

УДК 664.844.002.237

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОВОЩЕЙ**Р.А. ДРОЗДОВ, М.А. КОЖУХОВА, М.М. БОРИСОВА, Т.А. ДРОЗДОВА**

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;
электронная почта: 79528274536@yandex.ru, marinakozh@yandex.ru*

В статье изучены кинетика процесса набухания, влагоудерживающая и сорбционная способности концентратов пищевых волокон моркови и тыквы, полученных из вторичных сырьевых ресурсов производства соков. Результаты подтверждают перспективность использования пищевых волокон овощей в составе хлебобулочных и кондитерских изделий не только в качестве источника функциональных ингредиентов, но и как добавку природного происхождения, способную формировать органолептические свойства готового продукта. **Ключевые слова:** пищевые волокна овощей, вторичные сырьевые ресурсы, кинетика набухания, влагоудерживающая и сорбционная способность

Современная наука уделяет большое внимание разработке продуктов для лечебно-профилактического, специализированного и функционального питания, обогащенных различными биологически активными веществами, в том числе и пищевыми волокнами (ПВ).

ПВ - один из важнейших компонентов здорового питания. Они оказывают позитивное воздействие на целый ряд физиологических функций человеческого организма и способствуют улучшению его состояния в целом. Многими исследованиями доказано, что недостаточное поступление в организм ПВ на фоне высокого потребления углеводов и жиров повышает риск возникновения диабета, ожирения, сердечно-сосудистых заболеваний, некоторых видов рака [1].

В связи с этим растет интерес потребителей к продуктам, обогащенным ПВ, что в свою очередь стимулирует исследования, направленные на поиск новых источников ПВ, изучение свойств и расширение сферы их применения.

Перспективная область применения ПВ – хлебопекарная и кондитерская промышленность. Показано, что использование ПВ при производстве мучных изделий не только придает им функциональные свойства, но и улучшает <http://ntk.kubstu.ru/file/2859>

реологические показатели теста, упрощает формование, снижает закладку эмульгирующих веществ, улучшает адгезионные свойства пряников и вафельной продукции, сокращает время замеса, увеличивает выход, срок хранения и свежесть хлеба, кексов, печенья и других продуктов [2,3].

Из литературных источников известно, что ПВ получают из злаковых и бобовых культур (пшеницы, кукурузы, сои), плодов и овощей (апельсинов, грейпфрутов, яблок, бананов, картофеля, томатов, свеклы), ягод, травянистых растений и продуктов их переработки [4,5].

В последнее время внимание исследователей направлено на всестороннее изучение ПВ, получаемых из вторичных сырьевых ресурсов переработки фруктов и овощей, главным образом из выжимок, образующихся при производстве соков [6]. Установлено, что ПВ фруктов и овощей отличаются более высоким отношением растворимых волокон к нерастворимым, малым содержанием фитиновой кислоты и повышенной биологической активностью за счет наличия антиоксидантов, витаминов, полифенольных веществ. Они обладают как физиологической, так и технологической функциональностью. В работе [7] показано, что добавление ПВ яблок, моркови и цитрусовых плодов в муку в количестве 5% влияет на вязкоупругие свойства теста, его водоудерживающую способность, а также органолептические показатели кексов. Использование ПВ тыквы и моркови в составе теста для печенья повышает его стабильность, адсорбцию влаги, улучшает структуру и прочность готовой продукции [8]. Исследуя технологический потенциал ПВ, полученных из плодоовощного сырья, авторы работы [9] пришли к выводу, что они являются перспективными функциональными ингредиентами, особенно для продуктов диетического назначения. С другой стороны отмечается, что эффективность ПВ зависит от их химического состава, источника получения, технологии обработки и способа внесения в пищевой продукт.

Важными функциональными свойствами ПВ, определяющими их поведение в пищевых системах и некоторые физиологические эффекты,

являются способность к набуханию, абсорбции влаги и ионов тяжелых металлов.

Целью нашей работы было определить функциональные свойства концентратов пищевых волокон, полученных из продуктов переработки тыквы и моркови.

Объектами исследования служили концентраты пищевых волокон (КПВ) овощей, которые получали следующим образом: промытые и очищенные овощи измельчали, отделяли сок на лабораторной центрифуге, выжимки высушивали с помощью инфракрасного излучения при температуре $55 \pm 2^\circ\text{C}$ до остаточного влагосодержания 7-9%, измельчали и рассеивали на лабораторных ситах на фракции. Для дальнейших исследований использовали фракцию с размером частиц: 146-258 мкм.

Кинетику процесса набухания КПВ изучали согласно методу, приведенному в работе [10]. Для этого 0,2 г КПВ взвешивали на аналитических весах, переносили в градуированную пробирку объемом 10 см³, доводили объем до метки дистиллированной водой и полученную смесь выдерживали в течение 2 часов при температуре 20 и 40°C. Через каждые 10 минут измеряли объем, занимаемый КПВ. Степень набухания определяли по следующей формуле:

$$W_t = \frac{V}{m}, \quad (1)$$

где W_t – степень набухания, мл/г;

V – объем, занимаемый образцом, мл;

m – вес исходного образца, г.

Константу скорости набухания рассчитывали по методике, приведенной в работе [11], при этом исходили из предположения, что процесс набухания КПВ протекает как реакция первого порядка, для которой уравнение имеет следующий вид:

$$\frac{dW_t}{dt} = K[W_{t \max} - W_t(t)], \quad (2)$$

где t – время набухания, мин;

K – константа скорости набухания, которая характеризует способность КПВ к набуханию, мин^{-1} ;

$W_{t \max}$ – предельное количество поглощенной при набухании жидкости или так называемая равновесная степень набухания, мл/г ;

$W_t(t)$ – количество поглощенной при набухании жидкости на 1 г сухого КПВ за определенное время t , мл/г

Интегрируя уравнение (2), получаем следующее выражение для вычисления константы скорости набухания:

$$K = \frac{1}{t} \frac{\ln W_{t \max}}{W_{t \max} - W_t(t)} \quad (3)$$

Адекватность полученных результатов констант скорости набухания КПВ овощей подтверждены коэффициентами детерминации ($R^2 > 0,95$).

Влагоудерживающую способность КПВ определяли методом центрифугирования: этот показатель равен массе воды, которую удерживает 1 г сухого волокна [12].

Сорбционную способность КПВ по отношению к ионам свинца (Pb^{2+}) и никеля (Ni^{2+}) определяли методом комплексонометрического титрования [13].

Важным свойством ПВ является способность к набуханию, которое играет существенную роль при разработке технологических режимов и формировании качества продукции, обогащенной данными функциональными ингредиентами.

В связи с этим, проведены исследования, направленные на изучение закономерностей процесса набухания КПВ моркови и тыквы. Результаты представлены на рисунке 1.

Время и степень набухания необходимо учитывать при использовании высушенных КПВ в составе пищевых продуктов. Как видно из сравнения графиков, приведенных на рисунке 1, наилучшей способностью к набуханию

и меньшим временем достижения равновесного влагосодержания отличается КПВ, полученные из тыквы.

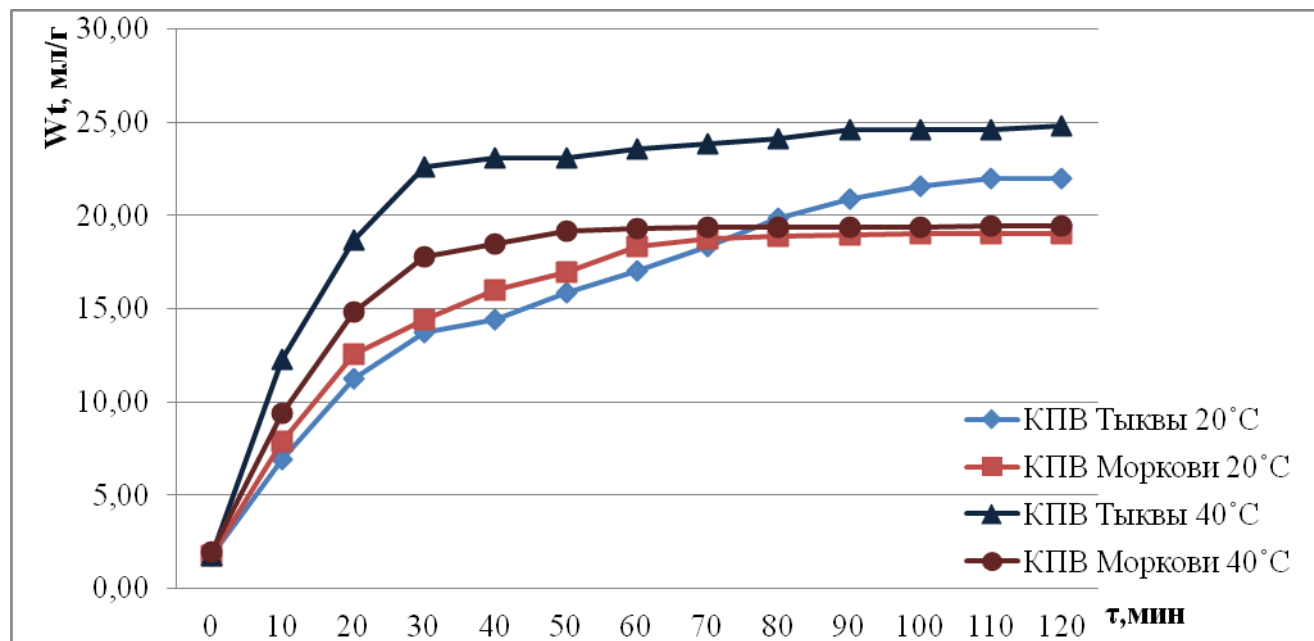


Рисунок 1 – Зависимость степени набухания от времени при температуре 20°С и 40°С

При повышении температуры с 20 до 40°С степень набухания КПВ тыквы увеличивается в 1,18 раза, а для моркови данный показатель составляет 1,02 раза, т.е. изменяется незначительно. Также отмечено, что время достижения максимальной степени набухания при 40°С сокращается: у КПВ тыквы в 1,2 раза, моркови -1,6 раза.

Данные результаты подтверждены рассчитанной константой скорости набухания, а достоверность расчетов подтверждены коэффициентами детерминации ($R^2 > 0,95$). Результаты представлены в таблице 1.

Константы скорости набухания КПВ моркови и тыквы, в сравнении представлены на рынке ПВ, сопоставимы с пшеничными (2,3 и 3,3 мин⁻¹ при 20 и 40°С соответственно) и превосходят свекловичные (1,09 и 1,5 при 20 и 40°С соответственно). В результате чего можно судить о конкурентноспособности КПВ, полученных из ВСР сокового производства, по данному показателю.

Водоудерживающая способность обусловлена образованием множества водородных связей между полисахаридами, входящими в состав ПВ, и водой.

Количество абсорбированной влаги связано с такими важными показателями, как сохранение свежести хлебопродуктов и замедление черствения. Установлена также корреляция между водоудерживающей и катионообменной способностью нерастворимых ПВ и снижением уровня холестерина в крови [14].

Таблица 1 – Физико-химические показатели КПВ моркови и тыквы

Наименование показателя	КПВ моркови	КПВ тыквы
Степень набухания, г/г		
20°C	18,96	21,01
40°C	19,40	24,82
Время достижения равновесного влагосодержания, мин		
20°C	80	110
40°C	50	90
Константа скорости набухания, мин ⁻¹		
20°C	2,86	3,27
40°C	3,06	3,46
Коэффициент детерминации (R ²) при расчете константы скорости набухания		
20°C	0,9842	0,9796
40°C	0,9947	0,9955
Влагоудерживающая способность, %	61,26	72,14
Связывающая способность, %		
- Pb ²⁺	60,2	69,3
- Ni ²⁺	47,4	53,8

Из результатов, представленных в таблице 1 видно, что большей влагоудерживающей способностью обладает КПВ тыквы. Это связано с количественным соотношением растворимых и нерастворимых ПВ в составе концентратов: для КПВ моркови это соотношение равно 43:7, а для тыквы – 39:11.

Из литературных источников известно, что у применяемых в настоящее время в хлебобулочной и кондитерской отраслях источников ПВ, таких как «Цитри-Фай 100» и пшеничных отрубей, влагоудерживающая способность равна 68±3% и 62±2% соответственно. При сравнении этих показателей с аналогичными, полученными для КПВ моркови и тыквы, можно сделать вывод о перспективности их применения в составе хлебобулочных изделий не только <http://ntk.kubstu.ru/file/2859>

как источников ПВ, но и как технологических добавок, способных сохранять свежесть хлебопродуктов и замедлять черствение.

Многими отечественными и зарубежными учеными доказано, что ПВ, благодаря своей пористо-волокнутой структуре, обладают способностью связывать и выводить ионы тяжелых металлов и радионуклиды из организма человека.

Наиболее распространенными тяжелыми металлами на территории Краснодарского края, с которыми контактируют работники промышленных предприятий и сельского хозяйства, являются свинец и никель. При этом известно, что свинец имеет первую, а никель – вторую степень опасности по отношению к здоровью человека [15].

Как видно из представленных в таблице 1 данных, наибольшей связывающей способностью по отношению к ионам свинца обладают КПВ тыквы, меньшей – КПВ моркови, при этом данная закономерность сохраняется и по отношению к ионам никеля.

В работе [16] определены значения связывающей способности некоторых полисахаридов, используемых в пищевой промышленности, и показано, что пектиновые вещества могут связать до 90% ионов свинца и до 60% ионов никеля, данные показатели для каррагинана составляют до 50% и до 40% соответственно. Проводя сравнение между связывающей способностью исследуемых КПВ и полисахаридов, можно отметить, что КПВ овощей несколько уступают пектиновым веществам, но превосходят каррагинан.

Благодаря содержанию в составе КПВ натурального красящего вещества β -каротина: у моркови – 81,38 мг/100 г, тыквы – 90,8 мг/100 г, они могут окрашивать мякоть хлебобулочных и кондитерских изделий в желтые цвета, что способствует улучшению органолептических и потребительских свойств готового продукта.

Проведенные исследования показали, что высушенные КПВ моркови и тыквы, обладают водосвязывающей, водоудерживающей и сорбционными способностями, что подтверждает перспективность их использования в составе <http://ntk.kubstu.ru/file/2859>

хлебобулочных и кондитерских изделиях не только в качестве источника функциональных ингредиентов, но и как добавок, обладающих способностью формировать органолептические свойства готового продукта и продлевать срок его хранения. Оптимальная дозировка исследованных КПВ будет зависеть от особенностей состава и технологии пищевых продуктов, в которых предусматривается их использование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Barbara A. Williams, Deirdre Mikkelsen, Bernadine M. Flanagan, Michael J. Gidley. “Dietary fibre”: moving beyond the “soluble/insoluble” classification for monogastric nutrition, with an emphasis on humans and pigs // Journal of Animal Science and Biotechnology – 2019.– P. 1-12
2. Ktenioudaki A., Gallagher E. Recent advances in the development of high-fibre baked products //Trends in Food Science & Technology. – 2012. – Volume 28. – P. 4-14
3. Almeida E. L., Chang Y. K., Steel C. J. Dietary fibre sources in bread: Influence on technological quality //LWT - Food Science and Technology. – 2013. – Volume 50 . – Issue 2. – P. 545-553
4. Inmaculada M.A., Araceli R.C. et. al. Pea pod, broad bean pod and okara, potential sources of functional compounds // LWT-Food Science and Technology. – 2010.– P. 1467-1470
5. Донченко Л.В. Возможность использования вторичных сырьевых ресурсов свеклосахарного производства для дальнейшей переработки / Л.В. Донченко, С.Е. Ковалева, Н.В. Демина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ. –2006. –№21
6. Патент РФ № 2626536, 17.05.2016 г. Дроздов Р.А., Кожухова М.А., Бархатова Т.В., Хрипко И.А., Маренич А.М., Дроздова Т.А. Способ получения молочного функционального продукта // Патент РФ №2626536. 2016 г. RU 2 626 536 C1
<http://ntk.kubstu.ru/file/2859>

7. Zahide Kırbaş, Seher Kumcuoglu, Sebnem Tavman. Effects of apple, orange and carrot pomace powders on gluten-free batter rheology and cake properties // *Journal of Food Science and Technology* – 2019. – Volume 56. – Issue 2. – P. 914-926

8. Secil Turksoy, Berrin Özkaya. Pumpkin and Carrot Pomace Powders as a Source of Dietary Fiber and Their Effects on the Mixing Properties of Wheat Flour Dough and Cookie Quality // *Food Science and Technology Research* – 2011. – Volume 17. – Issue 6. – P. 545-553

9. Jindřiška Kučerová, Viera Šottníková, Šárka Nedomová. Influence of Dietary Fibre Addition on the Rheological and Sensory Properties of Dough and Bakery Products // *Czech Journal of Food Sciences (CJFS)*. – 2011. – Volume 4.– P. 340-346

10. Sowbhagya H.B., Florence Suma P., et. al Spent residue from cumin – a potential source of dietary fiber // *Food Chemistry* – 2007. – P. 1220–1225

11. Yan Zhang, Pingqiang Gao, Lin Zhao, Yizhong Chen. Preparation and swelling properties of a starch-g-poly(acrylic acid)/organo-mordenite hydrogel composite // *Frontiers of Chemical Science and Engineering*. – 2016. – Volume 10. – Issue 1. – P. 147-161.

12. Грек Е., Красуля Е. Исследование влияния пищевых волокон на формы связи влаги в смесях с молочной сывороткой // *Maisto Chemija Ir Technologija*. – 2013. – Том 47. – №1. – С. 15-21.

13. Комплексные соединения в аналитической химии / Умланд Ф., Янсен А., Тириг Д. и др.// – М.: Мир, 1975. – 531 с.

14. Pang-Kuei Hsu, Po-Jung Chien, Chien-Hung Chen, Chi-Fai Chau. Carrot insoluble fiber-rich fraction lowers lipid and cholesterol absorption in hamsters // *LWT-Food Sci Technol* – 2006. – Volume 9. – Issue 4. – P. 337–342

15. Журавлев Р.А., Тамова М.Ю. Сравнительная оценка связывающей способности сорбентов растительного происхождения // IV Международная научно-практическая конференция «Хлебобулочные, кондитерские и

макаронные изделия XXI века». Изд.: «Кубанский государственный технологический университет». –2015. –С. 92-93.

REFERENCES

1. Barbara A. Williams, Deirdre Mikkelsen, Bernadine M. Flanagan, Michael J. Gidley. “Dietary fibre”: moving beyond the “soluble/insoluble” classification for monogastric nutrition, with an emphasis on humans and pigs // Journal of Animal Science and Biotechnology – 2019.– P. 1-12

2. Ktenioudaki A., Gallagher E. Recent advances in the development of high-fibre baked products //Trends in Food Science & Technology. – 2012. – Volume 28. – P. 4-14

3. Almeida E. L., Chang Y. K., Steel C. J. Dietary fibre sources in bread: Influence on technological quality //LWT - Food Science and Technology. – 2013. – Volume 50 . – Issue 2. – P. 545-553

4. Inmaculada M.A., Araceli R.C. et. al. Pea pod, broad bean pod and okara, potential sources of functional compounds // LWT-Food Science and Technology. – 2010.– P. 1467-1470

5. Donchenko L.V. Vozmozhnost ispolzovaniya vtorichnykh syrevykh resursov sveklosakharnogo proizvodstva dlya dalneyshey pererabotki / Л.В. Donchenko, S.E. Kovaleva, N.V. Demina // Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyy zhurnal KubGAU). – Krasnodar: KubGAU. –2006. –№21

6. Patent RF № 2626536, 17.05.2016 g. Drozdov R.A., Kozhukhova M.A., Barkhatova T.V., Khripko I.A., Marenich A.M., Drozdova T.A. Sposob polucheniya molochnogo funktsionalnogo produkta // Patent RF №2626536. 2016 g. RU 2 626 536 C1

7. Zahide Kirbaş, Seher Kumcuoglu, Sebnem Tavman. Effects of apple, orange and carrot pomace powders on gluten-free batter rheology and cake properties // Journal of Food Science and Technology – 2019. – Volume 56. – Issue 2. – P. 914-926

<http://ntk.kubstu.ru/file/2859>

8. Secil Turksoy, Berrin Özkaya. Pumpkin and Carrot Pomace Powders as a Source of Dietary Fiber and Their Effects on the Mixing Properties of Wheat Flour Dough and Cookie Quality // Food Science and Technology Research – 2011. – Volume 17. – Issue 6. – P. 545-553
9. Jindřiška Kučerová, Viera Šottníková, Šárka Nedomová. Influence of Dietary Fibre Addition on the Rheological and Sensory Properties of Dough and Bakery Products // Czech Journal of Food Sciences (CJFS). – 2011. – Volume 4.– P. 340-346
10. Sowbhagya H.B., Florence Suma P., et. al Spent residue from cumin – a potential source of dietary fiber // Food Chemistry – 2007. – P. 1220–1225
11. Yan Zhang, Pingqiang Gao, Lin Zhao, Yizhong Chen. Preparation and swelling properties of a starch-g-poly(acrylic acid)/organo-mordenite hydrogel composite // Frontiers of Chemical Science and Engineering. – 2016. – Volume 10. – Issue 1. – P. 147-161.
12. Grek E., Krasulya E. Issledovanie vliyaniya pishchevykh volokon na formy svyazi vlagi v smesyakh s molochnoy syvorotkoy // Maisto Chemija Ir Technologija. – 2013. – Tom 47. – №1. – S. 15-21.
13. Kompleksnyye soedineniya v analiticheskoy khimii / Umland F., Yansen A., Tirig D. i dr.// – M.: Mir, 1975. – 531 s.
14. Pang-Kuei Hsu, Po-Jung Chien, Chien-Hung Chen, Chi-Fai Chau. Carrot insoluble fiber-rich fraction lowers lipid and cholesterol absorption in hamsters // LWT-Food Sci Technol – 2006. – Volume 9. – Issue 4. – P. 337–342
15. Zhuravlev R.A., Tamova M.Yu. Sravnitel'naya otsenka svyazyvayushchey sposobnosti sorbentov rastitelnogo proiskhozhdeniya // IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Khlebobulochnye, konditerskie i makaronnye izdeliya XXI veka». Izd.: «Kubanskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiiy universitet». –2015. –S. 92-93.

*FUNCTIONAL PROPERTIES OF DIETARY FIBERS DERIVED
FROM VEGETABLE PROCESSING PRODUCTS*

R.A. DROZDOV, M.A. KOZHUKHOVA, M.M. BORISOVA, T.A. DROZDOVA

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072,
e-mail: 79528274536@yandex.ru, marinakozh@yandex.ru*

The article studies the kinetics of the swelling process, the water-holding and sorption abilities of carrot and pumpkin fiber concentrates obtained from secondary raw materials for juice production. The results confirm the promise of using dietary fiber in vegetables as part of bakery and confectionery products, not only as a source of functional ingredients, but also as an additive of natural origin, capable of forming the organoleptic properties of the finished product.

Key words: dietary fiber of vegetables, secondary raw materials, kinetics of swelling, water-holding and sorption ability