

spetsializirovannykh khlebobulochnykh izdeliy // Khleboprodukty. – 2014. – № 8. – S. 50-52.

10. Normy fiziologicheskikh potrebnostey v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossiyskoy Federatsii. – Metodicheskie rekomendatsii MR

2.3.1.2432-08: utverzhdeny Rukovoditelem Federalnoy sluzhby po nadzoru v sfere zashchity prav potrebiteley i blagopoluchiya che-loveka. – Vvedeny 2008-12-18. – 41 s.

*Исследования выполнены при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013), соглашение № 02.A03.21.0011.*



УДК 664.788/664.668.9

Д.Г. Туляков, Е.П. Мелешкина, И.С. Витол  
D.G. Tulyakov, Ye.P. Meleshkina, I.S. Vitol

## РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАЗНЫХ ВИДОВ МУКИ И КОМПОЗИЦИОННЫХ СМЕСЕЙ

### RHEOLOGICAL PROPERTIES OF VARIOUS TYPES OF FLOUR SPECIES AND COMPOSITE MIXTURES

**Ключевые слова:** мука пшеничная, ржаная, тритикалевая; композиционные смеси; реологические свойства; протеолитическая активность; активность амилазы.

Использование тритикале, как продовольственной культуры, представляет собой перспективное направление для перерабатывающих отраслей пищевой индустрии. Поскольку хлебопекарные свойства муки зависят от большого количества факторов, а качество муки определяется совокупностью целого ряда технологических и биохимических показателей, которые взаимосвязаны и оказывают либо прямое, либо косвенное влияние друг на друга, использование современных методов оценки большого количества показателей через интеграционные индексы представляет огромный интерес.

Цель исследований заключалась в выявлении взаимосвязи показателей реологических свойств теста из пшеничной, ржаной и тритикалевой муки, а также композиционных смесей пшеничной и тритикалевой муки с использованием прибора Миксолаб (протокол «Chopin+»), с биохимическими свойствами исследуемой муки. Данные миксограмм и радиальных диаграмм (профайлер Миксолаба) показали различия в параметрах реологического профиля и индексов Миксолаба для муки разных видов и сортов. Изучение протеолитической и амилолитической активности исследуемых образцов муки выявило неоднозначный вклад этих ферментов в значения соответствующих индексов Миксолаба. Исследование реологических характеристик композиционных смесей на основе пшеничной муки высшего сорта и тритикалевой муки сорта Т-60 выявило закономерное снижение времени замеса (до достижения стабильности) с увеличением в смеси доли тритикалевой муки. «Индекс замеса» снижается уже при добавлении 10% тритикалевой муки. «Индекс ВПС» начинает снижаться при 40%-ном содержании тритикалевой муки в смеси; при этом «Индекс амилазы» и «Индекс ретроградации крахмала» не изменяются. Был сделан вывод о том, что для правильной интерпретации и более полного понимания практического примене-

ния индексов, полученных на приборе Миксолаб, необходимы комплексные исследования технологических, биохимических и реологических характеристик муки и теста.

**Keywords:** wheat flour, rye flour, triticale flour, composite mixtures, rheological properties, proteolytic activity, amylase activity.

The use of triticale as a food crop is a promising direction for food processing industry. Since the baking properties of flour depend on a large number of factors, and the quality of the flour is determined by a combination of a number of technological and biochemical indices that are interrelated and have either direct or indirect influence on each other, the use of modern methods for estimating a large number of indices through integration indices is of great interest. The research goal was comparative evaluation of biochemical and rheological properties (using Mixolab device (protocol «Chopin+») of wheat, rye and triticale flour and composite mixtures of wheat flour and triticale flour. The data of mixograms and radial diagrams (profilier Mixolab) showed the existing differences in the parameters of the rheological profile and the Mixolab Index of flour of different types. The study of the proteolytic and amylolytic activity of the test flour samples revealed an ambiguous contribution of these enzymes to the values of the corresponding Mixolab Indices. The investigation of the rheological characteristics of composite mixtures based on wheat flour of high grade and triticale flour revealed a regular decrease of dough forming time until stability was achieved with an increase in the proportion of triticale flour in the mixture. The "Mixing Index" decreases even when 10% of the triticale flour is added. "Absorption Index" starts to decrease at 40% content of triticale flour in the mixture; while the "Amylase Index" and "Starch Retrogradation Index" do not change. It is concluded that for correct interpretation and more complete understanding of the practical application of the indices obtained with the Mixolab, complex investigations of the technological, biochemical and rheological characteristics of flour and dough are required.

**Туляков Данила Геннадьевич**, м.н.с., отдел безопасности и качества зерна и зернопродуктов, Всероссийский НИИ зерна и продуктов его переработки, г. Москва. E-mail: danila.tulyakov@yandex.ru.

**Мелешкина Елена Павловна**, д.т.н., директор, нач. отдела безопасности и качества зерна и зернопродуктов, Всероссийский НИИ зерна и продуктов его переработки, г. Москва. E-mail: mep5@mail.ru.

**Витол Ирина Сергеевна**, к.б.н., доцент, с.н.с. направления биохимии и микробиологии зернопродуктов, Всероссийский НИИ зерна и продуктов его переработки, г. Москва. E-mail: vitolis@yandex.ru.

**Tulyakov Danila Gennadyevich**, Junior Staff Scientist, Division of Safety and Quality of Grain and Grain Products, All-Russian Research Institute of Grain and Grain Processed Products, Moscow. E-mail: danila.tulyakov@yandex.ru.

**Meleshkina Yelena Pavlovna**, Dr. Tech. Sci., Director, Head, Division of Safety and Quality of Grain and Grain Products, All-Russian Research Institute of Grain and Grain Processed Products, Moscow. E-mail: mep5@mail.ru.

**Vitol Irina Sergeyevna**, Cand. Bio. Sci., Assoc. Prof., Senior Staff Scientist for Biochemistry and Microbiology of Grain Products, All-Russian Research Institute of Grain and Grain Processed Products, Moscow. E-mail: vitolis@yandex.ru.

### Введение

Тритикале – это зерновая культура, полученная скрещиванием пшеницы (*Triticum*) с рожью (*Secale*). В Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в России (2016 г.), внесено 68 сортов озимого тритикале и 13 сортов ярового тритикале. Все новые сорта тритикале рекомендованы для производственных целей [1].

Использование тритикале, как продовольственной культуры, представляет собой интересное, перспективное направление для перерабатывающих отраслей пищевой индустрии. Биопотенциал тритикале зависит, в первую очередь, от сортовых особенностей и условий выращивания. Пищевая ценность связана с высоким содержанием белка, незаменимых аминокислот, сбалансированностью аминокислотного состава. Биологическая ценность зерна тритикале обусловлена преобладанием водо- и солерастворимых фракций белка и, как следствие, более высокой степенью усвоения белков тритикале, а также наличием витаминов, макро- и микроэлементов.

Методы оценки большого количества показателей через интеграционные индексы с использованием современного лабораторного оборудования позволяют не только упростить проведение трудоемких анализов, но и обеспечить комплексный подход к оценке хлебопекарных свойств муки, которые, как известно, зависят от большого количества взаимосвязанных между собой факторов. Такой комплексный подход к оценке качества муки на основе изучения реологических свойств теста может быть обеспечен при использовании прибора миксолаб производства компании CHOPIN (Франция) [2]. Прибор миксолаб в режиме реального времени измеряет вращающий момент в Н·м, возникающий между двумя тестомесильными лопастями при перемешивании теста из муки и воды в течение

нескольких, последовательных фаз замеса, обусловленных разной температурой, что обеспечивает получение полной информации, позволяющей всесторонне оценить свойства муки, объективно определить ее целевое использование.

**Цель** исследований заключалась в сравнительной оценке биохимических и реологических свойств (с использованием прибора миксолаб (протокол «Chopin+») пшеничной, ржаной и тритикалевой муки, а также композиционных смесей пшеничной и тритикалевой муки.

### Объекты и методы исследования

В работе использовали пшеничную муку высшего, 1- и 2-го сортов, ржаную обдирную муку, а также тритикалевую муку 2 образцов: Т-60 (мука из центральной части эндосперма с выходом муки 40-45% и зольностью – 0,60%) и Т-220 (вымол оболочек, включая измельченные частицы зародыша и алейронового слоя, и зольностью – 2,20%) [3].

Композиционные смеси состояли из пшеничной муки высшего сорта с добавлением тритикалевой муки Т-60 в количествах 10, 20, 30, 40, 50, 60% от общего содержания. Число падения (ЧП) определяли по ГОСТ 27676-88, активность протеаз – модифицированным методом Ансона, амилалитическую активность – колориметрическим методом А.П. Рухлядовой и М.Г. Горячевой [4].

Оценку реологических свойств осуществляли на приборе миксолаб фирмы CHOPIN (Франция) согласно протоколу «Chopin+», предполагающего 5 интервалов температур, при которых идет исследование. Измеряемый крутящий момент в анализируемых точках графика характеризует различные биохимические процессы.

Во время 1-й фазы замеса (точка С1 – образование теста) прибор обеспечивает образование теста с консистенцией

1,1+0,05 Н·м при температуре 30°C. Продолжительность 1-й фазы 8 мин., при этом оптимальная консистенция обеспечивается путем подбора количества добавляемой воды. На 2- и 3-й фазах замеса регистрируют изменение консистенции теста при его нагреве до 90°C (точка С2 – разжижение теста; точка С3 – максимальная скорость клейстеризации крахмала). На 4- и 5-й фазах измеряют консистенцию теста при его охлаждении до 50°C и выдерживании при этой температуре в течение 5 мин. (точки С4, С5 – начало и окончание ретроградации крахмала). Анализировались также показатели: водопоглотительная способность теста – ВПС (%), время образования теста (мин.), стабильность теста (мин.) [2].

### Результаты и их обсуждение

Данные миксограмм и радиальных диаграмм (профайлер миксолаба) показали имеющиеся различия в параметрах реологического профиля и индексов миксолаба исследуемых образцов; особенно это выражено для образцов пшеничной муки высшего сорта и тритикалевой муки Т-60 (рис. 1, 2).

В ходе проведенных анализов были установлены следующие значения показателей

реологических свойств теста для всех исследуемых образцов (табл. 1).

Так, время образования теста (мин.) и стабильность теста (мин.) находятся в диапазоне от 0,85 для образца ржаной обдирной муки до 8,93 для пшеничной муки высшего сорта и от 2,18 для образца ржаной обдирной муки до 10,60 для пшеничной муки первого сорта соответственно. Обращает на себя внимание, что наибольшая скорость амилолиза ( $\gamma$ , Н·м/мин.) выявлена для образца ржаной обдирной муки и тритикалевой муки Т-220 – -0,076 и -0,660 соответственно, что может косвенно свидетельствовать о более высокой активности амилаз в данных образцах по сравнению с другими образцами. Это подтверждается и значениями ЧП (с): 203 и 174 – наименьшими среди исследуемых образцов.

В таблице 3 представлены баллы индексов профайлера миксолаба всех исследуемых образцов муки. «Индекс ВПС» закономерно увеличивается в образцах с большим содержанием периферийных частей. «Индекс клейковины» указывает на устойчивость белковой структуры во время нагревания теста в интервале от 30 до 60°C [5-7].

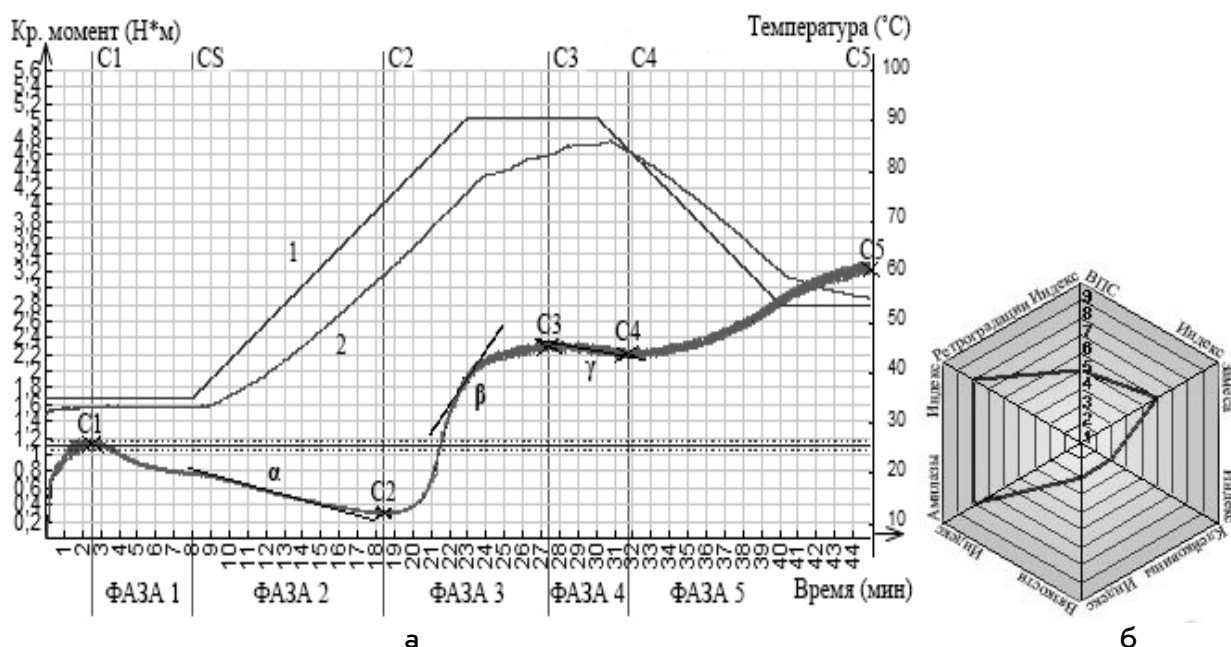
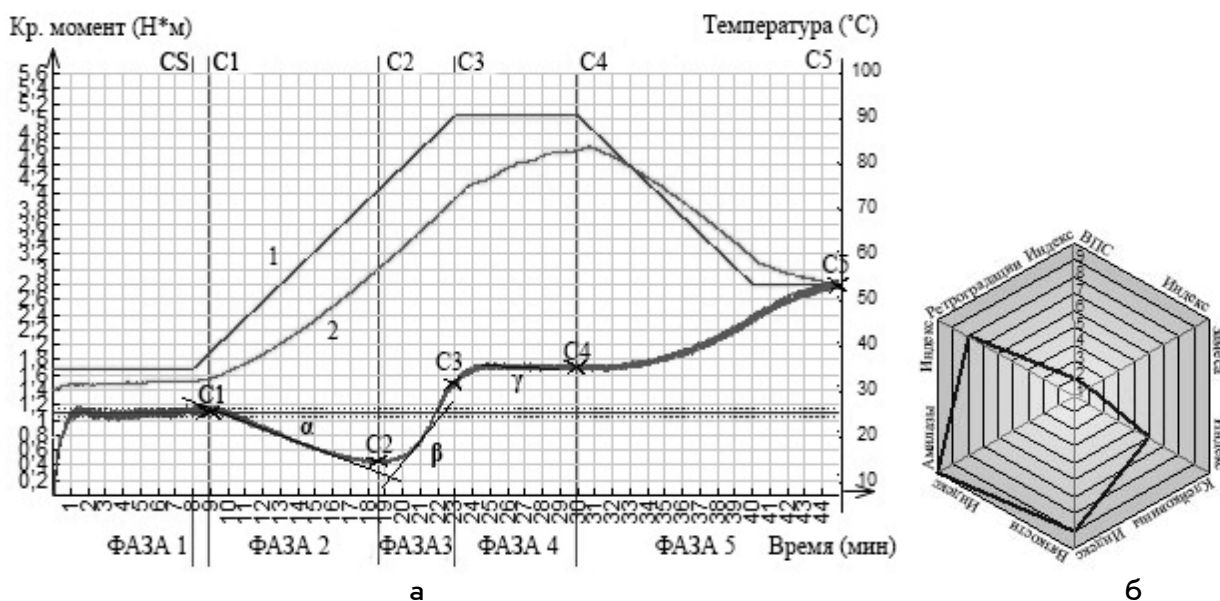


Рис. 1. Анализ реологических свойств теста по фазам в соответствии с протоколом «Chopin+» (а) и «профайлер» миксолаба (б) на примере тритикалевой муки – образец Т-60:

1 – температура тестомесилки, 2 – температура теста; С1, С2, С3, С4, С5 – анализируемые точки графика, в которых измеряют момент силы



**Рис. 2. Анализ реологических свойств теста по фазам в соответствии с протоколом «Chopin+» (а) и «профайлер» миксолаба (б) на примере пшеничной муки высшего сорта: 1 – температура тестомесилки, 2 – температура теста; C1, C2, C3, C4, C5 – анализируемые точки графика, в которых измеряют момент силы**

Таблица 1

Индексы профайлера миксолаба

Индексы миксолаба	Образцы муки					
	пшеничная			ржаная	тритикалевая	
	высший сорт	первый сорт	второй сорт	обдирная	T-60	T-220
ВПС	4	4	9	8	1	8
Замес	5	5	6	1	1	2
Клейковина	2	2	2	7	5	5
Вязкость	2	2	1	4	8	2
Амилаза	7	6	4	2	9	1
Ретроградация крахмала	7	6	3	3	7	2

Интерпретация «индекса клейковины» представляет определенную сложность, поскольку во время нагревания теста в интервале от 30 до 60°C происходят два очень важных явления: гранулы крахмала начинают набухать, но их структура остается неизменной, при этом действие α-амилазы, если и имеет место, то совсем незначительное. Изменение консистенции теста в большей степени связано с изменениями в структуре клейковинных белков, в частности, с разрывом водородных связей или же лучшей устойчивостью белков, которая также связана с их пространственной структурой. Реологические свойства клейковины и качество пшеничного хлеба зависят от присутствия как высокомолекулярных субъединиц, так и низкомолекулярного

глюteniна и глиади́на. Глюте́нин придает клейковине упругие свойства, а глиади́н обуславливает растяжимость. Признавая главенствующую роль в формировании качества клейковины за глиади́ном и глюте́нином, необходимо учитывать роль других соединений, которые находятся во взаимодействии с клейковинными белками, оказывают влияние на структуру и свойства клейковины, а именно: липидов, углеводов, ферментов (протеазы, их белковые ингибиторы, амилазы, липоксигеназа) [8].

В ранее проведенных во ФГБНУ ВНИИЗ исследованиях на образцах пшеничной муки было показано отсутствие корреляции «индекса клейковины» с показателями количества и качества клейковины, но установлена связь с числом падения, в результате чего

данный показатель в ГОСТ Р 54498-2011 «Зерно и мука из мягкой пшеницы. Определение водопоглощения и реологических свойств теста с применением миксолаба» был переименован в «хлебопекарный показатель». Характеристика клейковины исследуемых в работе образцов, их сравнение с «индексами клейковины», полученными с использованием прибора миксолаб, также не позволяет сделать однозначное заключение. Так, образцы пшеничной муки имеют «индекс клейковины» – 2; группу качества по показаниям ИДК – II удовлетворительная крепкая (39, 49, 34 ед. ИДК для высшего, 1-го и 2-го сортов соответственно). Качество клейковины тритикалевой муки Т-60 относится к I группе хорошей; Т-220 – ко II группе удовлетворительной слабой (70 и 89 ед. ИДК соответственно). При этом «индекс клейковины» в обоих случаях равен 5.

Наибольший «индекс вязкости» отмечен для образца тритикалевой муки Т-60 – 9, для ржаной обдирной муки – в 2,25 раза меньше; для пшеничной муки – в 4,5 раз и более. С учетом других индексов, в первую очередь, «индексов амилазы» и «замеса», следует отметить, что вязкость в данных образцах зависит не только от активности амилаз, но и от состояния крахмала, его качественных характеристик, а также присутствия периферийных частей, содержащих некрахмальные полисахариды.

«Индекс ретроградации крахмала» напрямую связан со способностью конечного продукта противостоять черствению и сохранять товарный вид [2, 5, 6]. Высокие значения этого индекса присущи пшеничной муке высшего и 1-го сортов, а также тритикалевой муке Т-60 – 7, 6 и 8 соответственно, что, вероятно, связано с более высоким содержанием крахмала и его структурными особенностями в этих образцах по сравнению с другими исследуемыми образцами муки.

Для подтверждения изложенных выше предположений было проведено изучение ферментативной активности на стандартном субстрате с целью оценить непосредственный вклад эндогенных ферментов в состояние белкового и углеводного комплексов разных видов муки. Известно, что протеолитические и амилолитические ферменты, наряду с другими факторами, оказывают существенное влияние на основные биополимеры муки, на реологические свойства теста, в конечном счете, на качество гото-

вого продукта. Данные по ферментативной активности исследуемых образцов муки представлены на рисунках 3 и 4.

Анализ и сравнение полученных данных с индексами миксолаба, показали, что активность нейтральных протеиназ в большей степени коррелирует с «индексом замеса», чем с «индексом клейковины». Возможно, это связано с температурным режимом, так как температурный оптимум при действии нейтральных протеиназ на собственные белки исследуемых зерновых культур составляет 40°C, при 60°C они теряют две трети своей активности [9]. Амилолитическая активность исследуемых образцов имеет четкую обратную корреляцию с «индексом амилазы»: наибольшая активность была отмечена для ржаной обдирной муки (8,46 ед./мг белка) и тритикалевой муки Т-220 (10,00 ед./мг белка), что соответствует наименьшим индексам миксолаба.

Следует отметить, что между «индексом вязкости» (показатель характеризует фазу, при которой наибольшее количество физико-химических и биохимических параметров вступает во взаимодействие) и активностью амилаз такой четкой корреляции не было выявлено. Это, вероятно, может свидетельствовать о том, что в данном случае на показатель вязкости большее влияние оказывают структурные особенности крахмала разных видов и сортов муки и присутствие в муке некрахмальных полисахаридов, как и предполагалось выше.

Исследование реологических характеристик композиционных смесей, основные параметры которых представлены в таблице 2, показало, что время замеса закономерно снижается (до достижения стабильности) с увеличением в смеси доли тритикалевой муки.

«Индекс замеса» снижается уже при добавлении 10% тритикалевой муки. «Индекс ВПС» начинает снижаться при 40%-ном содержании тритикалевой муки в смеси; при этом «индекс амилазы» и «индекс ретроградации крахмала» не изменяются. Это подтверждает, что тритикалевая мука, полученная из центральной части эндосперма зерна тритикале с преобладанием генотипа пшеницы, обладает низкой амилолитической активностью и даже при добавлении в количестве 60% к пшеничной муке не оказывает влияния на общую амилолитическую активность смеси и способность крахмала к ретроградации.

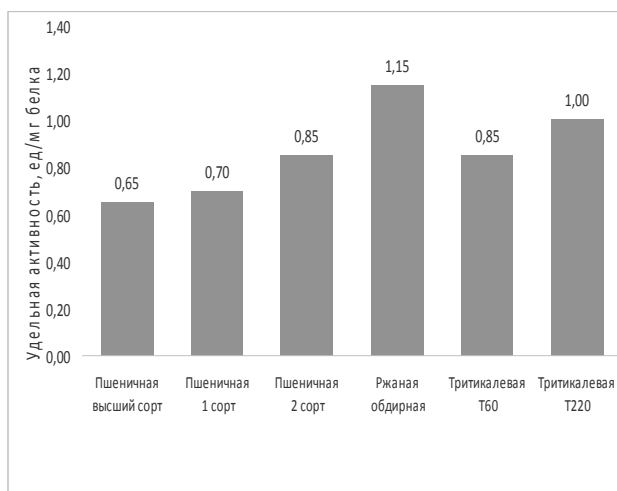


Рис. 3. Активность нейтральных протеаз в разных видах и сортах муки

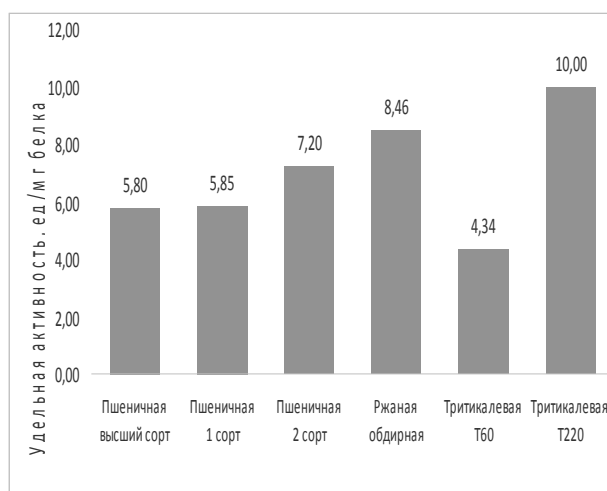


Рис. 4. Активность  $\alpha$ -амилазы в разных видах и сортах муки

Таблица 2

Основные параметры: протокол Chopin+

Образец муки	Стабильность, мин.	C1	C2	C3	C4	C5
Пшеничная в/с – 100%	10,33	1,158	0,467	1,523	1,792	3,113
Пшеничная в/с – 90% Тритикалевая т-60 – 10%	9,47	1,137	0,422	1,502	1,778	3,075
Пшеничная в/с – 80% Тритикалевая т-60 – 20%	8,97	1,108	0,403	1,820	1,777	3,048
Пшеничная в/с – 70% Тритикалевая т-60 – 30%	8,10	1,073	0,388	1,597	1,803	2,971
Пшеничная в/с – 60% Тритикалевая т-60 – 40%	7,90	1,085	0,364	1,597	1,868	3,062
Пшеничная в/с – 50% Тритикалевая т-60 – 50%	7,17	1,092	0,366	1,707	1,948	3,170
Пшеничная в/с – 40% Тритикалевая т-60 – 60%	5,95	1,058	0,329	1,461	1,908	2,978
Тритикалевая Т-60 – 100%	3,47	1,100	0,298	1,704	2,239	3,558

### Закключение

На большинстве мукомольных предприятиях в современном лабораторном контроле принято анализировать качество муки по физико-химическим показателям: влажности, количеству и качеству клейковины, беллизне, числу падения и ряду другим. Реологические свойства теста как интегральные показатели, описывающие состояние теста при замесе в течение всего технологического процесса, позволяют с высокой долей достоверности оценивать свойства зернового сырья и прогнозировать качество готового продукта. Мировая практика в об-

ласти оценки качества и безопасности продуктов питания направлена на постоянное расширение списка контролируемых показателей сырья и пищевой продукции. В связи с этим комплексные исследования взаимосвязи биохимических и технологических свойств муки, реологических свойств теста с использованием различных методов, их сравнительный анализ необходимы для правильной интерпретации показателей, получаемых на приборе миксолаб, как в исследовательской практике, так и в работе лабораторий мукомольных и хлебопекарных предприятий.

**Библиографический список**

1. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорты растений (офиц. изд.). – М.: ФГБНУ Росинформ-агротех, 2016. – С. 18-19.
2. ГОСТ ISO 17718-2015. Зерно и мука из мягкой пшеницы. Определение реологических свойств теста в зависимости от условий замеса и повышения температуры. – М.: Стандартиформ, 2015. – 31 с.
3. Панкратов Г.Н., Мелешкина Е.П., Кандроков Р.Х., Витол И.С. Технологические свойства новых сортов тритикалевой муки // Хлебопродукты. – 2016. – № 1. – С. 60-62.
4. Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А., Колпакова В.В., Витол И.С., Кобелева И.Б. Пищевая химия: лабораторный практикум. – СПб: ГИОРД, 2006. – 304 с.
5. Туляков Д.Г. Мелешкина Е.П., Витол И.С., Панкратов Г.Н., Кандроков Р.Х. Оценка муки из зерна тритикале на основе реологических свойств с использованием системы Миксолаб // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2017. – № 1 – С. 20-23.
6. Antanas S., Alexa E., Negrea M., Guran E., Lazureanu A. Studies regarding rheological properties of triticale, wheat and rye flours // J. of Horticulture, Forestry and Biotechnology. – 2013. – Vol.17 (1). – P. 345-349.
7. Dubat A. Le mixolab Profiler: un outil complet pour le controle qualite des bles et des farines // Industries des Cereales. – 2009. – No. 161. – P. 11-26.
8. Дубцова Г.Н., Нечаев А.П., Молчанов М.И. Молекулярно-биологические аспекты формирования липид-белковых комплексов и оценка их роли в структуре клейковины // Растительный белок: новые перспективы. – М.: Пищепромиздат, 2000. – С. 100-121.
9. Витол И.С., Карпиленко Г.П., Кандроков Р.Х., Стариченков А.А., Коваль А.И., Жильцова Н.С. Белково-протеиновый комплекс зерна тритикале // Хранение и пе-

реработка сельхозсырья. – 2015. – № 8. – С. 36-39.

**References**

1. Gosudarstvennyy reestr selektsionnykh dostizheniy, dopushchennykh k ispolzovaniyu. T. 1. Sorta rasteniy (ofits. izd.). – М.: FGBNU Rosinformagrotekh, 2016. – S. 18-19.
2. GOST ISO 17718-2015. Zerno i muka iz myagkoy pshenitsy. Opredelenie reologicheskikh svoystv testa v zavisimosti ot usloviy zamesa i povysheniya temperatury. – М.: Standartinform, 2015. – 31 s.
3. Pankratov G.N., Meleshkina E.P., Kandrov R.Kh., Vitol I.S. Tekhnologicheskie svoystva novykh sortov tritikalevoy muki // Khleboprodukty. – 2016. – № 1. – S. 60-62.
4. Nechaev A.P., Traubenber S.E., Kochetkova A.A., Kolpakova V.V., Vitol I.S., Kobeleva I.B. Pishchevaya khimiya. Laboratornyy praktikum. – SPb.: GIORD, 2006. – 304 s.
5. Tulyakov D.G. Meleshkina E.P., Vitol I.S., Pankratov G.N., Kandrov R.Kh. Otsenka muki iz zerna tritikale na osnove reologicheskikh svoystv s ispolzovaniem sistemy Miksolab // Khranenie i pererabotka selkhozsyrya. – 2017. – № 1 – S. 20-23.
6. Antanas S., Alexa E., Negrea M., Guran E., Lazureanu A. Studies regarding rheological properties of triticale, wheat and rye flours // J. of Horticulture, Forestry and Biotechnology. – 2013. – Vol. 17 (1). – P. 345-349.
7. Dubat A. Le mixolab Profiler: un outil complet pour le controle qualite des bles et des farines // Industries des Cereales. – 2009. – No. 161. – P. 11-26.
8. Dubtsova G.N., Nechaev A.P., Molchanov M.I. Molekulyarno-biologicheskie aspekty formirovaniya lipid-belkovykh kompleksov i otsenka ikh roli v strukture kleykoviny // Rastitelnyy belok: novye perspektivy. – М.: Pishchepromizdat, 2000. – S.100-121.
9. Vitol I.S., Karpilenko G.P., Kandrov R.Kh., Starichenkov A.A., Koval A.I., Zhiltsova N.S. Belkovo-proteinaznyy kompleks zerna tritikale // Khranenie i pererabotka selkhozsyrya. – 2015. – № 8. – S. 36-39.

