

## ЧЕЛНОЧНАЯ СЕЛЕКЦИЯ МЕЖДУ МЕКСИКОЙ И КАЗАХСТАНОМ: РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОДРОБНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Третован Р.<sup>1</sup>, Моргунов А.<sup>2</sup>, Зеленский Ю.<sup>2</sup>, Лэге Я.<sup>1</sup>

1 – *Международный центр улучшения кукурузы и пшеницы (СИММИТ), Эль-Батан, Мексика; 2 – СИММИТ-ЦАЗ, г. Астана, Казахстан*

## SHUTTLE BREEDING BETWEEN MEXICO AND KAZAKHSTAN: RESULTS, REFINEMENTS AND PROSPECTS

Trethowan, R.<sup>1</sup>, Morgounov, A.<sup>2</sup>, Zelenskiy, Yu.<sup>2</sup>, and Lage, J.<sup>1</sup>

1- *International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), El-Batan, Mexico; 2 – CIMMYT-CAC, Astana, Kazakhstan*

В статье представлен обзор деятельности по программе челночной селекции пшеницы, начатой в 1998 году между международным центром СИММИТ (Мексика) и научными учреждениями Казахстана, Западной Сибири с целью обеспечения данного региона генетическим разнообразием сортов пшеницы для улучшения устойчивости к болезням, урожайности, засухоустойчивости и качества зерна. В ряде скрещиваний по данной программе использовали беккроссы (между казахстанским и сибирским материалом), а также топ-кроссы по схеме Канада/СИММИТ (Мексика)/Казахстан, затем делали отбор получаемого потомства по методике челночной селекции СИММИТа. Для отслеживания желаемых признаков в процессе сегрегации селекционного материала применяли молекулярные маркеры; в последнее время начаты скрещивания с линиями, отличающимися большим содержанием Fe и Zn, что позволяет улучшить питательные свойства зерна. Сделан вывод об эффективном функционировании и результативности программы; на региональном уровне создается и тестируется новый, улучшенный материал.

*Ключевые слова: челночная селекция, пшеница, беккросс, скрещивания, отбор, генетическое улучшение, маркирование, перспективные линии.*

### Введение

Яровая пшеница возделывается на большой территории в Северном Казахстане и Западной Сибири, занимая более 20 млн га площадей. В данном регионе, характеризующимся засушливыми условиями, распространена система чередования пара и пшеницы, одновременно все большую популярность здесь приобретают почвозащитные технологии, при которых на поле оставляют растительные остатки предыдущей культуры. Очень холодные зимы ограничивают сезон выращивания культур с мая по сентябрь. Средняя урожайность пшеницы низкая (1-1,5 т/га) из-за малого количества осадков (250-400 мм) и неэффективного использования средств производства (Morgounov, Trethowan, 2006). Одними из главных лимитирующих факторов производства являются засуха и повсеместная восприимчивость сортов к бурой ржавчине.

В 1998 году была налажена челночная селекционная программа, которая стала связующим звеном между научными учреждениями Казахстана, Западной Сибири и Программой по пшенице СИММИТа (Международный Центр улучшения кукурузы и пшеницы, Мексика). Основная задача данного сотрудничества – обеспечение нового генетического разнообразия сортов пшеницы для улучшения устойчивости к болезням, урожайности, засухоустойчивости и качества зерна. В свою очередь, для СИММИТа такое сотрудничество открывало доступ к генетическому разнообразию селекционного

материала, имеющегося в Казахстане и Западной Сибири. Данная статья ставит целью проведение обзора по данной программе, а также подведение некоторых итогов и взгляд на перспективы такого сотрудничества в будущем.

### Материалы и методы

#### *Процесс челночной селекции*

Ежегодно селекционные линии и сорта отправляются из Казахстана и Западной Сибири в Международный центр СИММИТ (Эль-Батан, Мексика) для проведения скрещиваний. Цель скрещиваний заключается в том, чтобы сочетать местную адаптивность центрально-азиатского материала с улучшенной устойчивостью к желтой ржавчине, потенциальной урожайностью и засухоустойчивостью линий СИММИТа и высоким качеством канадского селекционного материала. Процесс челночной селекции показан на рисунке 1.

Во многих случаях используются беккроссы (казахстанский/сибирский материал). Часто проводятся сложные скрещивания, так называемые топ-кроссы, по схеме Канада/СИММИТ/Казахстан. Затем проводится отбор получаемого потомства с использованием методологии ведения челночной селекции СИММИТа, согласно которой материал в течение года перемещается между двумя контрастными (различными по условиям выращивания) точками в Мексике: Толука (2640 м над уровнем моря) и Обрегон (60 м над уровнем моря), что подробно



**Рис 1. Схема процесса челночной селекции между Мексикой и Казахстаном/Сибирью**  
**Fig. 1. Diagram of the Shuttle Breeding Process between Mexico and Kazakhstan/Siberia**

описано Х. Брауном и др. (1996). Тем не менее, учитывая, что материал по программе челночной селекции предназначен для возделывания пшеницы в регионах на высоких широтах ( $>48^{\circ}$ ), при проведении скрещиваний и получении линий в обоих географических пунктах СИММИТА в Мексике на площади в один гектар применяется дополнительное освещение. Оно необходимо, чтобы создаваемый материал обладал требуемым для высоких широт уровнем чувствительности к фотопериоду. Благодаря изучению различных сроков посева удалось определить, что при ранних сроках сева поколение F2 не требует дополнительного освещения и отбора линий, чувствительных к фотопериоду; такие растения успевают вызреть к сроку уборки и продолжить участие в программе челночной селекции. Каждое отобранное растение в F2 высевается в F3 колосковым посевом, а для F4 используется модифицированная схема селекции.

В Мексике материал для челночной селекции проходит отбор на устойчивость к полосчатой, бурой и стеблевой ржавчине, хотя полосчатая ржавчина и не распространена в Центральной Азии. Тем не менее, устойчивость исследуемого материала к полосчатой ржавчине необходима, так как данная болезнь имеет эндемический характер в Толуке Мексики, где находится одна из экспериментальных станций СИММИТА - место ведения программы челночной селекции. При условии, что в будущем полосчатая ржавчина способна распространиться в Казахстане/Западной Сибири, данный материал будет представлять собой ценный источник

устойчивости в местных условиях. В Мексике отбираются более высокостебельные растения, поскольку полукарликовые не подходят для неблагоприятных и засушливых условий Северного Казахстана и Сибири. Помимо изучения чувствительности к фотопериоду, высоты растений и устойчивости к болезням, в Мексике проводится скрининг поколений F3 и F4 на технологическое (промышленное) качество зерна. Лишь линии, характеризующиеся твердозерностью, высоким содержанием протеина и растяжимостью теста, отправляются в Казахстан для последующего отбора в местных условиях. После выявления в местных условиях лучших линий этот материал затем передается в СИММИТ для включения в скрещивания и челночную селекцию.

#### Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлено общее количество образцов, перемещенных из Казахстана в Мексику, начиная с 2000 года. Всего в Казахстан/Сибирь было завезено 2279 сегрегационных линий, выведенных из индивидуальных растений поколения F2 и поддерживаемых до поколения F4 согласно разработанной в СИММИТе методологии отбора, представленной 488 различными скрещиваниями.

После индивидуального отбора колосков и размножения семян данный генетический материал прошел испытание в условиях Казахстана. На рисунке 2 показана урожайность материала для челночной селекции в пяти пунктах в сравнении с местным стандартом. Эти данные были получены на основе испытаний без

**Таблица 1. Количество линий F4 и F5 после скрещиваний в Мексике материала СИММИТа, Казахстана, Сибири и Канады, отправленного в Казахстан в рамках челночной селекции**

**Table 1. The Number of F4 and F5 Progeny Developed in Mexico from Crosses among CIMMYT, Kazakh/Siberian & Canadian Materials Sent to Kazakhstan for Shuttle Breeding**

Год Year	Количество высланных линий Number of Lines Sent	Количество скрещиваний Number of Crosses Represented
2000	120	13
2001	642	94
2002	386	153
2003	445	42
2004	400	89
2005	286	97
Итого	2,279	488

повторностей в каждом из пунктов. За исключением Усть-Каменогорска, везде были выявлены сорта с улучшенными характеристиками по сравнению с местным стандартом. В Карабалыке (Карабалыкская опытная селекционная станция) количество линий, равное либо превысившее по урожайности стандарт, составляло 16, в хозяйстве Фитон (Карабалыкский район Костанайской области) — 24, в Усть-Каменогорске (Восточно-Казахстанский НИИСХ) — 1, в Актобе (Актюбинская с.-х. опытная станция) и Караганде (Центрально-Казахстанский НИИСХ) — 13.

Низкие показатели по Восточному Казахстану, вероятнее всего, вызваны недостаточным количеством исходного материала из этого региона, представленным в челночной селекции. Кроме того, материал для челночной селекции значительно превысил местные стандарты по устойчивости к бурой ржавчине (Рис. 3). На Карабалыкской опытной станции 106 из 114 линий имели равный либо более высокий уровень устойчивости к бурой ржавчине по сравнению с местным стандартом; 93 из 112 линий также превысили показатели лучшего стандарта из Восточного Казахстана. Испытуемые линии также обладали повышенной устойчивостью к мучнистой росе (106 из 113 номеров показали устойчивость, близкую к местному стандарту); многие линии также характеризовались хорошим уровнем резистентности к септориозу (53 из 113 номеров приблизились или равнялись местному стандарту по показателям). Эти данные были получены на полях Карабалыкской СХОС.

#### **Перспективы челночной селекции между Мексикой, Казахстаном и Сибирью**

Очевиден достигнутый прогресс в создании новых линий с улучшенной адаптацией к

условиям Северного Казахстана и Западной Сибири при помощи челночной селекции. Результаты, представленные в данной статье, имеют отношение к материалу, созданному ранее в процессе челночной селекции, однако, можно предположить, что значимость полученного генетического материала в будущем значительно вырастет. По мере все большего вовлечения в скрещивания, проводимые СИММИТом, материала из Казахстана уровень адаптированности и ценность этого материала возрастут. К тому же, повышенная устойчивость и качество материала, вышедшего из челночной селекции, снизит риск ухудшения качества зерна во влажные годы и, соответственно, уменьшит материальные потери фермеров. Казахстан является одним из основных экспортеров пшеницы, и поэтому конкурентоспособное зерно с улучшенным качеством позволит расширить сферу экспорта на международном рынке и повысить ценность производимого зерна на региональном уровне.

В последние годы был достигнут значительный прогресс в использовании молекулярных маркеров. Селекционная программа пшеницы СИММИТа использует молекулярные маркеры для отслеживания желаемых признаков в процессе сегрегации селекционного материала (William *et al.*, 2003). К тому же, благодаря использованию всех доступных маркеров, включая гены устойчивости, гены качества, роста, гены, контролируемые фенологию, и гены устойчивости к болезням помимо ржавчинных заболеваний, происходит идентификация скрещиваемого материала. Мы предлагаем таким же путем идентифицировать родительские линии из Казахстана и Сибири и затем обнародовать эту информацию в регионе. Такие данные значительно улучшат эффективность скрещиваний. Там, где это необходимо, гены желаемых признаков для местных селекционеров (например: гены устойчивости к ржавчине или гены, контролируемые устойчивость к корневым заболеваниям) будут интрогрессированы с использованием молекулярных маркеров и зафиксированы в F4 еще до того, как линии F4 поколения будут переданы в регион для дальнейшего отбора.

Нами также начаты скрещивания с линиями, характеризующимися высокой концентрацией железа и цинка (Fe & Zn), что позволяет улучшить питательные свойства зерна. Программа Harvest Plus (“Урожай плюс”) уже выделила некоторый исходный материал, хотя на данный момент такие работы в основном ведутся в Южной Азии. Тем не менее, начиная с 2005 года, исходный материал с высоким содержанием этих микроэлементов появится в сегрегационных популяциях, высылаемых из Мексики.

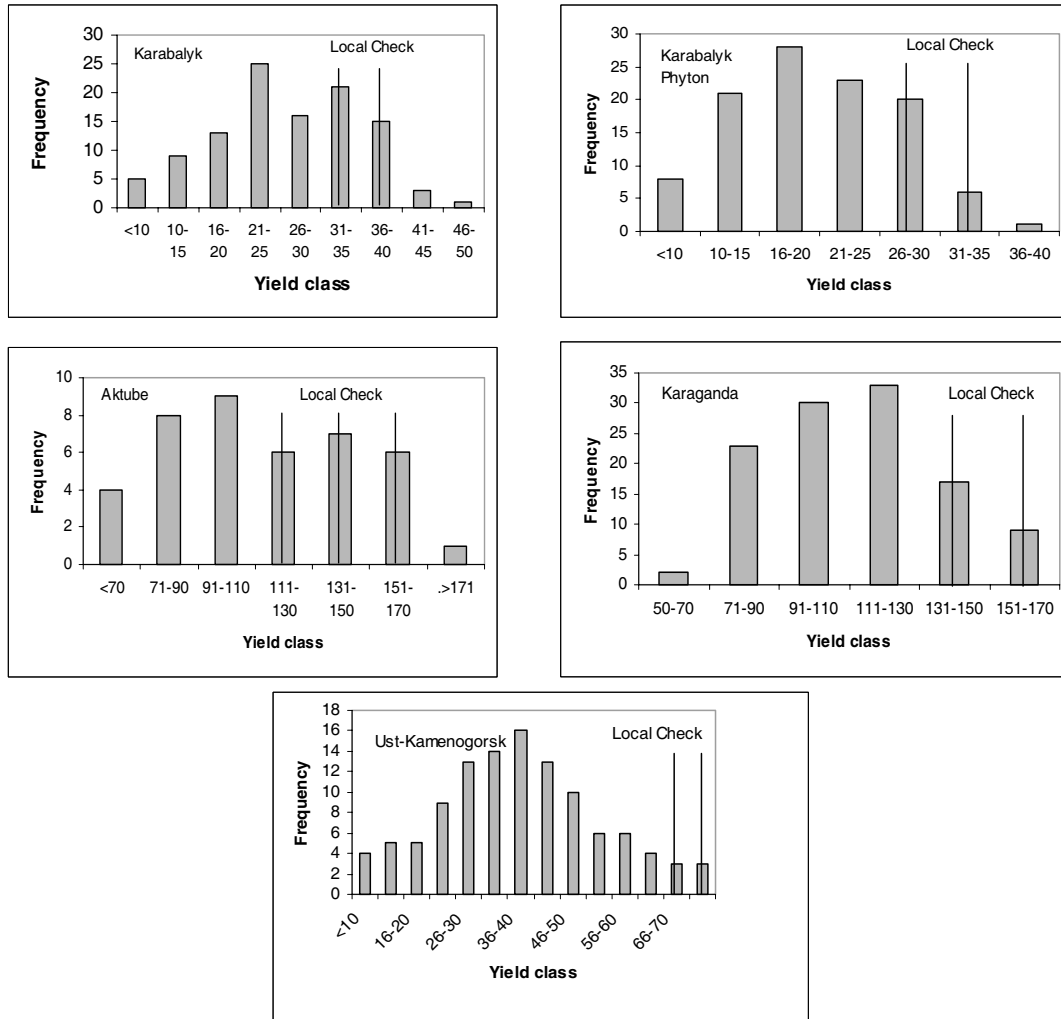


Рис 2. Урожай линий, созданных путем челночной селекции, в сравнении с местным стандартом в Казахстане в 5 экспериментальных точках

Fig. 2. Yield of Lines Developed Using Shuttle Breeding Compared to the Local Check Cultivar at 5 Sites in Kazakhstan

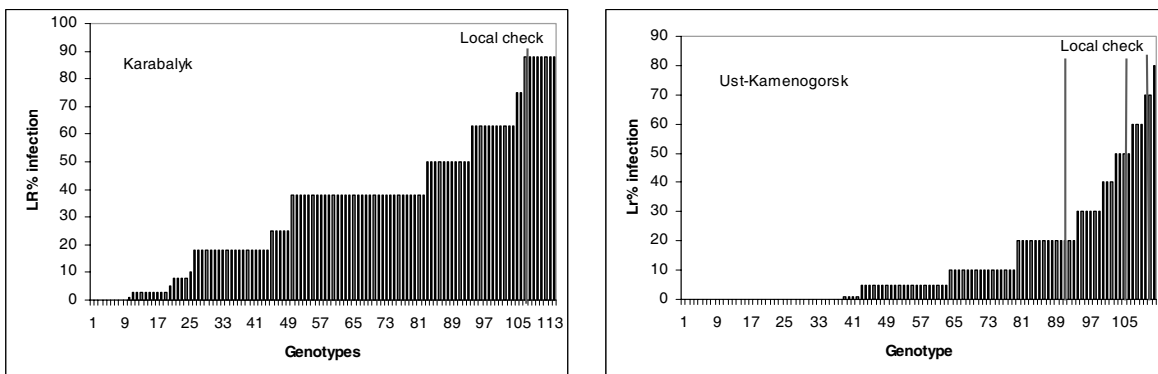


Рис 3. Устойчивость к бурой ржавчине материала для челночной селекции в сравнении с местным сортом-стандартом в двух точках Казахстана

Figure 3. Leaf Rust Resistance of Shuttle Breeding Materials Compared to the Local Check Cultivar at Two Sites in Kazakhstan

### Выводы

Программа челночной селекции между Мексикой и Казахстаном эффективно функционирует и приносит хорошие результаты – этот факт очевиден. Создается и тестируется в региональном масштабе новый улучшенный материал. Генетический материал из Казахстана и Сибири отличается от генетического материала пшеницы Северной Америки (Trethowan *et al.*, 2006) и поэтому предоставляет прекрасную возможность селекционерам СИММИТа, Америки и Канады расширить генетическое разнообразие сортов и использовать для улучшения урожайности и адаптивности собственного материала.

### Использованная литература

- Braun, H.J., S. Rajaram, and M. van Ginkel. 1996. CIMMYT's approach to breeding for wide adaptation. *Euphytica*, 92:175-183.
- Morgounov, A.I., and R. Trethowan. 2006. Avenues to increase yield of short season high latitude wheat in northern Kazakhstan and Siberia. Reynolds M.P. and Godinez, D. (Eds.) p 22. Extended Abstracts of the International Symposium on Wheat Yield Potential "Challenges to international wheat breeding" March 20-24<sup>th</sup>, 2006, Ciudad Obregon, Mexico, D.F.
- Trethowan, R.M., Alexei Morgunov, Zhonghu He, R. De Pauw, J. Crossa, M. Warburton, Arman Baytasov, Chunli Zhang, M. Mergoum & G. Alvarado. 2006. The Global Adaptation of Bread Wheat at High Latitudes. *Euphytica* (under review)

### Тұжырым

1998 жылы Қазақстан, Батыс Сібір және халықаралық орталық СИММИТ-тің ғылыми мекемелерінің арасында басталған бидайды селекциялаудың ауыспалы бағдарламасының шолуы берілген. Бұл қатынастың негізгі мақсаты жергілікті ғылыми зерттеу мекемелерінің бидай сорттарының генетикалық түрлеріне қол жеткізіп, олардың ауруға төзімділігін, өнімділігін жоғарлату, дәннің сапасы мен құрғақшылыққа төзімділігін арттыру. Будандастыру кезінде беккростар (Қазақстан/ Батыс Сібір) және топкростар (Қазақстан/ Канада/ СИММИТ) пайдаланылды, соңынан алынатын ұрпаққа СИММИТ – тің әдістемелігін пайдалану арқылы сұрыптау жүргізілді. Соңғы кезде құрамында жоғары мөлшердегі темір және цинк бар линияларды будандастыру басталды, ол дәннің қоректік қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік береді. Мынандай қорытынды жасалды, Мексика және Қазақстан арасындағы ауыспалы селекция бағдарламасы тиімді жұмыс істеп және нәтижелер беруде.

### Resume

During 1998 a shuttle breeding program was established linking research institutions in Kazakhstan and Western Siberia with the wheat program at the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). The aim of this collaboration was to provide new genetic diversity for disease resistance, yield potential, drought tolerance and grain quality to regional wheat breeders. In its turn, the wheat breeding program at CIMMYT hoped to benefit from access to new and different genetic variability present in Kazakh and Siberian cultivars. This paper overviews the collaborative program, highlights some of the results and provides some insights into future collaboration and opportunities.

In frameworks of the program breeding lines and cultivars from Kazakhstan and Western Siberia are sent to CIMMYT in Mexico for crossing each year. The objective of crossing is to combine the local adaptation of the Central Asian materials with improved rust resistance, yield potential and drought tolerance from CIMMYT lines and the high quality of the Canadian germplasm. The materials are selected in Mexico for stripe, leaf and stem rust resistance even though stripe rust does not yet occur in these areas in Central Asia. Only those lines with hard grain, high protein and strong extensible dough are sent to Kazakhstan for selection under local conditions. Once advanced lines have been identified locally, these materials are sent to CIMMYT for inclusion in crossing and shuttle breeding.

The wheat breeding program at CIMMYT routinely uses molecular markers to track traits of relevance through the segregating phase (William *et al.*, 2003). We propose to characterize parental materials from Kazakhstan/Siberia in a similar way and to make this information available to regional breeders. These data substantially improve the efficiency and effectiveness of crossing. Where appropriate, genes for traits of interest to local breeders (eg rust genes or genes that control root disease) will be introgressed using molecular markers and fixed in the F4 bulks before they are delivered to the region for reselection.

Since recently the program of shuttle breeding has began making crosses with lines that have high Fe and Zn grain concentration as these minerals improve the nutritional quality of the grain, and the Harvest Plus Program has identified these source materials.

Therefore, shuttle breeding between Mexico and Kazakhstan is working, and new and improved materials have been developed and tested regionally. This is a good opportunity for CIMMYT, American and Canadian breeders to extend diversity for yield and adaptation in their materials.