

MEJORAMIENTO DEL TRIGO EN LA UNION SOVIETICA²

Anatoli I. Borodanenko¹

INTRODUCCION

El trigo *Triticum aestivum* L. es el principal cereal cultivado en nuestro país. La URSS produce cada año más de 110 millones de toneladas de este grano en una superficie superior a 50 millones de hectáreas. El trigo, tanto de invierno como de primavera, se cultiva en las más variadas condiciones climáticas. El rendimiento unitario varía de menos de una a 5-6 ton/ha. El mejoramiento genético de trigo en la URSS está organizado por zonas ecológicas, y en cada una de ellas se ha creado un centro de mejoramiento.

El principal objetivo del trabajo de mejoramiento genético es la generación de variedades de trigo altamente productivas que posean buena calidad de grano.

VARIABILIDAD GENETICA

En el cumplimiento de esta tarea, un papel significativo se ha asignado al Instituto Nacional de Plantas "N. I. Vavilov", en donde se realiza la parte central de los

trabajos de introducción y estudio de los recursos genéticos vegetales de todo el mundo con el objeto de proporcionar material de partida para el fitomejoramiento. En este Instituto se encuentra reunido, y en forma permanente se completa y estudian, los recursos genéticos del género *Triticum* L., colectados en 70 países, incluyendo especies, variedades y formas cultivadas y silvestres; así como la diversidad de especies del género *Aegilops* L., colección de triticales y de otros anfidiplóides. Los centros de mejoramiento del país utilizan ampliamente en sus programas este rico y diverso material genético de partida.

PRODUCTIVIDAD

El mejoramiento genético encaminado a elevar la productividad es una tarea difícil, debido a lo extraordinariamente complicado y complejo de este carácter. Gran cantidad de factores del medio externo que influyen en la productividad de la planta de trigo, provocan como respuesta una diversidad de reacciones. Prácticamente en la productividad influyen todos los caracteres y propiedades de la planta, además de que ellos interaccionan unos con otros. Así, por ejemplo, la experiencia práctica demuestra que es muy difícil reunir en un solo genotipo el alto rendimiento con la inmunidad a las especies de roya o con la alta resistencia al frío. Al mismo tiempo, para la obtención de cosechas estables de grano, es necesario llevar a cabo un vasto trabajo de mejoramiento por muchos años y

¹ Investigador del Instituto de Plantas N. I. Vavilov de la Unión Soviética, especializado en el estudio de germoplasma y generación de variedades de trigo resistentes a enfermedades. Actualmente Profesor Visitante en la Escuela de Agronomía y Zootecnia de Irapuato, Gto., dependiente de la Universidad de Guanajuato.

² Traducción del ruso por la Dra. Eloísa Valdivia B. y el Dr. Rafael Ortega P.

dirigido hacia los dos últimos caracteres (resistencia a la roya y al frío). En caso contrario, las epifitias de royas o los inviernos severos pueden anular todos los esfuerzos que se hagan incluso con las variedades del más alto potencial de productividad.

Los genetistas realizan una gran cantidad de trabajo encaminado a estudiar la herencia de los componentes del rendimiento. Los resultados obtenidos no concuerdan, lo que se explica por la diversidad de condiciones en que se realizaron los experimentos, las peculiaridades de los progenitores usados en los cruzamientos y los caminos metodológicos seguidos por los investigadores. Para la eliminación de las deficiencias indicadas se generan líneas isogénicas.

Las maneras de abordar el mejoramiento genético encaminado a la productividad son diversas; sin embargo, se pueden dividir en dos direcciones básicas: primero, el mejoramiento encaminado a la elevación del nivel de rendimiento, y segundo, el mejoramiento hacia la conservación de la estabilidad y la alta productividad de las variedades ya recomendadas.

En el método predominante de generar material de partida para el mejoramiento, se emplea o es útil el estudio comparativo de variedades y líneas en cuanto a rendimiento por unidad de superficie y componentes del rendimiento. La elección de progenitores para los cruzamientos dentro de este material se apoya en diversos principios. La idea más fecunda resulta ser el incluir en la hibridación formas alejadas desde el punto de vista ecológico y geográfico. Esta idea está basada en la proposición de que las variedades de trigo formadas en regiones geográficas alejadas poseen una considerable diferencia genotípica.

El amplio intercambio internacional de material de partida lleva a correcciones considerables en la aceptación de este principio de elección del par de progenitores. En relación con esto, cada vez tiene mayor significado el conocer las particularidades genéticas de la diversidad intraespecífica de los caracteres componentes del rendimiento. Para elevar la productividad de los trigos en primavera se llevan a cabo con éxito cruzamientos de estos tipos con trigos de invierno.

Lo que más se usa son los cruzamientos de progenitores pertenecientes a la misma especie. Se han generado numerosos esquemas y en las combinaciones se incluyen de dos a diez y aún más variedades y líneas. Las retrocruzas sobre todo se usan para la transmisión de resistencia a enfermedades, incremento de la calidad del grano, etc. Cada vez más se usa la hibridación de formas alejadas, así como mutagénesis química y por irradiación.

La metodología del proceso de mejoramiento usada en la URSS, es semejante a la que se sigue en muchos de los otros países del mundo. Básicamente los fitomejoradores utilizan la selección individual en varias de sus modificaciones. Con respecto al volumen de cruzamientos hay diversidad. Algunos prefieren tener un gran volumen de cruzamientos de una sola combinación, otros dan mayor valor al número de combinaciones. Pero tanto en uno como en el otro caso evalúan una enorme cantidad de parcelas de selección.

PRECOCIDAD

Prácticamente en todas las zonas de la URSS se presta especial atención a la creación de variedades precoces. En opinión de muchos fitomejoradores la precocidad es un carácter de avanzada. En el norte del

país las variedades precoces escapan a las heladas, en el sur las variedades de invierno deben madurar antes de la llegada de los vientos secos; en muchas regiones las variedades precoces son menos atacadas por las enfermedades fungosas.

Para atender las demandas de los fitomejoradores, se realizan una serie de investigaciones sobre el problema de la precocidad. Se observan sus aspectos fisiológicos y genéticos. Se ha encontrado diversidad en la reacción de primaverización de las variedades precoces de trigo de invierno. La mayoría de las variedades ultraprecoces son poco sensibles a la longitud del día. Las plantas con período vegetativo corto se caracterizan por una alta velocidad de crecimiento de los tejidos de sus órganos vegetativos. Para diagnosticar la precocidad en etapas tempranas de crecimiento pueden servir: la velocidad del hinchamiento y brotación del embrión; la velocidad del crecimiento inicial del embrión, coleoptilo, hijuelos, hojas y de las primeras raíces; la reacción a sustancias activas fisiológicamente; el contenido de inhibidores del crecimiento en el grano y brotes y la actividad en los fermentos hidrolíticos.

Los genetistas han demostrado la relevancia de los genes *Vrn* y *Ppd* en el acortamiento del período vegetativo del trigo. De acuerdo con estos datos, el tipo primaveral de desarrollo de la mayoría de las variedades nacionales de trigo suave, está determinado por los genotipos *Vrn* 1, *Vrn* 2, *Vrn* 3 ó *Vrn* 1 *Vrn* 2 *Vrn* 3; en cambio, la reacción al fotoperíodo está controlada por el genotipo *ppd* 1, *ppd* 2, *Ppd* 3. Se propone que el acortamiento futuro del período vegetativo del trigo puede alcanzarse únicamente a través de la unión de los alelos dominantes de todos los genes *Ppd*.

En la búsqueda de material de partida para el fitomejoramiento se ha estudiado un gran número de variedades de trigo de muchos países del mundo. Para la zona norte del país se requiere un período interfásico brotación-espigamiento sumamente corto y un período más prolongado del espigamiento a la madurez. En esta zona resultaron como mejores las variedades: Cohuide de Perú, Maipofen de Chile, Park de Canadá, World Seeds 1009 de los EE.UU., algunos híbridos complejos de México, así como también las variedades soviéticas Kazajstaya 4, Scorospelka Ulúchenaya (precoz mejorada) y otras.

En el norte de Kazajstán con frecuencia se presentan sequías primaverales. Aquí el mejor rendimiento lo proporcionan variedades con un período más largo de la brotación al espigamiento y llenado de grano más rápido. O sea, variedades como Tiumenskaya ranaya, Volia, Sibirka, así como una serie de formas locales de China y Pakistán.

Muchas muestras de trigos mexicanos se caracterizan por su precocidad en todas las zonas climático-naturales de la URSS. Entre los fitomejoradores soviéticos son especialmente populares y se usan en los trabajos: INIA 66, Siete Cerros 66, Bajío 67, Salamanca F-65 y otros. Con la participación de las variedades mexicanas de trigo se han generado líneas precoces, que se caracterizan por su resistencia a las enfermedades fungosas, buena calidad de grano, resistencia a la sequía y alta productividad.

En la URSS se trabaja intensamente en el mejoramiento de variedades precoces de trigo de invierno. Las variedades mejoradas modernas maduran 5-9 días antes que las criollas viejas. La variedad Bezostaya 1, que anteriormente se consideraba precoz,

en la actualidad se ubica entre las de ciclo intermedio. Las variedades Kolos, Severodonskaya, Donskaya semienana y otras espigan 6-7 días antes, maduran con 3-4 días de anticipación y superan en productividad a Bezostaya 1. Se reúne en un genotipo precocidad, productividad y alta calidad de grano por medio de retrocruzas recurrentes e hibridación escalonada.

Una de las causas del lento avance de las variedades precoces de trigo de invierno a regiones triguera más al norte, es su débil resistencia al frío. Sin embargo, en esto también se han logrado algunos éxitos; es así como las variedades Odesskaya 51, Donskaya otistaya, Dneprovskaya 782, Krasnodarskaya 70 son precoces y más resistentes al frío.

PAJA CORTA

Las condiciones de agricultura intensiva demandaban la formación de variedades con tallo corto y firme. En nuestro país el primer donador de tallo corto fue el Krasnodarski enano I. En la actualidad, en el mejoramiento de trigos suaves se usan con mayor éxito variedades con los genes Rht 1 y Rht 2 y en menos medida con el Rht 3. El nuevo gene Rht 10, localizado en el cromosoma 7A de la variedad de primavera Kazájstanskaya 126, fue detectado por H.L. Vdolskaya y K.K. Shulembáebaya en 1985.

Los genetistas han determinado la intensidad de cada uno de los genes Rht. Se hacen intentos para recomendar determinados genes de paja corta para zonas ecológicas concretas del país. Se han generado líneas isogénicas de la variedad Novosibirskaya 67 en cuanto a los genes Rht 1, Rht 2 y Rht 3. Como resultado del estudio de estas líneas se tiene que los tres genes de tallo corto disminuyen el peso de 1000 granos, pero el

gene Rht 2 es el que más lo disminuye, hasta más del 40%.

En investigaciones fisiológicas con variedades de tallo corto, se ha demostrado que las razones principales de la alta productividad de las variedades de tallo corto son: la mejor repartición del potencial clorofílico-fotosintético en la ontogénesis, un mayor período de desarrollo, la alta productividad neta de la fotosíntesis al final del llenado de grano, y el suministro intensivo de asimilados al grano en desarrollo provenientes tanto de las dos hojas superiores como de los órganos fotosintéticos de la espiga.

Los investigadores del Instituto de Plantas Vavilov han realizado numerosos estudios sobre la colección mundial de variedades de tallo corto de trigo. Las mejores se han recomendado a las instituciones de mejoramiento. Con el uso de este material de partida se han generado variedades como Donskaya semienana, Obrij, Iuzhnaya Zaria, Zirka, Mechtá I, que se caracterizan por tener una altura de planta de alrededor de 90 cm y potencial de rendimiento de 7-8 ton/ha. El siguiente escalón en el mejoramiento del rendimiento del trigo tiene como metas obtener variedades con las siguientes características: 70-80 cm de altura de planta, 9 ton/ha de rendimiento de grano, e índice de cosecha de 0.5. En la actualidad se evalúan en el sistema estatal un alto número de variedades de este tipo.

RESISTENCIA A SEQUÍA

Más del 60% de las siembras de cultivos cerealeros en la URSS se localizan en zonas de humedad insuficiente o irregular; de ellas, 2/3 se ubican en zonas secas o muy secas. Por esta razón, siempre se ha prestado gran atención a la resistencia a la sequía. Los

fisiólogos han desarrollado el método de diagnóstico temprano de resistencia a la sequía. En las muestras más sobresalientes por su resistencia a la sequía de la colección de trigo se ha estudiado la influencia de diversos tipos de sequía sobre la cosecha y su estructura. También se han estudiado otros aspectos de esta resistencia. Todos estos conocimientos se utilizan en la obtención de variedades resistentes a la sequía.

Los mayores éxitos en la selección hacia resistencia a la sequía han sido alcanzados por los fitomejoradores del sureste del país; las variedades provenientes de Saratov se siembran en las zonas más secas. Estas variedades se caracterizan por su reestructuración rápida del metabolismo que elevan la capacidad de retención de agua bajo sequía, disminuyendo la acumulación de masa vegetativa. Estas variedades también se caracterizan por conservar una alta efectividad de los procesos fotosintéticos.

Algunas nuevas variedades de trigo de invierno que se caracterizan por su alta resistencia a la sequía son: Dneprovskaya 775, Donetskaya 74, Krasnovodopadskaya 210, Prikumskaya 36, Tarasovskaya 29, Krasnodarskaya 57, Prikubanskaya, Obrij, Brigantina, Karligash y otras.

En el mejoramiento para resistencia a sequía se usan trigos de América del Norte, México, Chile, Afganistán, Paquistán, India, Australia y otros países.

RESISTENCIA AL FRIO

Una característica fundamental del trigo de invierno es la resistencia al frío. El trigo de invierno ocupa hasta el 30% de la superficie total sembrada con este cereal y en las regiones aptas para su siembra es considera-

blemente más rendidor que el de primavera; sin embargo, en años con inviernos crudos esta ventaja no siempre aparece.

La resistencia al frío del trigo es una característica muy compleja. La muerte de la planta puede ser provocada por: temperaturas bajas, cubierta de nieve muy profunda sobre el suelo no helado, costra de hielo, desplazamiento del punto de crecimiento a la parte superficial, roturas de las raíces por fluctuaciones de las temperaturas, etc. Dependiendo de las condiciones meteorológicas, estas causas pueden combinarse de varias formas. Todo esto complica tanto las investigaciones básicas de la resistencia al frío como la selección de este carácter. A pesar todo, en los últimos años se han generado una serie de variedades altamente productivas y suficientemente resistentes al frío.

La más alta resistencia al frío la poseen las variedades del grupo ecológico de las Estepas del Volga. Un poco inferior al anterior es el grupo ecológico de las Estepas Orientales formado en las regiones de Siberia y Norte de Kazajstán. Las variedades del grupo ecológico del Norte Ruso tienen un nivel menor de resistencia al frío.

Las muestras de los grupos Estepario-Suñero y Boscoso-Estepario presentan especial interés. De los trigos extranjeros los más resistentes al frío proceden de EE.UU., Canadá y países escandinavos; sin embargo, son inferiores a nuestras mejores variedades en cuanto a este carácter.

Para la selección a diversos factores desfavorables del invierno, se han desarrollado una serie de métodos de laboratorio. Uno de ellos está basado en someter a las plantas a bajas temperaturas de -14 a -18°C, otros en el cambio de magnitud

de la resistencia eléctrica de los tejidos de las plantas, y un tercero en el uso de la gliadina en calidad de carácter marcador. Los fitomejoradores utilizan con éxito estos métodos y entre todos se considera que la prueba más segura es el método de campo.

La resistencia al frío se encuentra relacionada negativamente con la productividad. Las dificultades para reunir un complejo de caracteres favorables en un genotipo están relacionadas con genes ligados, lo que conduce a la aparición de correlaciones desfavorables entre caracteres. Como resultado de esto, de los cruzamientos entre formas de tallo corto, con variedades de porte de planta alto y con resistencia al frío, prácticamente no se ha logrado formar líneas que reúnan todas estas características.

Para resolver este problema, en la "Unión Científica Productiva Podmoskove" se utiliza el método de retrocruzas no completamente periódicas. Para la retrocruza respectiva no se toman las plantas heterocigóticas de la primera generación, sino las formas más productivas y resistentes al frío y de tallo corto en F₂; trabajando con este método B.I. Sandujadze, después de dos retrocruzas hacia la variedad Mironovskaya 808, obtuvo una línea de trigo invernal, que por su resistencia al frío estuvo a la altura del progenitor recurrente superándolo en rendimiento en 15-20%, con una altura de planta de 80-90 cm.

RESISTENCIA A ENFERMEDADES

El mayor daño a la producción de grano en nuestro país lo provocan: la roya de la hoja (*Puccinia recondita* o *P. triticea*), Cenicilla (*Erysiphe graminis*), carbón polvoso (*Ustilago tritici*), carbón duro (*Tilletia caries* y *T. levis*); así como pudrición de la raíz.

Los ataques de roya lineal amarilla (*P. glumarum* o *P. striiformis*), roya del tallo (*P. graminis*) y Septoria (*Septoria tritici*) son esporádicos; sin embargo, cuando ocurren, los daños pueden ser mayores que los derivados de las enfermedades del primer grupo.

La roya de la hoja se extiende a todas las zonas de cultivo del trigo, lo que determina que se preste especial atención a la creación de variedades resistentes a ella. Esta enfermedad es especialmente maligna en el Cáucaso del Norte, en Ucrania y Transcaucaso. En años aislados se desarrolla en la Zona Central de Tierras Negras, Siberia Occidental, Cáucaso del Norte y en Altai.

La roya lineal amarilla se distribuye con moderación en una serie de regiones del país como Ucrania, Moldavia, Comarcas de Krasnodar y Stravropol, Daguestán, Repúblicas Transcaucásicas y Asia Central. En estas regiones en años aislados con meses primaverales fríos, esta enfermedad adquiere carácter epifítico e influye en el nivel del rendimiento de grano.

La roya del tallo se desarrolla periódicamente en ambientes otoñales relativamente secos y fríos en regiones montañosas altas de la Región Transcaucásica y Asia Central, en el Lejano Oriente, en regiones del Kazajistán estepario y en años aislados determina tanto la magnitud como la calidad de la cosecha.

El mejoramiento hacia resistencia a enfermedades se diferencia en principio del mejoramiento para otros caracteres, en que es necesario tomar en cuenta la constitución racial del parásito, la cual cambia en forma constante. En cada centro de mejoramiento se encuentran establecidos laboratorios de resistencia, los cuales llevan el registro de la composición racial de los patógenos y

cotejan la resistencia del material seleccionado. Los colaboradores científicos del Instituto Vavilov llevan a cabo la búsqueda de nuevos genes de resistencia, los que se identifican y se estudian sus características de donadores.

En la identificación de genes de resistencia a enfermedades se ha procedido al estudio de su efectividad, y se ha encontrado que es difícil que todos los factores de resistencia controlen de una manera efectiva dicho carácter. En contra de la roya de la hoja son efectivos 9 de 30 genes, en contra de la roya del tallo 4 ó 5 de 37 conocidos, contra el carbón duro se han identificado 5 genes efectivos de 14 y apenas hay 2 genes efectivos resistentes a la cenicilla de 14 considerados. Semejante cantidad de genes efectivos no satisface plenamente la demanda de los fitomejoradores.

Dentro del gran número de formas resistentes detectadas en la colección, frecuentemente se encuentran variedades con los mismos genes de resistencia. Así, cerca del 50% de las variedades resistentes a la roya de la hoja poseen el gene de resistencia Lr 23. Una situación similar se observa en el carbón duro y las otras enfermedades. El amplio uso en mejoramiento de tales donadores necesariamente lleva a la uniformidad genética de la resistencia.

Existe una estrategia desarrollada para el uso de genes efectivos de resistencia en la URSS; sin embargo, la misma todavía no es considerada por los fitomejoradores. En todos los centros de mejoramiento se utiliza toda la pila genética de formas resistentes.

La búsqueda de genes nuevos y eficientes con resistencia a las enfermedades, es uno de los principales programas del Instituto Vavilov. Orientándose por los estudios de

N. I. Vavilov sobre la resistencia de las plantas, la búsqueda se realiza en especies relacionadas y silvestres por el método de hibridación interespecífica. Al respecto, se ha tenido éxito en la transmisión de genes efectivos de resistencia a la roya de la hoja a partir del donador *Triticum timopheevi* al receptor *T. aestivum*. Se realizan estudios de los híbridos con *T. dicoccum* x *T. dicoccoides*.

El mejoramiento hacia resistencia a enfermedades se lleva a cabo con el mayor éxito en el Instituto de Investigación Científica Agrícola de Krasnodar. En este Instituto se realiza un gran trabajo en el estudio de la resistencia genética del trigo hacia las especies de roya, cenicilla, fusariosis de la espiga, así como contra otros patógenos. Partiendo de variedades anfidiploides generadas con anterioridad que funcionan como donadores, se cumple un programa de investigación de transmisión de loci que poseen los genes que controlan la resistencia a la roya de la hoja, hacia las variedades receptoras Kavkaz, Aurora y Bezoskaya 1.

En el Instituto de Investigación Científica en Mejoramiento y Producción de Semilla de Trigo de Miranovski se han formado líneas resistentes a la roya de la hoja y carbón duro, así como líneas resistentes a la mancha de ojo ó pudrición del pie producida por *Cercospora herpotrichoides*.

En el Instituto Nacional de Selección Genética, el mejoramiento hacia resistencia se realiza en dos direcciones. La primera, en base al uso de diversas fuentes de resistencia a razas fisiológicas específicas utilizando cruzamientos complejos. La segunda, por medio de la unión de los genes más efectivos que confieren resistencia poligénica de tipo horizontal. Para el primer caso, en los

cruzamientos se usan las variedades Lerma Rojo, Tp 114/65A y Olsen Dwarf, que poseen resistencia específica a razas fisiológicas. Para el segundo caso, intervienen las variedades Lan, Stepniak, Chaika y Odesskaya 76 que poseen resistencia horizontal.

Se han creado variedades de trigo resistentes al carbón polvoso en Kazajstán, Asia Central y el Lejano Oriente.

El uso de genes eficientes de resistencia a enfermedades llevó a la formación de variedades resistentes en muchas regiones del país; sin embargo, el problema de la defensa contra las enfermedades no está resuelto debido a la dinámica de la diversidad de los patógenos.

CALIDAD DEL GRANO

Gran atención se presta a la calidad de grano y en los últimos años se formaron variedades sobresalientes en cuanto a calidad tanto en trigos de primavera como de invierno. En 1985 se recomendaron en el país 41 variedades de trigo de primavera y 25 de invierno de gluten fuerte.

En la generación de variedades de trigo con gluten fuerte, los fitomejoradores utilizan cruzamientos de variedades locales altamente productivas con buena calidad de grano y variedades de alta calidad de otros países. Se ha obtenido una serie de variedades de alta calidad por medio de cruzamientos interespecíficos e intergené-

ticos. Como ejemplo de esto pueden servir las líneas Trigo-Agropiron 186 y 56. Por medio del cruzamiento del trigo de primavera con el trigo de invierno se obtuvieron variedades de primavera de gluten fuerte de alta calidad como Tselinogradka, Liutestsens 10, Kurganskaya 1 y otras.

Los éxitos y las experiencias de los científicos de México han tenido una influencia positiva en el desarrollo del mejoramiento del trigo en la URSS. Los especialistas soviéticos visitantes que han venido a México introdujeron en la URSS el método Tvel de polinización, el cual ha sido adoptado en nuestro país. Gracias al constante intercambio de recursos genéticos, las variedades mexicanas de trigo se han convertido en fuentes de resistencia a enfermedades, solidez del tallo, precocidad y resistencia al calor.

La variedad Siete Cerros T-66 mostró alta plasticidad y en unos cuantos años se sembró en el estado de Volgogrado, en Asia Central y Armenia. También estuvo en producción en el Asia Central la variedad Oviachic C-65. De Siete Cerros T-66 fueron seleccionadas formas semi-invernales, y también participó en la variedad Giaurs 1 en Uzbekistán y Zardabi en Armenia. Con la participación de germoplasma mexicano se obtuvieron las variedades de trigo de primavera: Saliut, Druzhina, Kommunard, Ershovskaya 32, Karabali Kskaya 84 y otras.