

## Исследование влияния пищевых волокон на формы связи влаги в смесях с молочной сывороткой

Елена Грек, Елена Красуля

Национальный университет пищевых технологий, ул. Владимирская 68, г. Киев, Украина;  
тел. (+38044) 287-91-95; эл. почта [olena\\_krasulya@ukr.net](mailto:olena_krasulya@ukr.net)

Представлены результаты исследований функционально-технологических свойств пищевых волокон, которые входят в состав Citri-Fi (апельсинового диетического волокна), яблочного пектина в клетчатке и отрубей пшеничных. Методом, предложенным Шохом, установлена растворимость для указанных выше растительных ингредиентов как в воде, так и молочной сыворотке, которая для апельсиновых пищевых волокон соответственно составляет от  $(55,0 \pm 1,65)$  до  $(50,0 \pm 1,50)$  %, для отрубей пшеничных – от  $(21,0 \pm 0,63)$  до  $(18,0 \pm 0,54)$  %. Методом центрифугирования определена влагоудерживающая способность пищевых волокон. Наивысший результат был получен для Citri-Fi и составил  $(95,0 \pm 2,85)$  %, для гелеформирующих полисахаридов (яблочного пектина в клетчатке) –  $(84,0 \pm 2,52)$  %. Наименьший показатель зафиксирован для пшеничных отрубей –  $(58,0 \pm 1,74)$  %, что связано с присутствием нерастворимых соединений (клетчатки, лигнина и др.). Методом ИК-спектроскопии исследовано влияние различных форм связи влаги пищевых волокон в смесях с водой и молочной сывороткой. Выявлено непрерывное поглощение влаги спектров образцов с апельсиновыми пищевыми волокнами в полосах  $2668$  и  $2723 \text{ см}^{-1}$ , что свидетельствует о наличии прочных водородных связей и высокой концентрации подвижного протона, и, как следствие, высшей сорбционной способности к воде. Значения полос области валентных колебаний для смесей с пшеничными отрубями относятся к ОН-группам матрицы молочной сыворотки и воды, которые находятся в слабой Н<sup>+</sup>-связи, что свидетельствует о минимальной сорбционной способности к воде данных пищевых волокон. Полученные результаты исследований использованы для выбора содержащих пищевые волокна растительных ингредиентов, предназначенных для регулирования консистенции сывороточных напитков, а также придания полноты вкуса.

**Ключевые слова:** пищевые волокна, растворимость, влагоудерживающая способность, формы связанной влаги, ИК-спектроскопия, ферментированный сывороточный напиток.

### Введение

Для регулирования консистенции напитков могут использоваться продукты переработки злаковых культур (пшеничные отруби), пектин в клетчатке яблочный, сухие концентраты пищевых волокон цитрусовых (Citri-Fi). Их внесение в рецептуры ферментированных сывороточных напитков позволит обогатить продукты углеводами, витаминами, макро- и микроэлементами, пищевыми волокнами (ПВ), подчеркнуть полноту вкуса. Разработка технологии ферментированных напитков на основе молочной сыворотки с различными растительными ингредиентами способствует комплексной переработке вторичных молочных ресурсов, расширению ассортимента продуктов, производство которых можно осуществлять на существующем оборудовании молокоперерабатывающих предприятий.

Один из способов перевода свободной влаги в связанную – внесение влагосвязывающих компонентов (функциональных добавок, полисахаридов, пищевых волокон и др.). Пищевые волокна, входящие в состав растительных ингредиентов, характеризуются различной способностью сорбировать воду. Присутствие первичных и вторичных гидроксильных (целлюлозы, гемицеллюлозы), фенольных (лигнина), карбоксильных (гемицеллюлозы, пектиновых веществ) групп обуславливает межмолекулярное взаимодействие (водородные связи), способность сорбировать воду и другие полярные молекулы, ионы [1–2].

Влага поглощается ПВ в результате сорбции, накапливаясь на их поверхности, а затем распределяясь по всему объему путем диффузии. Поэтому влагоудерживающая способность ПВ определяется размером их частиц. В набухшем полимере различают воду связанную

(гидратационную) и свободную (капиллярную). Чем выше гидрофильные свойства полимера, тем больше он содержит связанной воды. Характер распределения пор по размерам влияет на прочность содержания влаги волокнами [3–4].

На Кафедре технологии молока и молочных продуктов НУПТ (Украина), разработана технология сывороточных напитков брожения с пищевыми волокнами. В основу технологии положены исследования рациональных доз внесения ПВ для обеспечения необходимых реологических показателей (контроль – динамическая вязкость до  $1 \cdot 10^{-2}$  Па·с). Для повышения вязкости были выбраны растительные ингредиенты, содержащие следующее количество ПВ: Citri-Fi – 75,3 %, яблочный пектин в клетчатке – 66,7 %, отруби пшеничные пищевые – 49,4 % [5].

Для определения технологических свойств данных ингредиентов в молочной сыворотке были исследованы их влагоудерживающая способность и растворимость.

Влагоудерживающая способность (ВУС) растительных ингредиентов – показатель, определяющий способность повышения вязкости водных систем и характеризующийся степенью адсорбции воды. Способность пищевых волокон удерживать влагу связана со степенью гидрофильности и количеством присутствующих в них биополимеров, характером поверхности и пористости частиц, их размерами. Пищевые волокна сочетают в своем составе биополимеры с разным отношением к воде. Так, пектиновые вещества и некоторые гемицеллюлозы относятся к категории гидрофильных коллоидов. Целлюлоза, будучи нерастворимой в воде, обладает большим количеством гидроксильных групп и развитой системой тонких субмикроскопических капилляров, определяющих их способность поглощать и удерживать воду. Лигнин – вещество ароматического происхождения, наименее гидрофильное [2–4].

Растворимость пищевых волокон в водной среде обусловлена присутствием растворимых соединений – некоторых белков, углеводов (к которым в частности относятся отдельные виды пектиновых веществ, крахмал), и нерастворимых – клетчатки, лигнина и др.

Метод ИК-спектроскопии широко используется для идентификации химических соединений, функционального анализа, выяснения природы меж- и внутримолекулярных взаимодействий, изучения водородных связей и др. Данный метод достаточно информативный при изучении сорбционных процессов с участием

воды. Поэтому метод ИК-спектроскопии был применен для определения форм связанной влаги как в ПВ, так и их водно- и сывороточно-растительных смесях.

## Материалы и методы

В качестве объектов были выбраны пищевые волокна Citri-Fi – апельсиновое диетическое волокно (Заключение государственной санитарно-эпидемиологической экспертизы № 05.03.02-03/50735 от 14.08.2009 относительно “Citri-Fi 200”), пшеничные отруби (ТУ У 00951706-004-98), яблочный пектин в клетчатке (ТУ У 30335750.001-2000) и их технологические свойства в молочной сыворотке. На первом этапе определяли влагоудерживающую способность и растворимость. Исследования проводились в различных дисперсионных средах – воде и нативной молочной сыворотке, имеющей следующие показатели.: массовая доля сухих веществ – 6,5 %, лактозы – 4,6 %, белка – 1,3 %, титруемая кислотность – 75 °Т. С целью уничтожения посторонней микрофлоры молочную сыворотку подвергали тепловой обработке при температуре  $(74 \pm 2)$  °С с выдержкой 15–20 с.

Влагоудерживающую способность растительных ингредиентов определяли методом центрифугирования, этот показатель равен массе воды, которую удерживает 1 г сухого волокна в водных условиях. Растворимость определяли по методу, предложенному Шохом [6].

Для исследования степени связанной влаги на первом этапе готовили смеси как на основе воды, так и молочной сыворотки. ПВ вносились в следующих количествах: апельсиновые ПВ – 0,3 %, яблочный пектин в клетчатке – 2,0 %, отруби пшеничные пищевые – 3,0 % (дозы растительных ингредиентов выбраны в соответствии с результатами предыдущих исследований). Полученные образцы высушивали и измельчали в яшмовой ступке и тщательно перемешивали – 2 г с 3–4 каплями чистого вазелинового масла (нуйола) до получения суспензии. В качестве внутреннего стандарта использовали нуйол, который не имеет дополнительных полос в области поглощения воды. ИК-спектр суспензии снимали методом раздавленной капли между окошками КРС-5 на FTIR-спектрофотометре “Nexus” фирмы “Nicotel”, США. Режим съемки: диапазон сканирования –  $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ , число сканов в секунду – 7, интервал сканирования –  $1\text{ см}^{-1}$ .

## Результаты и их обсуждение

В результате экспериментальных исследований получены показатели ВУС и

растворимости растительных ингредиентов, имеющих в своем составе пищевые волокна (таблица 1).

**Таблица 1.** Влагодерживающая способность и растворимость растительных ингредиентов с пищевыми волокнами

**Table 1.** Moisture binding capacity and solubility of vegetable ingredients containing dietary fibers

Среда	Яблочный пектин в клетчатке	Апельсиновые ПВ	Пшеничные отруби
<i>Влагодерживающая способность, проц.</i>			
Вода (контроль)	90,0±2,70	96,0±2,88	62,0±1,86
Сыворотка молочная	84,0±2,52	95,0±2,85	58,0±1,74
<i>Растворимость, проц.</i>			
Вода (контроль)	35,0±1,05	55,0±1,65	21,0±0,63
Сыворотка молочная	33,0±0,99	50,0±1,50	18,0±0,54

Растворимость всех пищевых волокон в воде на 5–7 % выше, чем в сыворотке, что объясняется содержанием в ней поверхностно-активных веществ (аминокислот, пептидов, жирных кислот и др.), которые адсорбируются на поверхности растительных ингредиентов, образуя защитный слой и препятствуя доступу жидкости. Самый высокий показатель растворимости наблюдается для Citri-Fi (в воде – (55,0±1,65) %, сыворотке – (50,0±1,50) %). Такие данные объясняются содержанием в апельсиновых ПВ почти 40 % растворимой клетчатки, пектиновых и других веществ, обеспечивающих высокую растворимость.

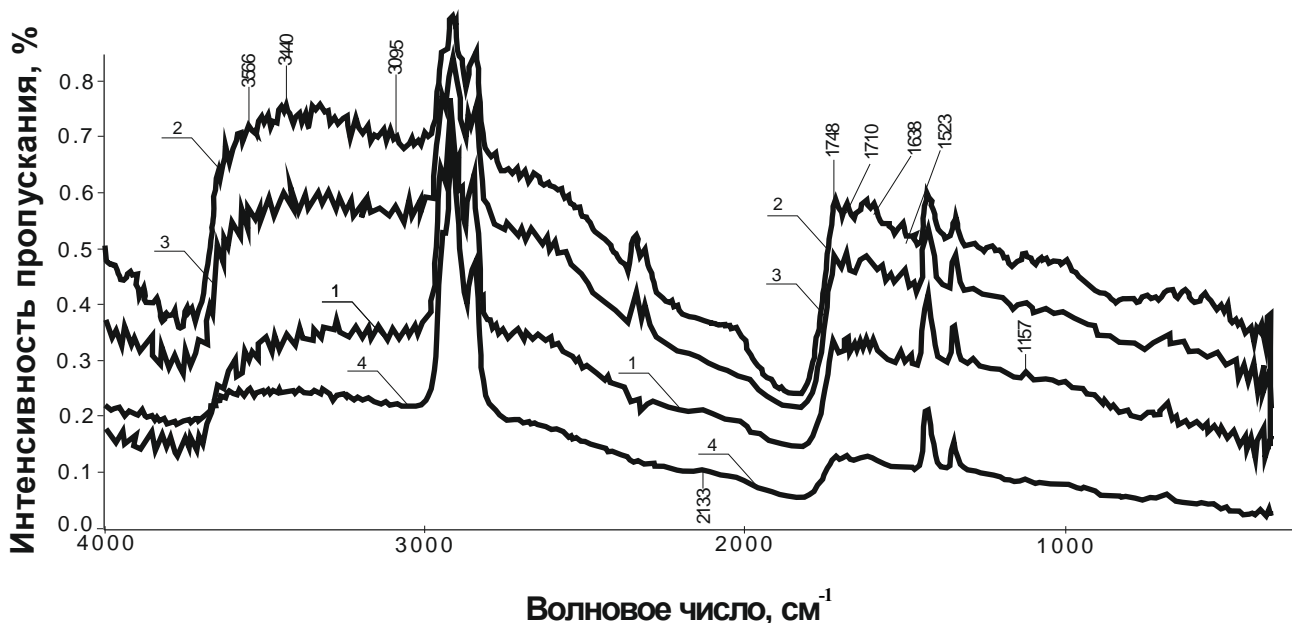
В образце с яблочным пектином в клетчатке наблюдается достаточно высокий показатель растворимости – (35,0±1,05) %, что объясняется значительным содержанием углеводов (водорастворимых пектиновых веществ) в яблочном порошке – 48,7 %. В пшеничных отрубях повышенное содержание водонерастворимых углеводов – пищевых волокон, лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы (26,9; 2,8; 10,3 и 12,7 %), что способствует снижению растворимости данных растительных ингредиентов до (21,0±0,63) % – в воде, (18,0±0,54) – в сыворотке.

Похожую тенденцию наблюдали при определении влагодерживающей способности – наивысшие показатели имеют апельсиновые ПВ: (95,0±2,85) % – в сыворотке, (96,0±2,88) % – в воде, что объясняется присутствием в Citri-Fi пектиновых веществ и растворимой клетчатки.

Для более глубокого изучения связей ПВ с сывороткой использовали ИК-спектроскопию. Отнесение полос пропускания ИК-спектров молочной сыворотки, пищевых волокон и их смесей с водой и молочной сывороткой представлено на рисунках 1–3.

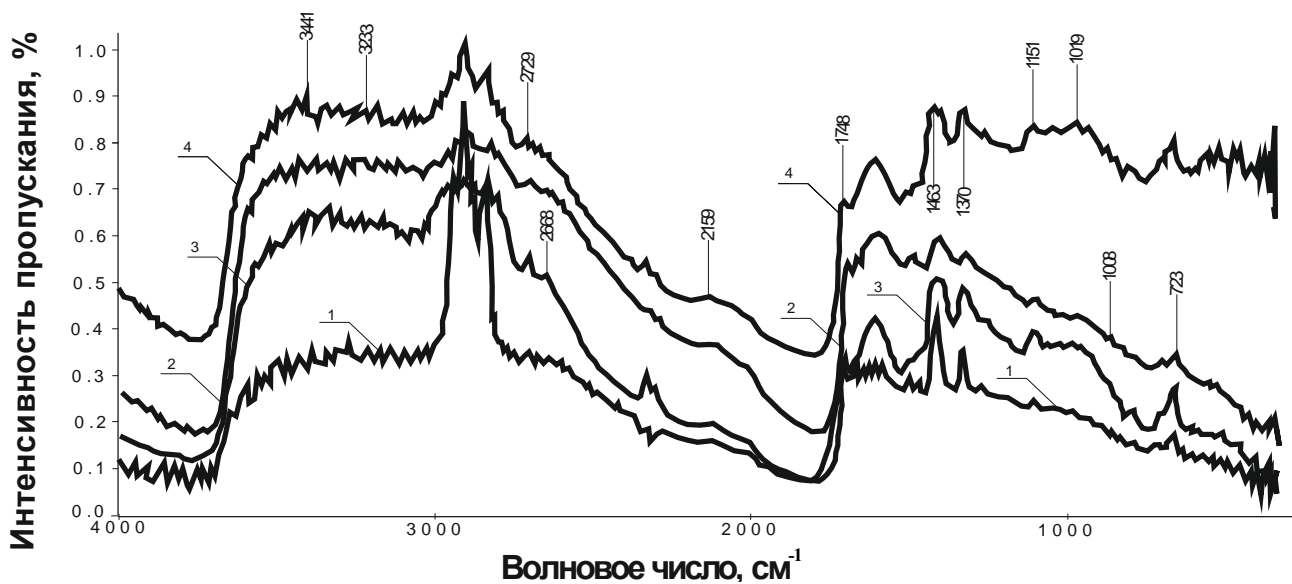
Как видно на рис. 1, во всех спектрах наблюдаются четкие полосы в области валентных колебаний C=O (1748, 1710 см<sup>-1</sup>), C-O (1157 см<sup>-1</sup>) и слабо Н<sup>+</sup>-связанных О-Н (3566 см<sup>-1</sup>) групп. Две полосы C=O, а также C-O и ОН могут свидетельствовать о наличии двух типов карбоксильных групп  $(-C\begin{smallmatrix} \text{O} \\ \text{O} \end{smallmatrix})$ .

Характерными полосами воды является широкая полоса ОН-валентного колебания в области 3440 см<sup>-1</sup> в образцах (1–3) и деформационное ножничное колебание 1638 см<sup>-1</sup> во всех образцах. Широкие полосы в области 3440 и 1638 см<sup>-1</sup>, наблюдаемые на всех спектрах, принадлежат соответственно валентному и деформационному колебанию воды. Поглощение воды в области выше 3400 см<sup>-1</sup> обусловлено слабыми водородными связями, наблюдаемыми в спектре молочной сыворотки (1) и отрубей пшеничных пищевых (2) (полоса 3440 и 3566 см<sup>-1</sup>). Поглощения в области 3400–3600 см<sup>-1</sup> относятся к ОН-группам матрицы как молочной сыворотки, так и воды, которые находятся в слабой Н-связи. Это свидетельствует о минимальной сорбционной способности отрубей пшеничных пищевых.



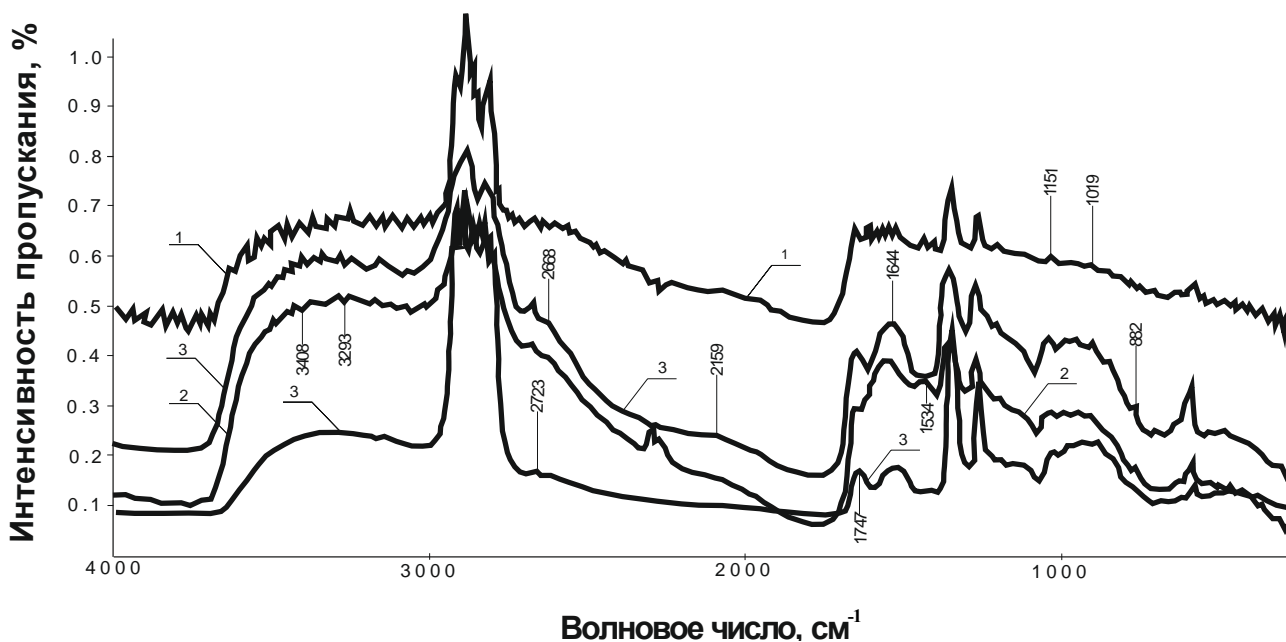
**Рис. 1.** Инфракрасные спектры пропускания: 1 – сухая молочная сыворотка; 2 – отруби пшеничные пищевые; 3 – смесь воды с отрубями пшеничными пищевыми; 4 – смесь творожной сыворотки с отрубями пшеничными пищевыми

**Fig. 1.** Infrared transmittance spectra: 1 – dry milk whey; 2 – dietary wheat bran; 3 – water mixed with dietary wheat bran; 4 – milk whey mixed with dietary wheat bran



**Рис. 2.** Инфракрасные спектры пропускания: 1 – сухая молочная сыворотка; 2 – яблочный пектин в клетчатке; 3 – смесь воды с яблочным пектином в клетчатке; 4 – смесь творожной сыворотки с яблочным пектином в клетчатке

**Fig. 2.** Infrared transmittance spectra: 1 – dry milk whey; 2 – apple pectin in fiber; 3 – water mixed with apple pectin in fiber; 4 – milk whey mixed with apple pectin in fiber



**Рис. 3.** Инфракрасные спектры пропускания: 1 – сухая молочная сыворотка; 2 – апельсиновые ПВ; 3 – смесь воды с апельсиновыми ПВ; 4 – смесь творожной сыворотки с апельсиновыми ПВ

**Fig. 3.** Infrared transmittance spectra: 1 – dry milk whey; 2 – orange dietary fiber; 3 – water mixed with orange dietary fiber; 4 – milk whey mixed with orange dietary fiber

Приведенные на рис. 2 спектральные исследования молочной сыворотки (1), яблочного пектина в клетчатке (2), смеси воды с яблочным пектином в клетчатке (3) и смеси творожной сыворотки с яблочным пектином в клетчатке (4) свидетельствуют о проявлении четких полос спектральных связей в области валентных колебаний C=O (1748 см<sup>-1</sup>), C-O (1151 см<sup>-1</sup>) групп. Две полосы C=O, а также C-O и OH, как и на предыдущем рисунке, могут свидетельствовать о наличии двух типов карбоксильных групп  $(-C \begin{smallmatrix} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O}^- \end{smallmatrix})$ .

Характерными полосами воды является широкая полоса OH-валентного колебания в области 3441 см<sup>-1</sup> в образцах (1–4). Широкое непрерывное поглощение в области 2688 см<sup>-1</sup> (3) и ниже обусловлено подвижным протоном кислот и щелочей в воде. Чем выше кислотность или щелочность, тем выше подвижность H<sup>+</sup> и шире и интенсивнее поглощение в диапазоне ниже 3000 см<sup>-1</sup>, что наблюдается в спектре (2, 3, 4) – полоса 2729 см<sup>-1</sup>. Непрерывное поглощение ниже 3000 см<sup>-1</sup> свидетельствует о наличии прочных водородных связей и высокой концентрации подвижного протона. Широкая

полоса 2159 см<sup>-1</sup> образцов (1–4) обусловлена H<sup>+</sup>-связью, когда подвижный протон “туннелирует” сквозь энергетический барьер между двумя атомами кислорода.

В ИК-спектрах пропускания сухой молочной сыворотки (образец 1), апельсиновых ПВ (2), смеси воды с апельсиновыми ПВ (3) и смеси творожной сыворотки с апельсиновыми ПВ, приведенных на рис. 3, наблюдаются колебания связей C=O (1753 см<sup>-1</sup>), C-O (1151 см<sup>-1</sup>) и слабо H<sup>+</sup>-связанных O-H (3408 см<sup>-1</sup>) групп.

Также наблюдается широкая полоса 2159 см<sup>-1</sup> образцов 2 и 3, что обусловлено мостовой H<sup>+</sup>-связью. Появление полос 2668 и 2723 см<sup>-1</sup> в образцах 2–4 может свидетельствовать об образовании прочных H<sup>+</sup>-связей мостового типа и появлением диссоциированного подвижного протона.

Спектральные проявления таких связей обнаружены в образце смеси воды с апельсиновыми ПВ (3) (полоса 2159 см<sup>-1</sup>). Относительная интенсивность полос воды наибольшая в данном спектре, в котором кроме H<sup>+</sup>-формы карбоксильной группы фиксируется и солевая (полоса 1534 см<sup>-1</sup>).

Характерной особенностью спектров композиционных смесей с апельсиновыми ПВ является четкое увеличение относительной интенсивности полосы  $1741\text{ см}^{-1}$  (3), которая характерна для  $\text{H}^+$ -формы карбоксильной группы. Присутствие широкой полосы  $\text{OH}$ -валентного колебания в области ниже  $3000\text{ см}^{-1}$  свидетельствует о связывании влаги, главным образом, за счет водородных связей, что подтверждено соответствующими ИК-спектрами, представленными на рис. 3. Полученные результаты свидетельствуют о способности связывания значительного количества воды и удержания ее на протяжении всего времени выработки и хранения сывороточного напитка.

Как видно из спектральных данных, максимальную сорбционную способность к воде имеют смеси с апельсиновыми ПВ. Для всех исследованных образцов наблюдается два типа сорбированной воды с разной силой водородной связи. Относительная интенсивность  $\text{C}=\text{O}$  полосы карбоксильной группы увеличивается в направлении отруби пшеничные  $\rightarrow$  яблочный пектин в клетчатке  $\rightarrow$  апельсиновые пищевые волокна. Последние имеют лучшую влагоудерживающую способность за счет высокой удельной поверхности частиц и специальной механической обработке цитрусовых путем раскрытия и растворения структуры ячеек волокна без использования химических реагентов.

## Выводы

1. Выбрано и обосновано использование для сывороточных напитков брожения растительных ингредиентов, содержащих пищевые волокна, Citri-Fi и яблочного пектина в клетчатке.
2. На основании данных ИК-спектроскопии установлена сорбционная способность различных исследованных пищевых волокон как в воде, так и в сыворотке.
3. Изучены технологические свойства растительных ингредиентов (влагоудерживающая способность, растворимость) в воде и сыворотке, условия их внесения в молочную сыворотку с целью регулирования консистенции, придания полноты вкуса напиткам, включая ферментированные.

## Литература

1. Cui S. W., Nie S., Roberts K. T. Functional properties of dietary fiber // *Comprehensive Biotechnology* (Second Edition). 2011. Vol. 4. P. 517–525.

2. Elleuch M., Bedigian D., Roiseux O., Besbes S., Blecker C., Attia H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review // *Food Chemistry*. 2011. Vol. 124, Iss. 2. P. 411–421.
3. Полянский К. К., Глаголева Л. Э., Ряховский Ю. В. Пищевые волокна в молочных продуктах // *Молочная промышленность*. 2001. № 6. С. 41.
4. Guillon F., Champ M. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology // *Food Research International*. 2000. Vol. 33, Iss. 3–4. P. 233–245.
5. Грек Е. В., Красуля Е. А. Напитки брожения на основе молочной сыворотки / Актуальные проблемы переработки мясного и молочного сырья // Сб. науч. тр. РУП Институт мясо-молочной промышленности. Минск, 2012. Вып. 6. С. 101–106.
6. Денильчук Л. В., Сердюк Л. В., Евдокимова Г. И., Батт О. В. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу “Биохимия зерна и продуктов его переработки”. Одесса, ОТИПП, 1990. 61 с.

Pateikta spaudai 2013-02

E. Grek, E. Krasulia

## STUDY OF DIETARY FIBER IMPACT ON MOISTURE BINDING FORMS IN MIXTURES CONTAINING MILK WHEY

### Summary

The paper provides the results of studies on functional and process features of dietary fibers contained in Citri-Fi (orange dietary fiber), apple pectin in fiber, and wheat bran. The water and milk whey solubility, as determined using Schoch's method, for orange fiber ranged from  $(55.0 \pm 1.65)$  to  $(50.0 \pm 1.50)$  %, and for wheat bran, from  $(21.0 \pm 0.63)$  to  $(18.0 \pm 0.54)$  %, respectively. The moisture binding capacity of dietary fiber was determined using centrifugal separation. Citri-Fi was found to be the most efficient moisture binder, reaching  $(95.0 \pm 2.85)$  %, and for gel formers polysaccharides (apple pectin in fiber),  $(84.0 \pm 2.52)$  %. Wheat bran displayed the lowest levels,  $(58.0 \pm 1.74)$  %, which was due to insoluble substances contained in them (fiber, lignin, etc.). The impact of various forms of moisture binding by dietary fiber in mixes with water and milk whey was studied using IR spectroscopy. Continuous moisture absorption was detected for samples with orange fiber within the bands  $2668$  and  $2723\text{ cm}^{-1}$ , which signals the presence of strong hydrogen bounds and high concentration of mobile protons, resulting in the highest water sorption capacity. The values of the bands within the range of valence fluctuations for wheat bran mixes pertain to those milk whey and water OH groups possessing weak  $\text{H}^+$  bonds, which evidences minimal water sorption capacity of such dietary fibers. The results were used to select vegetable

ingredients containing dietary fibers for whey drinks, including fermented, as well as to control their consistency, amplify and enrich the taste.

**Key words:** dietary fibers, solubility, moisture binding capacity, forms of bound moisture.

J. Grek, J. Krasulia

## MAISTO SKAIDULŲ ĮTAKA DRĖGMĖS RYŠIŲ FORMOMS MIŠINIUOSE SU IŠRŪGOMIS

### Santrauka

Tirtos maisto skaidulų, įeinančių į Citri-Fi (apelsinų dietinių skaidulų), obuolių pektino bei kviečių sėlenų sudėtį, funkcinės savybės. Šocho metodu nustatytas šių augalinių ingredientų tirpumas vandenyje bei išrūgose. Apelsinų skaidulų jis buvo nuo (55,0±1,65) iki (50,0±1,50) %, kviečių sėlenų – nuo (21,0±0,63) iki (18,0±0,54) %. Centrifugavimo metodu nustatytas skaidulų hidratacinis aktyvumas, didžiausias jis buvo Citri-Fi – (95,0±2,85) %, gelius formuojančių

polisacharidų (obuolių pektino ląstelienoje) – (84,0±2,52) %. Mažiausias šis rodiklis nustatytas kviečių sėlenų – (58,0±1,74) %. Tai sąlygoja netirpūs junginiai (ląsteliena, ligninas ir kt.). IR-spektroskopijos metodu analizuotas maisto skaidulų vandens ryšio formų sudarymo intensyvumas mišiniuose su vandeniu ir išrūgomis. Nustatyta pastovi apelsinų maisto skaidulų mėginių spektrų vandens absorbcija 2668–2723 cm<sup>-1</sup> diapazonuose, tai liudija apie stiprius vandenilio ryšius ir didelę judrių protonų koncentraciją. Šie faktoriai užtikrina didelį hidratacinį pajėgumą. Kviečių sėlenų mišinių valentinių svyravimų juostų reikšmės sąlygojamos išrūgų bei vandens OH-ryšio grupėmis. Tai byloja apie minimalų šių maisto skaidulų sorbcinį pajėgumą. Tyrimo rezultatai panaudoti parenkant augalinius maisto skaidulų priedus, skirtus išrūgų gėrimų konsistencijai reguliuoti, o taip pat skoniui pagerinti.

**Raktažodžiai:** maisto skaidulos, tirpumas, hidratacinės savybės, vandens ryšio formos, IR-spektroskopija, fermentuotas išrūgų gėrimas.