

## Взаимосвязь функциональных свойств сухой пшеничной клейковины с аминокислотным составом и показателями её качества

Валентина В. Колпакова<sup>1</sup> val-kolpakova@rambler.ru  
Владимир А. Коваленок<sup>1</sup> vak-49@mail.ru

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопроductов – филиал «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, ул. Некрасова, 11, п. Красково, 140051, Россия

**Аннотация.** Целью работы явилось изучение зависимости функциональных свойств сухой пшеничной клейковины (СПК) от показателей качества, полученных после регенерации ее в сыром виде, и аминокислотного состава. Учитывая, что основным направлением применения СПК является производство муки и хлеба, то данные по взаимосвязи необходимы для предсказания и более широкого использования ее в производстве кондитерских, колбасных изделий и других пищевых продуктов. В работе использованы 19 образцов СПК производства компании "БМ" (Казахстан), 3 образца, полученные из сильного, слабого и среднего по качеству зерна пшеницы, и методы определения выхода, деформации сжатия (упругостью), гидратационной способности регенерированной сырой СПК, аминокислотного и фракционного состава. Установлено, что функциональные свойства СПК возможно предсказывать исходя из гидратации и деформации сжатия (упругости). Наибольшей пенообразующей способностью обладала СПК с гидратацией 190–200 %, наибольшей жирозмульгирующей способностью – с значениями 140–150 %. В целях обеспечения большей пенообразующей способностью целесообразно использовать СПК с деформацией сжатия 70–80 ед. приб., большей способности эмульгировать и связывать жир – с значениями 60–80 ед. приб., а связывать воду – с показателем СПК 50–70 ед. приб. Для растворимости белков СПК установлена высокая положительная корреляция с суммой неполярных аминокислот целой клейковины и отрицательная – глиадины. Для ВСС клейковины характерна обратная зависимость от суммы полярных аминокислот обеих фракций глютенина ( $r = -0,67$  и  $-0,98$ ), для ЖСС – прямая зависимость от суммы полярных аминокислот глиадины ( $r = 0,78$ ) и целой клейковины ( $r = 0,95$ ), обратная – от суммы неполярных аминокислот растворимого и нерастворимого глютенина ( $r = 0,86-0,92$ ). ЖЭС положительно коррелировала с суммой неполярных аминокислот целого комплекса клейковины и глиадины ( $r = 0,70-0,86$ ) и отрицательно с – суммой полярных аминокислот СПК и всех ее фракций ( $-0,62-0,84$ ). Пенообразующая способность взаимосвязана с суммой неполярных аминокислот глиадины и обеих фракций нерастворимого глютенина ( $r = 0,79-0,95$ ).

**Ключевые слова:** сухая пшеничная клейковина, функциональные свойства, аминокислотный состав, показатели качества

## Relationship of the functional properties of dry wheat gluten with amino acid composition and its quality indicators

Valentina V. Kolpakova<sup>1</sup> val-kolpakova@rambler.ru  
Vladimir A. Kovalenok<sup>1</sup> vak-49@mail.ru

<sup>1</sup> All-Russian Scientific Research Institute of Starch Products – a branch of the V.M. Gorbakov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Nekrasova St., 11, Kraskovo settlement, 140051, Russia

**Abstract.** The aim of the work was to study the dependence of the functional properties of dry wheat gluten (DWG) on the quality indicators obtained after regeneration of its raw form, and amino acid composition. Given that the main direction of use of DWG is the production of flour and bread, the data on the relationship are necessary to predict and increase its use in the production of confectionery, sausage products and other food products. We used 19 samples of the DWG produced by «БМ» (Kazakhstan), 3 samples obtained from strong, weak, and average wheat grain quality, and methods for determining the yield and compression deformation (elasticity), the hydration ability of the regenerated raw SPK, amino acid and fractional composition. It is established that the functional properties of the DWG can be predicted on the basis of hydration and compression deformation (elasticity). The DWG with the hydration of 190–200% had the highest foaming capacity, and the most fat emulsifying ability with values of 140–150%. In order to provide greater foaming ability, it is advisable to use the SEC with compression deformation of 70–80 units. app., greater ability to emulsify and bind fat - with values of 60–80 units. app., and to bind water - with an indicator of DWG 50–70 units. app. For the solubility of the DWG proteins, a high positive correlation with the sum of non-polar amino acids of whole gluten and a negative - gliadin was established. For water-binding capacity (WBC) of gluten, an inverse dependence on the sum of polar amino acids of both glutenin fractions ( $r = -0.67$  and  $-0.98$ ) is characteristic, for LSS, a direct dependence on the sum of polar amino acids of gliadin ( $r = 0.78$ ) and whole gluten ( $r = 0.95$ ), the reverse of the amount of non-polar amino acids of soluble and insoluble glutenin ( $r = 0.86-0.92$ ). WBC of gluten is inversely dependent on the sum of the polar amino acids of both glutenin fractions ( $r = -0.67$  and  $-0.98$ ), for the fat binding one is directly dependent on the sum of the polar amino acids of gliadin ( $r = 0.78$ ) and whole gluten ( $r = 0.95$ ), inverse - from the sum of non-polar amino acids of soluble and insoluble glutenin ( $r = 0.86-0.92$ ). Fat-emulsifying capacity (FEC) positively correlated with the sum of non-polar amino acids of the whole complex of gluten and gliadin ( $r = 0.70-0.86$ ) and negatively with the sum of polar amino acids of SEC and all its fractions ( $-0.62-0.84$ ). Foaming capacity (FC) is interrelated with the sum of non-polar amino acids of gliadin and both fractions of insoluble glutenin ( $r = 0.79-0.95$ ).

**Keywords:** dry wheat gluten, functional properties, amino acid composition, quality indicators

Для цитирования

Колпакова В.В., Коваленок В.А. Взаимосвязь функциональных свойств сухой пшеничной клейковины с аминокислотным составом и показателями её качества // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1. С. 173–180. doi:10.20914/2310-1202-2019-1-173-180

For citation

Kolpakova V.V., Kovalenok V.A. Relationship of the functional properties of dry wheat gluten with amino acid composition and its quality indicators. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2019. vol. 81. no. 1. pp. 173–180. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2019-1-173-180

### Введение

Проблема обеспечения населения белком вызывает необходимость совершенствования процессов плучения белковых продуктов из растительного сырья и улучшения их функциональных свойств для коррекции пищевой, биологической ценности изделий и улучшения технологических показателей качества. Белковые продукты используются в пищевой промышленности благодаря широкому набору функциональных свойств, среди которых основными являются способность связывать воду, жир, образовывать и стабилизировать эмульсии и пены [1, 2]. В настоящее время интерес к сухой пшеничной клейковине (СПК) продолжает оставаться высоким, так как она является натуральным и практически единственным белковым продуктом, выпускаемым в промышленных масштабах из зерновых культур. Основным направлением применения СПК является производство муки и хлеба [3–5], но для ее широкого использования в производстве кондитерских (мучных, сбивных, пастильных), колбасных изделий, напитков и других продуктов осуществляют модификацию функциональных свойств, прежде всего, биотехнологическими методами [6–8].

Для характеристики качества промышленной СПК обычно определяют только химический состав [9], но СПК после взаимодействия с водой может иметь различные реологические характеристики, обусловленные особенностями сорта, условиями выращивания пшеницы [10] или технологическими факторами производства белкового продукта. Реологические характеристики могут отражаться и на функциональных свойствах СПК, поэтому, зная их значения, предварительно можно определить области использования, не прибегая к трудоемким методам анализа водосвязывающей, пенообразующей и жирозэмульгирующей способности. С другой стороны, если учесть, что реологические показатели сырой клейковины обусловлены генетическими факторами, то встает задача изучения взаимосвязи функциональных свойств СПК с ее аминокислотным составом как одного из важнейших признаков, характеризующих принадлежность к сорту пшеницы. Цель исследований – расширение сведений о физико-химических свойствах и особенностях белков СПК для научно обоснованного выбора вида и условий действия гидролизующих, сшивающих или других видов энзимов для модификации функциональных свойств.

### Материалы и методы

Изучение взаимосвязи функциональных и реологических показателей СПК осуществляли с использованием 19 образцов производства компании "БМ" (Казахстан), качество и

безопасность которых подтверждены сертификатами соответствия. Для определения аминокислотного состава использовали 3 образца клейковины, плученные из типичного «сильного» сорта зерна Саратовская 29 (яровая), типично «слабого» – Акмолинка 1 (яровая) и типично среднего по качеству сорта Горьковская 52 (озимая).

#### Химический состав

Содержание белка в СПК и ее фракциях определяли по методу Кьельдаля на приборе Kjeltек фирмы «Тесатор» (Швеция), массовую долю влаги – по ГОСТ 9404–88. Массовая доля белка в продуктах составляла 87,7–98,8% на сухое вещество.

#### Приготовление регенерированной СПК и определение ее показателей качества

Из муки с выходом 60%, полученной из типично «сильного» зерна сорта Саратовская 29 (яровая), типично «слабого» – Акмолинка 1 (яровая) и типично «среднего» по качеству сорта Горьковская 52 (озимая), вручную отмывали сырую клейковину и высушивали ее на лиофильной установке KS (Чехия). СПК из «сильного» сорта зерна характеризовалась как малорастяжимая, «крепкая» с показателем прибора 55 ед. приб., СПК из «среднего» по качеству сорта – растяжимая, «нормальная» с показателем 70 ед. приб., из «слабого» – как очень растяжимая и «слабая» с показателем 100 ед. приб. Регенерацию СПК осуществляли путем замешивания шарика теста из  $4 \pm 0,01$  г муки с водопроводной водой при температуре  $19 \pm 1$  °С с последующей отлежкой его в течение 20 мин и отмыванием от крахмала под струей воды. Время отмывания – 10–15 мин. Показатели качества регенерированной СПК оценивали по выходу (ГОСТ Р 54478–2011), деформации сжатия (упругости) ( $H_{\text{деф}}$ ), измеряемой на приборе ИДК-1 (ГОСТ 27839 – 88), и гидратационной способности. Для определения гидратационной способности (ГС) навеску  $4 \pm 0,01$  г сырой регенерированной клейковины высушивали в течение 10 мин на приборе ПИВИ-1. Расчет ГС в процентах проводили по формуле:  $ГС = B \times 100 / СВ$ , где  $B$  – масса влаги в навеске,  $СВ$  – содержание сухого вещества в навеске.

#### Фракционирование белков клейковины

В центрифужную пробирку помещали 0,9 г СПК, взвешенной с точностью  $\pm 0,001$  г, приливали 30 см<sup>3</sup> 70% этанола, встряхивали 1 ч и оставляли на ночь. На следующий день вновь встряхивали 1 ч и центрифугировали 15 мин при 8000xg. Центрифугат сливали, к осадку добавляли 30 см<sup>3</sup> этанола, встряхивали 1 ч и центрифугировали. Последнюю операцию повторяли еще один раз. Объединенные экстракты представляли собой глиадин. Этанол

досуха отгоняли на роторном испарителе, медообразный глиадин лиофильно высушивали. К остатку после удаления глиадина добавляли 0,1н раствор  $\text{CH}_3\text{COOH}$  при соотношении 1:30 по сухому веществу и проводили операции выделения растворимого глютеина при 4 °С, аналогичные стадиям получения глиадина. На роторном испарителе удаляли уксусную кислоту, остаток промывали водой и лиофильно высушивали. Остаток представлял собой нерастворимый глютеин.

#### Анализ аминокислотного состава СПК и ее фракций

Для анализа использовали жидкостный хроматограф фирмы “Hitachi” (Япония) в режиме с сульфированным сополимером стирола с дивинилбензолом и ступенчатым градиентом натрий-цитратных буферных растворов с возрастающим значением рН и молярности. Навеску 3–5 мг образца помещали в стеклянную ампулу, добавляли 300 мкл смеси концентрированной соляной и трифторуксусной кислот (2:1) с 0,1% 2-меркаптоэтанолом. Образец замораживали в жидком азоте, вакуумировали и проводили гидролиз при 155 °С в течение 1 ч. Гидролизуемую смесь упаривали на роторном испарителе (Centrivar Concentrator Labconco, USA). К остатку добавляли 0,1 н HCl и центрифугировали 5 мин при 8000хg на центрифуге Microfuge 22R (Beckman-Coulter, USA).

#### Определение функциональных свойств СПК

Функциональные свойства образцов СПК разного качества определяли по методикам, описанным в работе [11].

#### Статистическая обработка

Анализ проводился в 3-5 повторностях, результаты представляли как средние арифметические. Для определения доверительного интервала среднего арифметического результата использовали критерий Стьюдента на уровне значимости  $p = 0,05$ . Математическую обработку результатов проводили с программами Statistica 6.0, Mathematica 5.2. и TableCurve 3D v4.0.01.

#### Результаты и обсуждение

##### Зависимость функциональных свойств СПК от показателей качества

Взаимосвязь показателей качества СПК и ее функциональных свойств исследована с использованием 19 образцов разного качества. Из полученных данных видно, что образцы СПК отличались как по показателям качества (таблица 1), так и по функциональным свойствам (таблица 2). Выход регенерированной СПК находился в пределах 201÷247%, деформация сжатия ( $H_{\text{деф.}}$ ) – 42÷79 ед. приб., гидратационная способность – 140÷186%. Водосвязывающая

способность (ВСС) изменялась в пределах 2,27÷2,70 г/г; жиросвязывающая способность (ЖСС) – 0,95÷2,35 г/г; жироземмулирующая способность (ЖЭС) – 49÷67%; стабильность эмульсии (СЭ) – 88÷116%, пенообразующая способность (ПОС) и стабильность пены (СП) – 170÷227 и 55÷70% соответственно.

Таблица 1.

Показатели качества СПК разного качества

Table 1.

Indicators of the quality of the DWG of different quality

Выход, % Output, %	$H_{\text{деф.}}$ , ед. приб.	Гидратационная способность, % Hydration ability, %
201 ± 1,0	42 ± 0,2	150 ± 1,0
222 ± 0,5	50 ± 0,5	180 ± 1,1
221 ± 1,0	53 ± 0,5	173 ± 0,6
247 ± 2,0	62 ± 0,2	186 ± 0,8
222 ± 0,2	65 ± 0,7	176 ± 0,7
228 ± 0,8	71 ± 1,0	147 ± 0,5
231 ± 0,7	70 ± 1,0	168 ± 0,3
231 ± 0,3	70 ± 0,4	174 ± 0,1
229 ± 0,4	72 ± 1,0	168 ± 0,1
233 ± 0,2	72 ± 1,0	180 ± 0,4
239 ± 0,4	72 ± 0,5	182 ± 1,0
232 ± 0,5	73 ± 0,7	186 ± 0,8
234 ± 0,7	73 ± 0,8	172 ± 0,5
234 ± 0,2	73 ± 0,2	163 ± 0,4
239 ± 0,3	73 ± 0,5	140 ± 0,5
224 ± 0,5	75 ± 1,0	176 ± 0,4
228 ± 0,4	75 ± 0,6	142 ± 0,7
228 ± 0,6	75 ± 0,7	168 ± 1,3
231 ± 0,7	79 ± 0,7	194 ± 0,9

Закономерности зависимостей, обработанные с элементами статистики, позволили получить уравнения регрессии, адекватно описывающие взаимосвязь между функциональными свойствами, с одной стороны, и показателями качества СПК (выход и деформация сжатия) – с другой. Вид уравнений следующий:

Пенообразующая способность, %:

$$\text{ПОС} = -663554,86 + 11657,962x - 76,618x^2 + 0,22337499x^3 - 0,00024374999x^4 - 6,564y + 0,058y^2;$$

Водосвязывающая способность, г/г:

$$\text{ВСС} = 6222,6 - 212,8x + 3,4x^2 - 0,3018x^3 - 14,2y + 0,03y^2;$$

Жироземмулирующая способность, %:

$$\text{ЖЭС} = -14319 - 19,31x + 0,33x^2 - 0,0017x^3 + 195,6y - 0,86y^2 + 0,0013y^3;$$

Жиросвязывающая способность, г/г:

$$\text{ЖСС} = -4537,06 + 210,88x - 3,17x^2 + 0,0157x^3 + 2,18y - 0,01y^2 + 1,62y^3;$$

где  $x$  –  $H_{\text{деф.}}$ , ед. приб.;  $y$  – выход сырой клейковины, %.

Функциональные свойства СПК разного качества

Table 2.

Functional properties of the DWG of different quality

ВСС, г/г	ЖСС, г/г	ПОС, %	СП, %	ЖЭС, %	СЭ, %
2,27 ± 0,03	0,95 ± 0,04	210 ± 2,0	67 ± 0,5	59 ± 1,0	90 ± 1,0
2,33 ± 0,02	1,86 ± 0,03	190 ± 3,0	66 ± 1,0	61 ± 1,0	111 ± 1,0
2,53 ± 0,01	2,20 ± 0,05	195 ± 1,0	66 ± 0,5	63 ± 1,5	108 ± 2,0
2,39 ± 0,03	2,32 ± 0,06	220 ± 2,0	70 ± 0,5	60 ± 1,2	103 ± 2,0
2,45 ± 0,03	2,16 ± 0,05	200 ± 2,0	68 ± 1,0	49 ± 2,5	108 ± 1,0
2,46 ± 0,05	2,20 ± 0,03	170 ± 1,0	63 ± 1,0	66 ± 2,0	93 ± 3,0
2,58 ± 0,01	2,18 ± 0,08	173 ± 1,0	67 ± 1,0	60 ± 1,0	116 ± 2,0
2,66 ± 0,02	2,26 ± 0,04	187 ± 2,0	66 ± 1,0	66 ± 2,0	91 ± 2,0
2,59 ± 0,03	2,23 ± 0,03	193 ± 3,0	62 ± 1,0	59 ± 1,0	99 ± 3,0
2,49 ± 0,03	2,24 ± 0,05	183 ± 1,0	60 ± 1,0	62 ± 2,0	100 ± 1,0
2,70 ± 0,05	2,23 ± 0,02	200 ± 2,0	65 ± 1,5	60 ± 1,0	108 ± 2,0
2,42 ± 0,04	2,21 ± 0,01	197 ± 1,0	61 ± 1,0	58 ± 1,0	106 ± 1,0
2,56 ± 0,03	2,18 ± 0,03	210 ± 0,0	64 ± 0,5	61 ± 1,0	104 ± 1,0
2,40 ± 0,07	2,20 ± 0,05	183 ± 0,0	60 ± 1,0	63 ± 2,0	95 ± 2,0
2,62 ± 0,05	2,18 ± 0,06	197 ± 3,0	66 ± 1,5	61 ± 3,0	113 ± 2,0
2,67 ± 0,03	2,30 ± 0,04	200 ± 1,0	55 ± 1,0	67 ± 3,0	90 ± 3,0
2,68 ± 0,04	2,34 ± 0,03	193 ± 2,0	64 ± 2,0	66 ± 1,0	88 ± 1,0
2,49 ± 0,01	2,20 ± 0,08	200 ± 3,0	65 ± 1,5	60 ± 1,0	93 ± 2,0
2,30 ± 0,02	2,35 ± 0,04	213 ± 1,0	59 ± 1,0	58 ± 2,0	98 ± 1,0

Из трехмерных картин изображения зависимостей (рисунок 1) следует, что наибольшими значениями ПОС обладали образцы СПК с  $H_{\text{деф.}}$  70–80 ед. приб., наименьшими – с  $H_{\text{деф.}}$ , равной 50 ед. приб. Чем слабее была регенерированная клейковина, тем ее ПОС выше. Показатель ВСС также взаимосвязан с упругостью ( $H_{\text{деф.}}$ ) клейковины: более высокие значения ВСС имели образцы со значениями  $H_{\text{деф.}}$ , равными 65–75 ед. приб. (рисунок 2, а). Однозначной зависимости между выходом регенерированной клейковины и ВСС, как и для ПОС, не выявлено. Данные зависимости ЖЭС СПК от исследуемых факторов, приведенные на рисунке 2, б, показывают, что самой высокой ЖЭС обладали образцы СПК с  $H_{\text{деф.}}$  70–80 ед. приб. и выходом сырой клейковины 210–220%. Чем слабее была регенерированная клейковина и чем выход ее меньше, тем ЖЭС СПК была выше. Из картины влияния выхода и показателя деформации сжатия СПК на ЖСС (рисунок 2, с) следует, что самые низкие показатели ЖСС наблюдались у образцов с  $H_{\text{деф.}}$  50 ед. приб., самые высокие – у СПК со значениями 60–65 ед. приб. Следовательно, данное свойство можно оценивать с помощью упругости белкового комплекса СПК. Влияние выхода СПК на ЖСС незначительное, поэтому

использовать его для оценки данного свойства нецелесообразно. Определение гидратационной способности СПК (рисунок 3) показало, что с увеличением ее значения ПОС закономерно повышалась (рисунок 3, а), а ЖЭС – уменьшалась (рисунок 3, б). Коэффициенты корреляции ( $r$ ) равнялись 0,78 и 0,72 соответственно. Показатели ВСС и ЖСС клейковины не зависели от значений ее гидратационной способности.

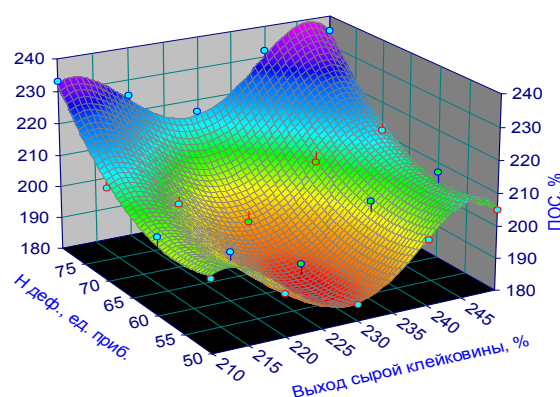


Рисунок 1. Взаимосвязь ПОС с упругостью и выходом регенерированной СПК

Figure 1. The relationship of the foaming capacity (FC) with elasticity and the release of the regenerated DWG

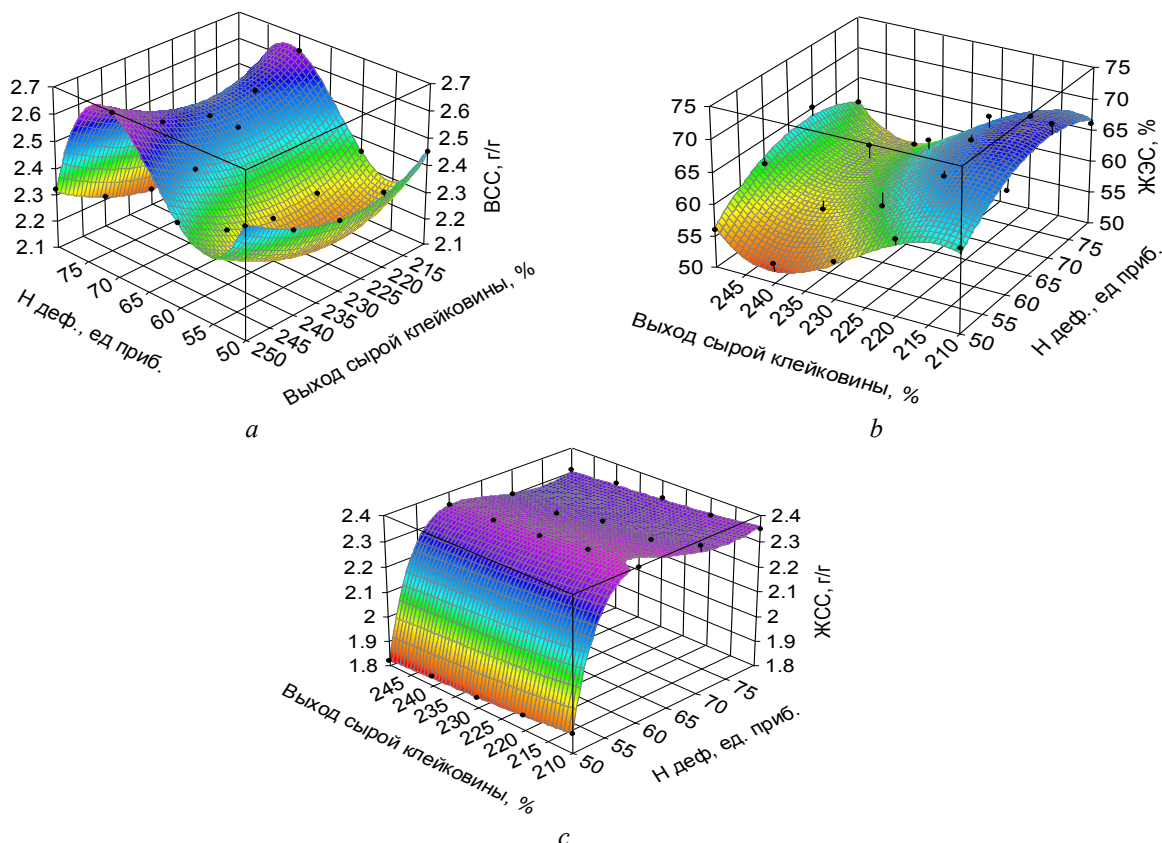


Рисунок 2. Влияние выхода и деформации сжатия СПК на функциональные свойства: *a* – ВСС; *b* – ЖЭС; *c* – ЖСС  
Figure 2. Effect of yield and strain DWG compression on the functional properties: *a* – Water binding capacity (WBC); *b* – Fat emulsifying capacity (FEC); *c* – Fat binding capacity (FBC)

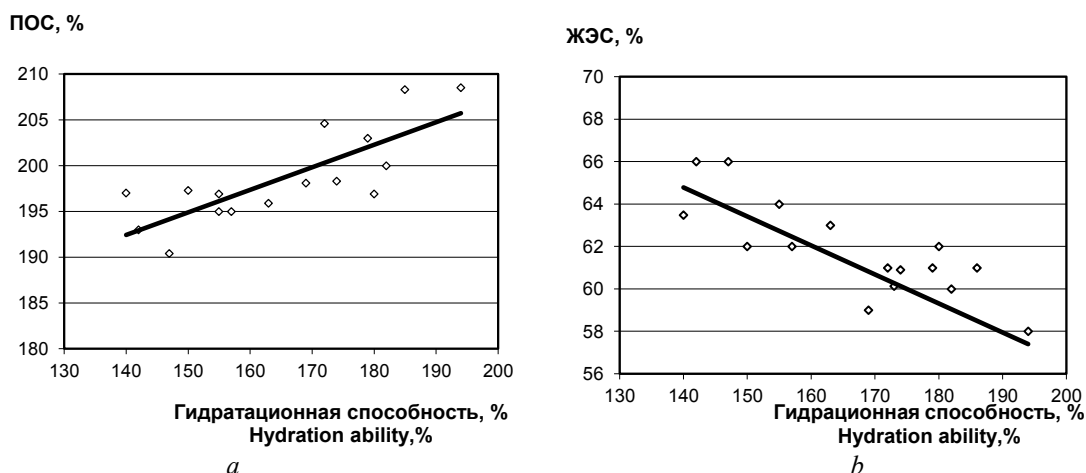


Рисунок 3. Влияние гидратационной способности СПК на ПОС и ЖЭС  
Figure 3. The effect of the hydration capacity of the DWG on the FC and FEC

*Зависимость функциональных свойств от аминокислотного состава СПК и ее фракций*

Взаимосвязь функциональных свойств СПК с особенностями аминокислотного состава белков изучали на примере 3 образцов разного качества (крепкая, хорошая, слабая) и основных ее фракций (глиадин, растворимый и нерастворимый глютеин). От соотношения и вида аминокислот, как известно, зависят поверхностные свойства белков, следовательно, и их функциональные

свойства. Поэтому рассчитана сумма полярных (лизин, аспарагиновая, глутаминовая кислоты, аргинин) и неполярных аминокислот (глицин, (таблица 3) фенилаланин, аланин, лейцин, метионин, изолейцин, валин, пролин) в СПК и ее фракциях. Коэффициенты парной корреляции, отражающие взаимосвязь показателей аминокислотного состава СПК и ее фракций с функциональными свойствами, приведены в таблице 4.

Таблица 3.

Коэффициенты корреляции между функциональными свойствами СПК разного качества и суммой аминокислот

Table 3.

Correlation coefficients between functional properties of DWG of different quality and the amount of amino acids

	Функциональные свойства   Functional properties					
	Растворимость, % Solubility, %	ВСС, г/г	ЖСС, г/г	ЖЭС, %	ПОС, %	СП, %
Пшеничная клейковина и ее фракции (Wheat gluten and its fractions):						
Пшеничная клейковина   Wheat Gluten						
Полярные   Polar	-0,96	0,54	0,95	-0,78	-0,66	0,22
Неполярные   Nonpolar	0,98	-0,36	-0,76	0,86	-0,11	-0,36
Глиадин   Gliadin						
Полярные   Polar	-0,97	-0,20	0,78	-0,84	0,21	0,21
Неполярные   Nonpolar	-0,21	-0,42	-0,30	0,70	0,79	0,99
Растворимый глютен   Soluble glutenin						
Полярные   Polar	0,62	-0,67	-0,85	-0,62	-0,67	0,54
Неполярные   Nonpolar	0,88	0,62	-0,92	-0,39	0,80	0,14
Нерастворимый глютен   Insoluble Glutenin						
Полярные   Polar	0,24	-0,98	-0,86	-0,61	0,97	-0,49
Неполярные   Nonpolar	0,10	0,57	-0,52	-0,74	0,95	0,90

Таблица 4.

Аминокислотный состав пшеничной клейковины разного качества и ее фракций, г/100 г. белка

Table 4.

Amino acid composition of wheat gluten of different quality and its fractions, g/100 g of protein

Аминокислота Amino acid	Крепкая СПК   Strong SPK				Хорошая СПК   Good SEC				Слабая СПК   Weak SPK			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Лизин   Lysin	2,24	0,70	1,17	2,63	1,57	0,60	1,27	1,74	1,51	0,79	1,21	1,20
Гистидин   Histidine	2,27	1,81	1,47	2,24	1,99	1,70	1,60	1,76	2,04	1,49	1,20	1,67
Аргинин   Arginine	3,62	2,87	2,85	3,96	3,76	2,55	3,62	4,24	3,43	2,51	3,10	3,44
Аспарагиновая кислота   Asparagous oyster	3,75	2,84	2,69	4,09	3,17	3,12	2,62	3,89	3,32	2,95	1,99	4,44
Треонин   Treonin	2,37	2,20	2,73	5,13	5,16	2,24	2,58	3,95	2,55	2,49	2,96	4,40
Серин   Serin	4,87	4,12	3,33	4,25	3,05	4,64	4,61	5,23	4,93	3,97	6,08	8,12
Глутаминовая кислота   Glutamic acid	40,16	50,86	49,56	33,15	43,59	50,53	44,36	31,88	43,66	50,96	42,06	30,47
Пролин   Prolin	18,19	18,09	17,40	12,08	17,16	20,95	15,44	10,73	19,12	18,73	14,62	8,47
Глицин   Glycine	3,96	1,89	3,43	5,32	3,66	1,69	3,51	4,37	4,16	1,63	3,55	5,90
Аланин   Alanine	3,34	2,50	2,53	2,71	3,34	2,27	2,05	2,90	2,89	2,25	1,97	3,19
Валин   Valin	4,58	5,15	4,53	3,96	5,08	5,11	3,69	4,56	4,52	4,74	3,58	3,79
Метионин   Methionine	2,13	1,64	1,78	1,79	1,73	1,48	1,21	1,33	1,91	0,95	1,21	1,59
Цистин (1/2)   Cistine (1/2)	5,43	5,10	5,74	5,10	3,25	2,72	3,91	2,81	1,91	2,84	4,23	2,60
Изолейцин   Isoleucin	4,80	5,10	3,65	2,95	4,49	4,84	3,42	3,33	4,42	4,42	3,32	3,26
Лейцин   Leucin	7,84	8,44	7,34	6,82	8,08	7,83	6,34	7,33	7,99	7,15	5,92	6,37
Тирозин   Tyrosine	3,88	3,01	3,53	3,90	3,65	2,87	3,55	3,45	3,48	2,88	3,48	4,62
Фенилаланин   Phenylalanine	6,76	6,61	5,97	4,06	7,48	7,07	5,25	5,49	7,05	6,68	5,20	2,83
Сумма полярных аминокислот Polar amino acids	49,77	57,27	56,27	43,83	52,09	56,80	50,60	41,75	51,92	57,21	44,05	39,55
Сумма неполярных аминокислот Nonpolar amino acids	52,20	49,42	46,63	39,69	51,02	51,27	40,91	40,04	52,06	46,55	39,93	35,4

Примечание: 1 – клейковина; 2 – глиадин; 3 – растворимый глютен; 4 – нерастворимый глютен

Note: 1 – gluten; 2 – gliadin; 3 – soluble glutenin; 4 – insoluble glutenin

Установлено, что у целого комплекса СПК разного качества высокая положительная корреляция между суммой полярных аминокислот и ЖСС, высокая отрицательная – между суммой этих же аминокислот и растворимостью. Высокая взаимосвязь обнаружена для ЖЭС и суммы неполярных аминокислот ( $r = 0,86$ ).

Для глиадиновой фракции закономерности взаимосвязи суммы полярных аминокислот с ЖСС и растворимостью аналогичные закономерностям целого комплекса СПК, а для суммы неполярных аминокислот выявлена дополнительная взаимосвязь: чем выше их содержалось в глиадине, тем больше ПОС, СП и ЖЭС

клейковины ( $r = 0,70 \pm 0,99$ ). Для суммы неполярных аминокислот в растворимой фракции имела высокая отрицательная корреляция с ЖСС, высокая положительная – с растворимостью и ПОС. Чем больше сумма полярных аминокислот во фракции, тем меньше значения ЖСС, ЖЭС, ПОС, но выше растворимость СПК. Функциональные свойства СПК взаимосвязаны и с особенностями аминокислотного состава нерастворимого глютенина: чем больше содержалось в нем неполярных аминокислот, тем выше значения ПОС, стабильности пены и ЖЭС. Количество полярных аминокислот также прямо пропорционально значениям ПОС, но обратно пропорционально значениям ВСС и ЖСС.

### Заключение

Разработку способов регулирования функциональных свойств СПК биотехнологическими методами целесообразно осуществлять с учетом зависимости их от показателей качества и аминокислотного состава. Для растворимости белков СПК установлена высокая положительная корреляция с суммой неполярных аминокислот как целой клейковины ( $r = 0,98$ ), так и ее фракций:

глиадины и растворимого глютенина ( $r =$ ). Для ВСС клейковины характерна обратная зависимость от суммы полярных аминокислот обеих фракций глютенина, для ЖСС – прямая зависимость от суммы полярных аминокислот глиадины и целой клейковины и, обратная – от суммы неполярных аминокислот спирторастворимой фракции. ЖЭС положительно коррелировала с суммой неполярных аминокислот целого комплекса клейковины и глиадины и отрицательно – с суммой полярных аминокислот СПК и всех ее фракций. Функциональные свойства СПК возможно предсказывать и, исходя из показателей качества регенерированного комплекса – гидратации и деформации сжатия (упругости). Наибольшей ПОС обладала СПК с гидратационной способностью 190–200%, наибольшей ЖЭС – со значениями 140–150%. В целях обеспечения большей ПОС целесообразно использовать СПК с  $H_{\text{деф.}}$  70–80 ед. приб., большей способности эмульгировать и связывать жир – со значениями 60–80 ед. приб., связывать воду – с показателем упругости СПК 50–70 ед. приб.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Majzoobi M., Abedi E. Effects of pH changes on functional properties of native and acetylated wheat gluten // *International Food Research Journal*. 2014. V. 21. № 3. P. 1219–1224.
- 2 Zhang H., Claver I.P., Zhu K.-X., Zhou H. The effect of ultrasound on the functional properties of wheat gluten // *Molecules*. 2011. V. 16. P. 4231–4240. doi: 10.3390/molecules16054231
- 3 Ma F., Baik B.-K. Qualitative effect of added gluten on dough properties and quality of chinese steamed bread // *Cereal Chemistry*. 2017. V. 94. № 5. P. 827–833. doi: 10.1094/cchem-11-16-0274-R
- 4 Noorfarahzilah M., Lee J.S., Sharifudin M.S., Mohd F.A. et al. Applications of composite flour in development of food products // *International Food Research J*. 2014. V. 21. № 6. P. 2061–2074.
- 5 Batey I.L., Huang W. Gluten and modified gluten // *Encyclopedia of Food Grains*. 2016. V. 3. P. 408–413. doi: 10.1016/B978-0-12-394437-5.00157-1
- 6 Zhang H., Claver I.P., Li Q., Zhu K. et al. Structural modification of wheat gluten by dry heat-enhanced enzymatic hydrolysis // *Food Technology and Biotechnology*. 2012. V. 50. № 1. P. 53–58.
- 7 Kolpakova V.V., Chumikina L.V., Vasil'ev A.V., Arabova L.I. et al. Wheat gluten proteolysis by enzyme preparations of directional action // *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*. 2014. V. 5. № 2. P. 72–86.
- 8 Elli L., Roncoroni L., Hils M., Pasternack R. et al. Immunological effects of transglutaminase-treated gluten in celiac disease // *Human Immunology*. 2012. V. 73. P. 992–997.
- 9 American Association of Cereal Chemists. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists: 10th ed. 2000. Methods 44–15A, 46–12, 08–01, 66–50, 76–13, 30–10.

10 Колпакова В.В., Молчанова Е.Н., Васильев А.В., Чумикина Л.В. Физико-химические свойства белков пшеницы, выращенной в резко-контрастных климатических условиях // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2007. Т. 43. № 3. С. 382–389.

11 Kolpakova V.V., Chumikina L.V., Arabova L.I., Lukin D.N. et al. Functional technological properties and electrophoretic composition of modified wheat gluten // *Foods and Raw Materials*. 2016. V. 4. № 2. P. 48–57. doi: 10.21179/2308-4057-2016-2-48-57

### REFERENCES

- 1 Majzoobi M., Abedi E. Effects of pH changes on functional properties of native and acetylated wheat gluten. *International Food Research Journal*. 2014. vol. 21. no. 3. pp. 1219–1224.
- 2 Zhang H., Claver I.P., Zhu K.-X., Zhou H. The effect of ultrasound on the functional properties of wheat gluten. *Molecules*. 2011. vol. 16. pp. 4231–4240. doi: 10.3390/molecules16054231
- 3 Ma F., Baik B.-K. Qualitative effect of added gluten on dough properties and quality of chinese steamed bread. *Cereal Chemistry*. 2017. vol. 94. no. 5. pp. 827–833. doi: 10.1094/cchem-11-16-0274-R
- 4 Noorfarahzilah M., Lee J.S., Sharifudin M.S., Mohd F.A. et al. Applications of composite flour in development of food products. *International Food Research J*. 2014. vol. 21. no. 6. pp. 2061–2074.
- 5 Batey I.L., Huang W. Gluten and modified gluten. *Encyclopedia of Food Grains*. 2016. vol. 3. pp. 408–413. doi: 10.1016/B978-0-12-394437-5.00157-1
- 6 Zhang H., Claver I.P., Li Q., Zhu K. et al. Structural modification of wheat gluten by dry heat-enhanced enzymatic hydrolysis. *Food Technology and Biotechnology*. 2012. vol. 50. no. 1. pp. 53–58.

7 Kolpakova V.V., Chumikina L.V., Vasil'ev A.V., Arabova L.I. et al. Wheat gluten proteolysis by enzyme preparations of directional action. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*. 2014. vol. 5. no. 2. pp. 72–86.

8 Elli L., Roncoroni L., Hils M., Pasternack R. et al. Immunological effects of transglutaminase-treated gluten in celiac disease. *Human Immunology*. 2012. vol. 73. pp. 992–997.

9 American Association of Cereal Chemists. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*: 10th ed. 2000. Methods 44–15A, 46–12, 08–01, 66–50, 76–13, 30–10.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Валентина В. Колпакова** главный научный сотрудник, д.т.н., профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопроductов – филиал «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, ул. Некрасова, 11, п. Красково, 140051, Россия, val-kolpakova@rambler.ru

**Владимир А. Коваленок** главный научный сотрудник, д.т.н., профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопроductов – филиал «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, ул. Некрасова, 11, п. Красково, 140051, Россия, vak-49@mail.ru

#### КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

**Валентина В. Колпакова** консультация в ходе исследования  
**Владимир А. Коваленок** написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 17.01.2019

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 19.02.2019

10 Kolpakova V.V., Molchanova E.N., Vasilyev A.V., Chumikina L.V. Physico-chemical properties of wheat proteins grown in sharply contrasting climatic conditions. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya* [Applied biochemistry and microbiology]. 2007. vol. 43. no. 3. pp. 382–389. (in Russian).

11 Kolpakova V.V., Chumikina L.V., Arabova L.I., Lukin D.N. et al. Functional technological properties and electrophoretic composition of modified wheat gluten. *Foods and Raw Materials*. 2016. vol. 4. no. 2. pp. 48–57. doi: 10.21179/2308-4057-2016-2-48-57

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Valentina V. Kolpakova** lead researcher, Dr. Sci. (Engin.), professor, All-Russian Scientific Research Institute of Starch Products – a branch of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Nekrasova St., 11, Kraskovo settlement, 140051, Russia, val-kolpakova@rambler.ru

**Vladimir A. Kovalenok** lead researcher, Dr. Sci. (Engin.), professor, All-Russian Scientific Research Institute of Starch Products – a branch of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Nekrasova St., 11, Kraskovo settlement, 140051, Russia, vak-49@mail.ru

#### CONTRIBUTION

**Valentina V. Kolpakova** consultation during the study  
**Vladimir A. Kovalenok** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

#### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 1.17.2019

ACCEPTED 2.19.2019