. - 326 с.

3. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы//М.: МГУ им. Ломоносова. -2012. - 55 с.

4. Yinghui Chai, Yue Yu, Hui Zhu, Zhanming Li, Hao Dong, Hongshun Yang. Identification of common buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench) adulterated in Tartary buckwheat (Fagopyrum tataricum (L.) Gaertn) flour based on near-infrared spectroscopy and chemometrics. //Current Research in Food Science. -2023.-Vol.7:100573. DOI 10.1016/j.crfs.2023.100573.

5. Омаралиева А.М., Ботбаева Ж.Т., Агедилова М.Т., Абилова М.Б., Жанайдарова А.Е. Влияние СВЧ обработки зернобобовых культур на свойства безглютеновой муки// Вестник ЕНУ имени Л.Н. Гумилева. Серия Биологические науки.-2021.- № 4(137). – С.75-83. DOI 10.32523/2616-7034-2021-137-4-75-83.

6. Aigul Omaraliyeva, Botbayeva Zhanar, Mereke Agedilova, Meruyert Abilova, Aidana Zhanaidarova. Determining the optimal parameters of ultra-high-frequency treatment of chickpeas for the production of gluten-free flour//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. -2021.-Vol.5 (113). -51- 60 P. DOI 10.15587/1729-4061.2021.241877.

7. Омаралиева А.М., Ботбаева Ж.Т. Аспекты создания безглютеновых продуктов питания. Монография//Нур-Султан: Полиграфия «Z-Print». - 2022. - 230 с.

8. Sinyayev V.Аю, Toxeitova G.A., Batyrbayeva A.A., Sassykova L. R., Azhigulova R. N., Sakhipov Yею N. A comparative investigtion of the ir spectra of a carbohydrate series //Journal of Chemical Technology and Metallurgy. -2020.-Vol.55 (4). -P.724-729.

9. Nikonenko N.A., Buslov D.K., Sushko N.I., Zhbankov R.G. Analysis of the Structure of Carbohydrates with Use of the Regularized Deconvolution Method of Vibrational Spectra//BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi. -2002.-Vol.4.2.- 13-16.

10. Xinhui Wang, Xue Zhang, Dongjie Zhang. Enhancement of cation exchange and glucose binding capacity, flavonoids release and antioxidant capacity of Tartary buckwheat powder with ultrafine grinding //Frontiers in Nutrition. Sec. Nutrition and Food Science Technology. -2023.- Vol.10: 1276017. DOI 10.3389/fnut.2023.1276017.

11. Coţovanu I, Mironeasa S. Influence of Buckwheat Seed Fractions on Dough and Baking Performance of Wheat Bread//Agronomy. -2022.-Vol.12(1):137. DOI 10.3390/agronomy12010137.

References

1. Hongyou Li, Qiuyu Lv, Ake Liu, Jiarui Wang, Xiaoqian Sun, Jiao Deng, Qingfu Chen, Qi Wu. Comparative metabolomics study of Tartary (Fagopyrum tataricum (L.) Gaertn) and common (Fagopyrum esculentum Moench) buckwheat seeds//Food Chem. -2022.- Vol.371:131125. DOI 10.1016/j.foodchem.2021.131125.

2. Smit A. Prikladnaja IK-spektroskopija: osnovy, tehnika, analiticheskoe primenenie // Per. s angl. Tarasevicha B.N. - M.: Mir. - 1982. - 326 s. [in Russian]

3. Tarasevich B.N. IK spektry osnovnyh klassov organicheskih soedinenij. Spravochnye materialy//M.: MGU im. Lomonosova. -2012. - 55 s. [in Russian]

4. Yinghui Chai, Yue Yu, Hui Zhu, Zhanming Li, Hao Dong, Hongshun Yang. Identification of common buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench) adulterated in Tartary buckwheat (Fagopyrum tataricum (L.) Gaertn) flour based on near-infrared spectroscopy and chemometrics. //Current Research in Food Science. -2023.-Vol.7:100573. DOI 10.1016/j.crfs.2023.100573.

5. Omapalieva A.M., Botbaeva Zh.T., Agedilova M.T., Abilova M.B., Zhanajdapova A.E. Vlijanie SVCh obrabotki zernobobovyh kul' tur na svojstva bezgljutenovoj muki// Vestnik ENU imeni L.N. Gumileva. Serija Biologicheskie nauki.-2021.- № 4(137). – S.75-83. DOI 10.32523/2616-7034-2021-137-4-75-83. [in Russian]

6. Aigul Omaraliyeva, Botbayeva Zhanar, Mereke Agedilova, Meruyert Abilova, Aidana Zhanaidarova. Determining the optimal parameters of ultra-high-frequency treatment of chickpeas for the production of gluten-free flour//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. -2021.-Vol.5 (113). -51- 60 P. DOI 10.15587/1729-4061.2021.241877.

7. Omaralieva A.M., Botbaeva Zh.T. Aspekty sozdanija bezgljutenovyh produktov pitanija. Monografija//Nur-Sultan: Poligrafija «Z-Print». - 2022. - 230 s. [in Russian]

8. Sinyayev V.Аю, Toxeitova G.A., Batyrbayeva A.A., Sassykova L. R., Azhigulova R. N., Sakhipov Yею N. A comparative investigtion of the ir spectra of a carbohydrate series //Journal of Chemical Technology and Metallurgy. -2020.-Vol.55 (4). -P.724-729.

9. Nikonenko N.A., Buslov D.K., Sushko N.I., Zhbankov R.G. Analysis of the Structure of Carbohydrates with Use of the Regularized Deconvolution Method of Vibrational Spectra//BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi. -2002.-Vol.4.2.- 13-16.

10. Xinhui Wang, Xue Zhang, Dongjie Zhang. Enhancement of cation exchange and glucose binding capacity, flavonoids release and antioxidant capacity of Tartary buckwheat powder with ultrafine grinding //Frontiers in Nutrition. Sec. Nutrition and Food Science Technology. -2023.- Vol.10: 1276017. DOI 10.3389/fnut.2023.1276017.

11. Coţovanu I, Mironeasa S. Influence of Buckwheat Seed Fractions on Dough and Baking Performance of Wheat Bread//Agronomy. -2022.-Vol.12(1):137. DOI 10.3390/agronomy12010137.

Сведения об авторах

Агедилова М.Т. - кандидат химических наук, АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова», Астана, Казахстан, e-mail: amt5@yandex.ru;

Ботбаева Ж.Т. - кандидат биологических наук, АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова», Астана, Казахстан, e-mail: zhanar.b.t@mail.ru;

Омаралиева А.М. - кандидат технических наук, АО «Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова», Астана, Казахстан, e-mail: aigul-omar@mail.ru.

Information about the authors

Agedilova M.T. - candidate of Chemical Sciences, JSC "K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business",Astana, Kazakhstan, e-mail: amt5@yandex.ru;

Botbayeva Zh.T. - candidate of Biological Sciences, JSC "K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business", Astana, Kazakhstan, e-mail: zhanar.b.t@mail.ru;

Omaraliyeva A.M. - candidate of Technical Sciences, JSC "K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business", Astana, Kazakhstan, e-mail: aigul-omar@mail.ru.