

СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ОЗИМОЙ РЖИ МЕТОДАМИ СЕЛЕКЦИИ

А. А. Гончаренко

Московский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
«Немчиновка»

Проведено 5 циклов дивергентного отбора по вязкости водного экстракта (ВВЭ) у озимой ржи. Дивергенция между популяциями зависела как от генотипа сорта, так и от направления отбора. Отбор в плюс-направлении был более эффективным, чем в минус-направлении. Величина реализованной наследуемости по признаку ВВЭ варьировала в пределах $h^2=0,70 \dots 0,74$ при плюс-отборе и $h^2=0,33 \dots 0,44$ при минус-отборе. Отбор по вязкости коррелятивно затронул другие признаки. Популяции с высокой вязкостью давали устойчивый к расплыванию хлеб с плотным, упругим и мелкопористым мякишем, но с более низким объемом. Популяции с низкой ВВЭ имели хлеб более высокого объема, но с крупнопористым и липким мякишем, нередко с большими трещинами и пустотами. На базе синтетиков с низкой (3,2 сП) и высокой (8,5 сП) ВВЭ проведены опыты по кормлению цыплят. На рационе с низковязкой рожью С-4115 без добавки ферментного препарата цыплята давали среднесуточный прирост на 14,6 % выше и обеспечивали затраты корма на 13,0 % ниже, чем на рационе с высоковязкой рожью С-4120. По действию на рост цыплят рационы с низковязкой рожью не уступали рациону с пшеницей. Действие фермента было эффективным при добавлении в рацион с высоковязкой рожью. Переваримость сухого вещества в рационе с низковязкой рожью была равна переваримости пшеницы и не зависела от добавки фермента.

Рожь озимая, качество зерна, пентозаны, вязкость водного экстракта, корреляция признаков

Характерной особенностью требований нынешнего рынка к современной селекции является потребительская адресность создаваемых сортов [1]. Применительно ко ржи задача состоит в том, чтобы создавать разнообразные по цели использования сорта с широкой диверсификацией, обеспечивающей производство из них не только хлеба, но и разнообразных продуктов питания, кормов и сырьевых энергоисточников. Очень важной проблемой

является расширение сферы кормового использования зерна ржи. В сравнении с пшеницей рожь содержит относительно много водорастворимых пентозанов (ВРП), которые в кормовом отношении нежелательны, так как снижают переваримость питательных веществ корма [2]. Вместе с тем при хлебопечении они играют положительную роль, улучшая хлебопекарные качества зерна ржи. При тестообразовании ВРП выполняют роль клейковинных белков, повышают вязкость теста, усиливают его формоустойчивость и улучшают структурно-механические свойства мякиша [3]. По этой причине ВРП входят в первую тройку факторов (наряду с крахмалом и белком), определяющих хлебопекарные качества зерна ржи.

Хотя возделываемые сорта ржи различаются по сумме общих и водорастворимых пентозанов [4], практически все они являются хлебопекарными по своему назначению, а потому по многим показателям не отвечают требованиям, предъявляемым к кормовому зерну [5]. Зернофуражная рожь в отличие от хлебопекарной должна иметь низкое содержание ВРП, а содержание протеина у нее должно быть высоким. Следовательно, задачи селекции ржи на зернофуражную и хлебопекарную пригодность не совпадают, их следует решать по независимым селекционным программам [6].

Известно, что ВРП обладают высокой водопоглотительной способностью, из-за чего их водные экстракты обладают высокой вязкостью. Установлена высокая корреляция ($r = 0,97$) между вязкостью водного экстракта (ВВЭ) зернового шрота озимой ржи и содержанием водозэкстрагируемых пентозанов, т.е. потенциал вязкости может служить косвенным критерием их количественного содержания [7]. Данные показывают, что содержание ВРП и уровень ВВЭ обусловлены не только генетическими, но и экологическими факторами. Обнаружена почти 5-ти кратная вариация между инбредными линиями ржи по вязкости водного экстракта, которая контролируется тремя локусами, расположенными на хромосомах 3RS и 3RL [8]. Оказалось также, что фенотипическая изменчивость признака вязкости зависит от количества осадков, выпавших в период после колошения ржи ($r = -0,62 \dots -0,76$), а также типа почвы, технологии возделывания, времени созревания урожая, условий и срока его хранения [9]. Были разработаны различные методы оценки ВВЭ с использованием роторных и капиллярных вискозиметров [10], что позволило развернуть новое направление в селекции ржи - создание специальных сортов ржи зернокормового назначения [11].

Первые шаги к целенаправленной селекции ржи на экстрагируемую вязкость сделали канадские исследователи. Первоначально ими были выявлены большие межсортовые различия по величине привеса цыплят-бройлеров, получавших ржаную диету на базе разных сортов-популяций [12]. Последующие исследования показали [13], что ВВЭ отличается большим внутрисортовым варьированием, положительно связана с числом падения ($r = 0,87$) и отрицательно с массой зерновки ($r = -0,79$) и сильно

варьирует от погодных условий в период налива зерна и места выращивания. Позднее польские исследователи [14] показали, что на линейном уровне можно отселектировать инбредные линии ржи с минимально низкой и с максимально высокой вязкостью, на базе которых можно получить соответствующие гибриды.

Целью наших исследований было получить на основе популяционной и линейной селекции формы озимой ржи с контрастной (высокой и низкой) ВВЭ и провести их сравнительную оценку по технологическим, хлебопекарным и кормовым свойствам зерна.

Ниже излагаются краткие результаты наших исследований в этом направлении.

1. Получение дивергентных популяций и оценка их хлебопекарных свойств.

Исходным материалом для проведения дивергентного отбора послужили сорта-популяции Альфа и Московская 12. Вязкость водного экстракта зернового шрота определяли в сантипуазах (сП) по методике, описанной нами ранее [10]. Оценка проводилась по растениям, от которых брали часть зерна (5г) для анализа, а оставшуюся сохраняли в резерве. Первый цикл дивергентного отбора провели в 2005-2006 гг, а пятый – в 2009-2010гг. Ежегодно объем выборки по каждому сорту составлял 160 растений в фазе полной спелости при каждом цикле отбора (80 растений для плюс-отбора и 80 для минус-отбора). Дивергентные популяции получали путем смешивания резервных семян от каждого из 20 растений, которые по признаку ВВЭ отклонялись на величину $\pm 1,5\sigma$ от средней популяционной. Полученные таким образом 4 популяции (2 от плюс-отбора и 2 от минус-отбора) высевали на пространственно изолированных делянках 3 м^2 для свободного переопыления и проведения последующих циклов отбора. Сравнение исходной и селекционируемой популяций проводили в отдельном опыте на делянках 8 м^2 . Селекционный дифференциал S определяли по разности между средней величиной ВВЭ у отобранных растений и средней родительской популяции до отбора, генетический сдвиг R - как разность между величиной вязкости у исходной и селекционируемой популяций, коэффициент реализованности наследуемости h^2 - как отношение R/S . Сравнительное полевое испытание дивергентных популяций от 4-х циклов отбора провели в 2010 г на делянках 8 м^2 в трехкратной повторности при норме высева 500 зерен на 1 м^2 . Учитывали урожайность, зимостойкость, высоту растений, устойчивость к полеганию, массу 1000 зерен, число зерен в колосе, а также технологические и хлебопекарные качества зерна.

Анализ прямого отклика на проведенный отборпоказывает (рис.1), что эффективность отбора была неоднозначной и зависела как от генотипа

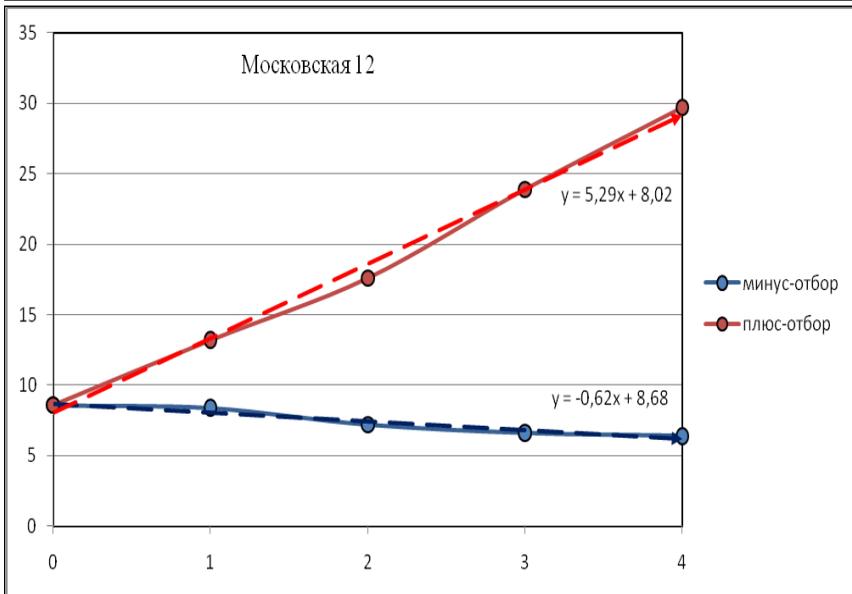
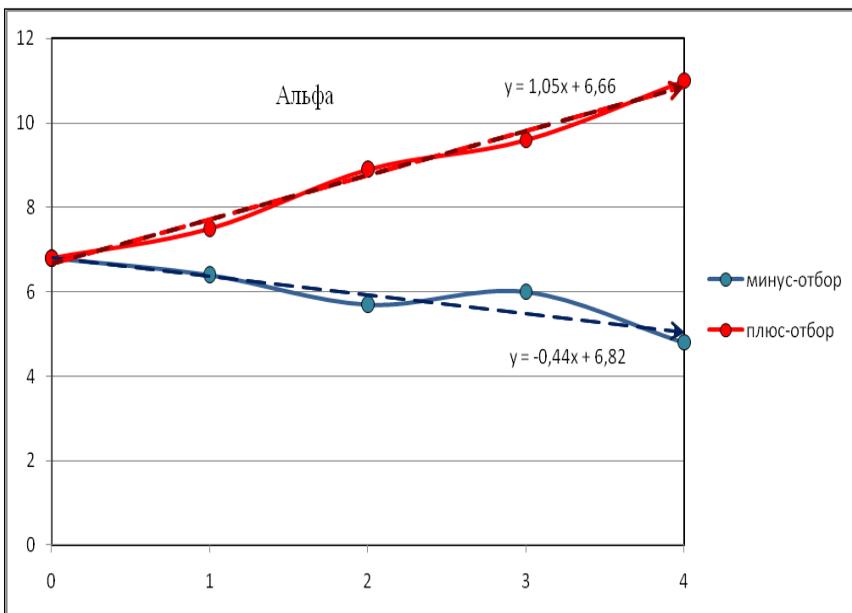


Рис. 1. Дивергенция популяций ржи по вязкости водного экстракта (сП) после 4-х циклов отбора (2010 г)

сорта, так и от направления отбора. Дивергенция популяций, полученных на базе сорта Московская 12, была заметно выше, чем на базе сорта Альфа. После 4 циклов отбора селективируемые субпопуляции из сорта Альфа различались по ВВЭ в 4,0 раза, а субпопуляции из сорта Московская 12 – в 5,7 раза.

Отбор в плюс-направлении по обоим сортам был более эффективным, чем в минус-направлении. При плюс-отборе увеличение ВВЭ у сорта Альфа составило в среднем 43,3% за один цикл, а у сорта Московская 12 – 88,2%. При минус-отборе снижение вязкости происходило более медленно и составило по сортам соответственно 10,5% и 13,3% за один цикл. Этот феномен можно объяснить более высокой дисперсией признака вязкости в группе высоковязких генотипов по сравнению с низковязкими. Соответственно этому отбор в противоположных направлениях дал сильно различающиеся оценки коэффициентов реализованной наследуемости: $h^2=0,70\dots0,74$ у плюс-популяций и $h^2=0,33\dots0,44$ у минус-популяций.

Анализ вариационных рядов селективируемых популяций показал, что в результате отбора произошла трансформация их генотипической структуры (рис. 2). Суть ее сводится к образованию многовершинных кривых, указывающих на усиление качественной неоднородности популяций.

Под влиянием отбора произошло образование нескольких субпопуляций из основной исходной, причем независимо от сорта наиболее сильно оно проявилось в популяциях при плюс-отборе. По размаху изменчивости признака ВВЭ плюс-популяция из сорта Московская 12 значительно превышала таковую из сорта Альфа, чего нельзя сказать в отношении минус-популяции. Обращает на себя внимание высокая дисперсия признака вязкости в правой части вариационного ряда (генотипы с высокой вязкостью) по сравнению с левой (генотипы с низкой вязкостью). Такой характер распределения наводит на мысль, что дивергентный отбор по ВВЭ затрагивает различные группы генов, отвечающих за экспрессию данного признака. Можно предположить, что в селективируемых популяциях признак высокой вязкости контролируется действием сильных аддитивных генов, отличающихся высокой частотой и дающих наибольший вклад в наследуемость. За низкую вязкость, наоборот, отвечают другие гены с более низкой частотой. Последняя, вероятно, поддерживается естественным отбором, который противодействует генотипам с низкой вязкостью. В этом случае становится понятной причина вышеупомянутой асимметрии: она могла быть обусловлена первоначальной асимметрией частот плюс- и минус-генов, ответственных за потенциал вязкости. Кроме того, асимметрия косвенно указывает на то, что признак вязкости у ржи является важной компонентой естественной приспособленности у ржи. Проведенный отбор по ВВЭ коррелятивно затронул многие другие селекционно-ценные признаки. В наших опытах популяции с низкой вязкостью отличались от высоковязких более низкой урожайностью

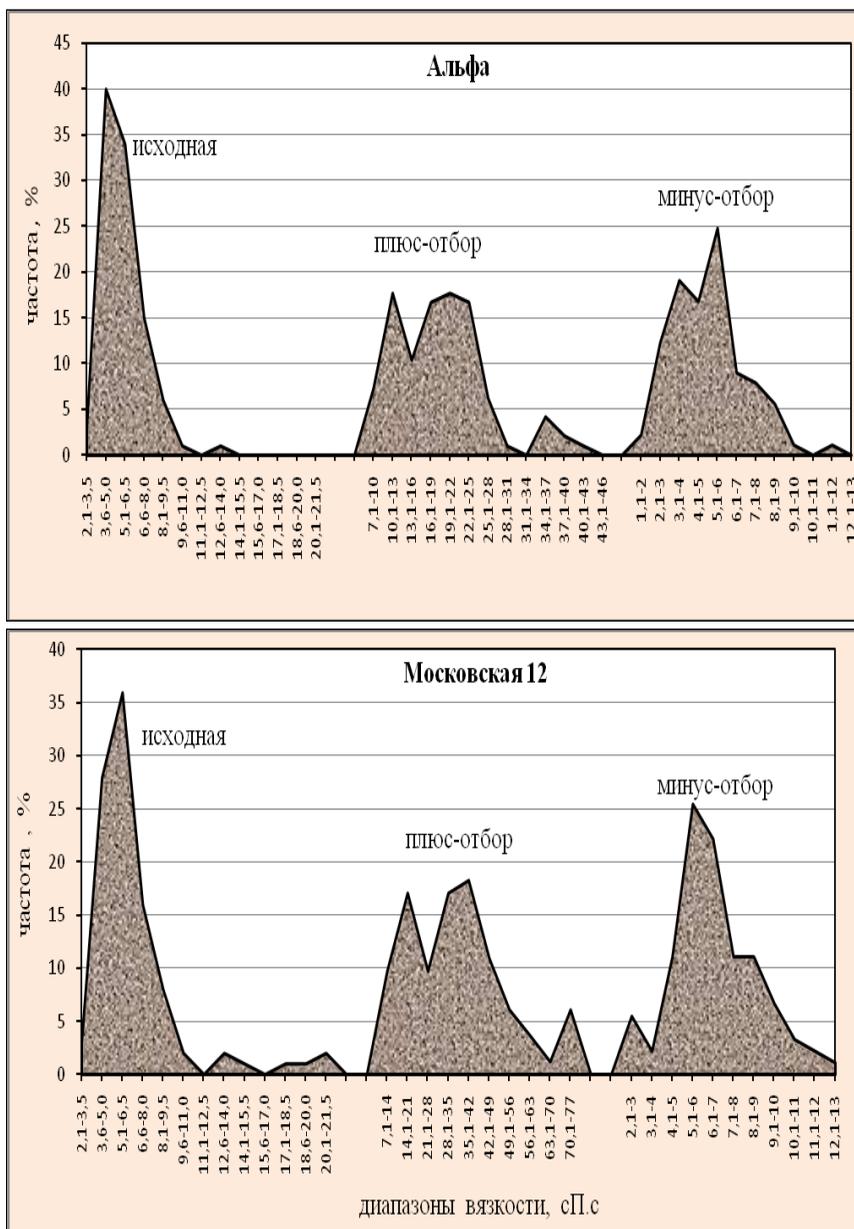


Рис.2. Динамика структуры популяций после 5-ти циклов дивергентного отбора по вязкости водного экстракта

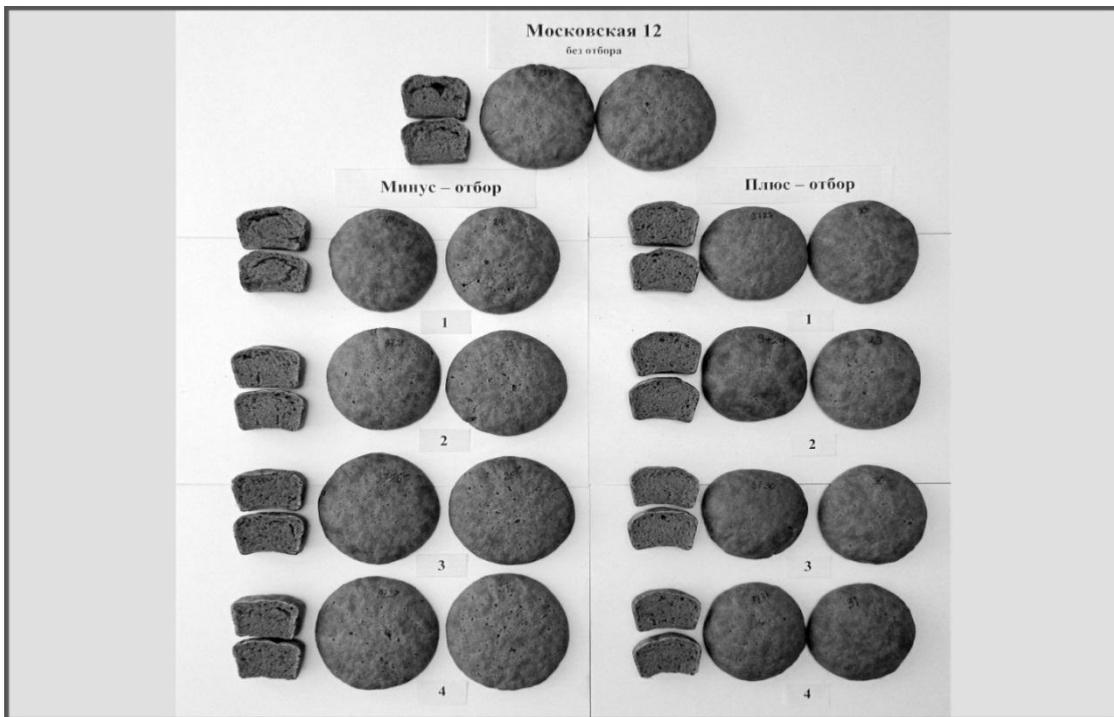


Рис.3. Пробная выпечка подового и формового хлеба из популяций сорта Московская 12 от последовательно проведенных 4-х циклов дивергентного отбора

(в среднем на 10%), длинным и менее устойчивым к полеганию стеблем, а также относительно мелким зерном. Значительные различия обнаружены и по технологическим и хлебопекарным качествам зерна. По обоим сортам высоковязкие популяции в сравнении с низковязкими характеризовались более высоким содержанием водорастворимых пентозанов (ВРП), высоким числом падения и высотой амилограммы, положительно выделялись по формоустойчивости теста (отношение Н/Д было выше в 1,5 раза). Популяции с высокой ВВЭ давали устойчивый к расплыванию хлеб с плотным, упругим и мелкопористым мякишем, но с более низким объемом. Популяции с низкой ВВЭ имели хлеб более высокого объема, но с крупнопористым, влажным и липким мякишем, нередко с большими трещинами и пустотами (рис.3). Эти данные подтверждают вывод о том, что в основе хлебопекарных качеств зерна ржи лежит экспрессия двух основных признаков – содержания ВРП и числа падения [15].

2. Получение синтетиков с контрастной ВВЭ и оценка их кормовой ценности.

В последние годы в рамках конкурсного проекта «Гибридная рожь» нами ежегодно проводится оценка 300-400 инбредных линий по признаку ВВЭ. По результатам 7 летнего мониторинга были выделены две группы линий: 1) с высокой (8,5-10,4 сП) и 2) с низкой (2,6-3,2 сП) ВВЭ (табл.1). На их основе созданы и размножены синтетики С-4120 вв и С-4115 нв с контрастным проявлением этого признака (табл.2). Оценка кормовой ценности этих синтетиков была проведена в Кубанском ГАУ под руководством академика РАСХН Рядчикова В.Г. путем постановки 20-суточных опытов по кормлению цыплят яичного кросса. В качестве контроля использовали зерно яровой пшеницы сорта МИС. Доля зернового компонента в рационе (рожь или пшеница) составляла 69%, в 3-х группах из 6-ти цыплят получали корм, обогащенный ферментом глюконоазно-ксиланазного действия «Белфит». Биохимическая характеристика зерна сортообразцов, используемых в опыте, представлена в табл.2.

Результаты опыта показывают, что наибольший прирост живой массы за 20 дней опыта как в чистом виде, так и в случае добавки фермента обеспечила низковязкая рожь С-4115 (рис. 4). На рационе с зерном этого образца без добавки фермента (5 группа) цыплята показали среднесуточные приросты на 14,6 % выше, а затраты корма на единицу прироста на 13 % ниже, чем на рационе с высоковязкой рожью С-4120. Более того, по действию на рост цыплят рационы с низковязкой рожью С-4115 не уступали рациону с пшеницей. Наиболее резко контрастировала с ней на этом фоне высоковязкая рожь С-4120, которая при отсутствии фермента снижала среднесуточный прирост цыплят по сравнению с пшеницей на 10,1%.

Таблица 1.

Инбредные линии озимой ржи с контрастной вязкостью водного
экстракта зернового шрота (сП)

Линии	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	среднее
Низкая вязкость:								
Н-312	2,2	3,6	3,2	3,8	2,9	1,9	3,0	2,9
Н-515	2,8	2,7	3,7	5,3	2,5	2,6	2,8	3,1
Н-606	2,1	2,2	2,4	6,6	2,7	2,1	2,1	2,9
Н-619	2,0	2,2	2,6	4,2	2,4	2,1	2,3	2,6
Н-696	3,1	2,4	3,7	6,2	2,4	2,4	2,6	3,2
Высокая вязкость:								
Н-577	11,2	8,6	11,5	14,6	6,5	6,4	10,4	9,9
Н-720	12,0	6,5	7,1	13,6	8,1	7,5	18,2	10,4
Н-822	8,0	7,7	8,0	13,3	6,7	9,9	17,8	10,2
Н-826	4,7	7,4	8,8	7,1	5,7	20,0	18,5	10,3
Н-1048	7,6	6,1	8,3	13,4	6,2	9,4	8,8	8,5

Добавление ферментного препарата «Белфит» к корму цыплят 4-ой группы способствовало существенному повышению среднесуточных приростов с 8,33 до 9,64 г или на 15,7%. Добавка ферментного препарата к низковязкой ржи так же способствовала повышению продуктивности цыплят, но менее ощутимой, чем на рационе с высоковязкой рожью. Эти результаты свидетельствуют о том, что относительно низкое содержание некрахмалистых полисахаридов в зерне ржи С-4115 реально привело к тому, что ее кормовые качества не уступают таковым по пшенице и существенно превосходят качество высоковязкой ржи С-4120. Кроме того, добавление ферментов к низковязкой ржи не было таким эффективным, как при его добавлении в рацион с высоковязкой рожью.

Таблица 2.

Биохимическая оценка зерна сортообразцов, используемых для
приготовления кормовых рационов

Сортообразцы	Вязкость водного экстракта, сП	Содержание в сухом веществе, %.		
		водораствори- мые пентозаны	белок	крахмал
Яровая пшеница МИС	1,2	2,8	14,7	64,1
Озимая рожь С-4120 (вв)	8,5	7,8	11,4	59,0
Озимая рожь С-4115 (нв)	3,2	5,9	14,4	56,9

Отмеченные выше различия в продуктивности цыплят объясняются различной переваримостью сухого вещества корма. В рационах без фермента «Белфит» переваримость сухого вещества низковязкой ржи С-4115 была равна переваримости пшеницы.

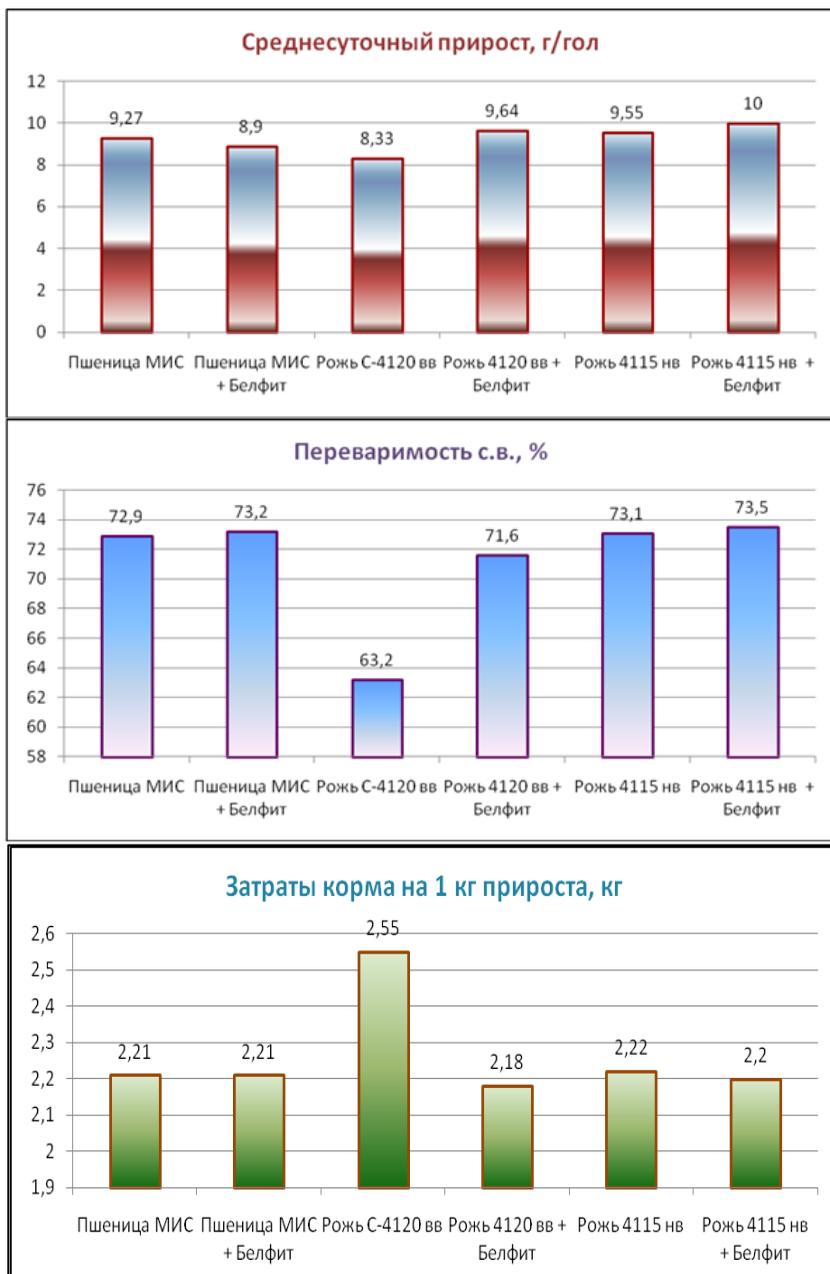


Рис.4. Эффективность кормления цыплят зерном ржи с различной вязкостью водного экстракта

Самая низкая переваримость сухого вещества выявлена у цыплят 3-ей группы на рационе с высоковязкой рожью С-4120. У цыплят на рационе с низковязкой рожью она была на 9,9% выше. Добавление ферментного препарата «Белфит» способствовало значительному повышению переваримости сухого вещества (с 63,2 до 71,6%) на рационе с высоковязкой рожью С-4120 и не оказывало какого-либо существенного улучшения при использовании рационов с пшеницей МИС и низковязкой рожью С-4115.

Таким образом, полученные данные свидетельствует о возможности и целесообразности снижения содержания высоковязких пентозанов в зерне озимой ржи методами селекции. Есть все основания считать, что селекция на низкую вязкость водного экстракта позволит существенно улучшить кормовую ценность зерна создаваемых сортов ржи. Зерно ржи с вязкостью на уровне 3,0-3,5 сП в сравнении с высоковязким (8,0-8,5 сП) имеет более высокую переваримость и усвояемость питательных веществ и по действию на рост цыплят не уступает пшенице. Положительное действие ферментного препарата на среднесуточный прирост цыплят проявляется только на рационе с высоковязкой рожью и причиной тому является улучшение переваримости сухого вещества.

Список использованных источников

1. *Жученко А.А.* Ресурсный потенциал производства зерна в России / А.А. Жученко. – М.: Агрорус, 2004. – 1109 с.
2. *Rakowska M.* The nutritive quality of rye / M. Rakowska // Vortr. Pflanzenzucht. – 1996. – V. 35: 85-95.
3. *Brummer J.-M.* Rye Flour / J.-M. Brummer // Future of Flour – a Compendium of Flour Improvement by Verlagmedia, 2006. – 179-192.
4. *Weipert D.* Pentosans as selection traits in rye breeding / D. Weipert // Vortr. Pflanzenzucht. – 1996. – V. 35. – 109-119.
5. *Flamme W., Dill P., Jansen G., Roux S.* Developing rye germplasm for alternative uses: Quality assessment methods and progress from selection // Beitrage zur Zuchtungsforchung.-1997.-3(1).-26-40.
6. Variability of the content of soluble non4igestible polysaccharides in rye inbred lines / *Madej L., Raczynska-Bojanowska K., Rybka K.* // Plant Breed. – 1990. – 104
7. Extract viscosity as an Indirect Assay for water-soluble Pentosan Content in Rye Boros D., Marquardt R.R., Slominski B.A., Guenter W. // Cereal Chem. – 1993. – V. 70 (5). – 575-580.
8. *Masojc P.* // Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis / P. Masojc, P. Milczarski // Agricultura. –2004. – № 93.
9. Extract viscosity of winter rye: Variation with temperature and precipitation / Y. T.Gan, J. G.McLeod, G. J.Scoles, G. L. Campbell // Canad.J.Plant Science. – 1997. – V. 77(4). – 555-560.

10. Тимощенко А.С. Адаптация роторного вискозиметра VT5L/R к определению относительной вязкости водного экстракта зернового шрота озимой ржи / А.С.Тимощенко, А.А.Гончаренко, Е.Н. Лазарева // С-х биология. – 2008. – №5. – С. 110-115.
11. Madej L. Breeding approach to the improvement of feeding quality of rye grain / L. Madej // Hod. Rosl., Aklimat. i Nasienn. – 1994. –V. 38, № 5.
12. Campbell G.L Genotypic and environmental differences in rye fed to broiler chicks with dietary pentosanase supplementation / G.L.Campbell, D.A.Teitge, H.L. Classen // Can. J. Anim. Sci. – 1991. – V. 71. – 1241-1247.
13. Extract viscosity and feeding quality of rye / J.G. McLeod, Y.,Gan Scoles G.J. Campbell // Votr. Pflanzenzucht. –1996. –V. 35. – 97-108.
14. Quantitative characteristic of rye inbred lines / I.Kolasinska, D. Boros, L. Madej, A.Cygankiewich // Proceeding of the EUCARPIA Rye Meeting, (Juli 4-7, 2001) – Poland, 2001. –P. 315-318.
15. Гончаренко А.А. Анализ корреляционной зависимости признаков, определяющих потенциал вязкости водного экстракта зерна озимой ржи / А.А.Гончаренко, А.С. Тимощенко // Доклады РАСХН. – 2010. – № 3. – С. 3-6.

Проведено 5 циклів дивергентного відбору по в'язкості водного екстракту (ВВЕ) у озимого жита. Дивергенція між популяціями залежала як від генотипу сорту, так і від напрямку відбору. Відбір в плюс-напрямку був більш ефективним, ніж у мінус-напрямку. Величина реалізованої наслідованості ознакою ВВЕ варіювала у межах $h^2 = 0,70 \dots 0,74$ при плюс-відборі і $h^2 = 0,33 \dots 0,44$ при мінус-відборі. Відбір по в'язкості корелятивно торкнувся інших ознак. Популяції з високою в'язкістю давали стійкий до розпливання хліб зі щільним, пружним і дрібнопористим м'якушем, але більш низького об'єму. Популяції з низькою ВВЕ мали хліб більш високого об'єму, але з великопористим і липким м'якушем, нерідко з великими тріщинами і порожнинами. На базі синтетиків з низькою (3,2 СП) і високою (8,5 СП) ВВЕ проведені досліди по годівлі курчат. На раціоні з низков'язким житом С-4115 без добавки ферментного препарату курчата давали середньодобовий приріст на 14,6% вище і забезпечували витрати корму на 13,0% нижче, ніж на раціоні з високов'язким житом 3-4120. По дії на ріст курчат раціони з низков'язким житом не поступалися раціону з пшеницею. Дія ферменту була ефективною при додаванні до раціону з високов'язким житом. Перетравність сухої речовини в раціоні з низков'язким житом дорівнювала перетравності пшениці і не залежала від добавки ферменту.

5 cycles of divergent selection on viscosity of a water extract (VWE) at a winter rye are lead. The divergence between populations depend both on a genotype of a variety and from a direction of selection. Selection in plus-

direction was more effective, than in a minus-direction. The size realized heritability varied from $h^2=0,70 \dots 0,74$ at plus-selection up to $h^2=0,33 \dots 0,44$ at a minus-selection. Selection on viscosity correlatively has mentioned other attributes. Populations with high viscosity gave resistant to fluidity bread with a dense, elastic and fine-pore crumb, but with lower volume. Populations with low VWE had bread of higher volume, but with large-pore and a sticky crumb, is frequent with big cracks and emptiness. On the basis of synthetics with low (3,2 sP) and high (8,5 sP) VWE experiences on feeding chickens with the purpose of an estimation of nutritional value are lead. On a ration with low-viscosity rye C-4115 without the additive of a fermental preparation chickens gave a daily average gain on 14,6 % above and provided expenses of a forage for 13,0 % below, than on a ration with high-viscosity rye C-4120. On action on growth of chickens rations with low-viscosity a rye did not concede to a ration with wheat. Action of enzyme was effective at addition in a ration with high-viscosity a rye. The digestibility of dry substance a ration with low-viscosity a rye it was equal digestibility of wheat and did not depend on the additive of enzyme.