

АНОТАЦІЯ

Фу Хао. Передумови генетичного поліпшення пшениць однозернянок. —

Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 09 Біологія за спеціальністю 091 Біологія — Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, 2024.

Роботу виконано на кафедрі генетики та цитології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна та в лабораторії інтродукції та зберігання генетичних ресурсів рослин Інституту рослинництва імені В.Я. Юр'єва.

Пшениця однозернянка *Triticum monosocum* L. є однією з перших одомашнених зернових культур, культивування якої донедавна майже припинилося. Однак, в останні кілька десятиліть ця культура привертає дедалі більшу увагу вчених і споживачів. Однозернянка — джерело здорової їжі. Вона стійка до біотичних та абіотичних чинників середовища, не потребує засобів хімічного захисту. Це робить її особливо цінною з точки зору екології – для органічного землеробства та з огляду на економію витрат на вирощування, та обумовлює доцільність відродження цієї культури в сільськогосподарському виробництві. Перешкодою до широкого впровадження однозернянки є її близькість до диких пращурів: низька врожайність, важкий вимолот зерна, ламкість колоса, що призводить до втрат врожаю, схильність до вилягання стебел, що утруднює механізоване збирання.

Генетичне розмаїття однозернянок представлено чотирма видами: двома дикими — *T.urartu* Thum. ex Gandil. і *T.boeoticum* Boiss., двома культурними — *T.monococcum* L. і *T. sinskajae* A. Filat. et Kurk. і містить низку форм із поліпшеними характеристиками господарсько цінних ознак. Це дає змогу здійснити генетичне поліпшення цих пшениць шляхом гібридизації та селекції. Ефективність використання генетичного розмаїття культурної однозернянки та диких споріднених видів для її поліпшення визначається ступенем фенотипової та генетичної вивченості рослини, що робить актуальним проведення відповідних досліджень.

У зв'язку з цим мета дослідження полягає в оцінці фенотипових характеристик зразків пшениці однозернянки та з'ясуванні закономірностей успадкування і рівня успадковуваності господарсько значущих ознак залежно від строку висівання та напряму схрещування з метою генетичного поліпшення цієї культури.

Відповідно до поставленої мети було сформульовано такі завдання:

– оцінити фенотипові характеристики зразків пшениць однозернянок як вихідного матеріалу для генетичного поліпшення культури та встановити закономірності, пов'язані зі ступенем окультуреності;

– на основі багатовимірного аналізу диференціювати зразки пшениць однозернянок за водоутримувальною здатністю листків і колоса та параметрами цих органів на рівні видів і генотипів;

– за допомогою гібридологічного аналізу з'ясувати характер успадкування ознаки «тип розвитку» (озимість/ярість) у представників видів пшениць однозернянок;

– з'ясувати характер успадкування висоти рослин, продуктивної кущистості та забарвлення колоса в гібридів культурної однозернянки за умов озимої та ярої культури.

У результаті досліджень встановлено наступне.

У процесі доместикації однозернянки зменшилися висота стебла та довжина верхнього міжвузля, збільшилися показники «маса зерна з колоса», «маса 1000 зерен», та «кількість днів до колосіння»; не змінилися показники потенційної продуктивності «маса колоса» та «кількість колосків у колосі», проте показник реалізації цього потенціалу (кількість зерен у колосі) зменшився. У культурної однозернянки ознаки сильніше скорельовані, ніж у дикої, що свідчить про більшу фізіологічну гомеостатичність дикої предкової форми порівняно з культурною.

За коефіцієнтами вологовіддачі першого та другого листків у перерахунку на одиницю площі, а також вологовіддачі колоса на одиницю його довжини відносно посухостійкими є зразки культурної однозернянки *T. monosomit* UA0300113 (Сирія) та UA0300282 (Угорщина). Інші вивчені зразки всіх чотирьох видів не є посухостійкими. Зі збільшенням розмірів прапорцевого листка в однозернянок спостерігається тенденція до зменшення вологовіддачі на одиницю площі листка, тобто до збільшення водоутримувальної здатності.

Водночас у межах виду, навпаки, збільшення площі прапорцевого листка має позитивний зв'язок із вологовіддачею.

Диким формам властивий озимий тип розвитку, культурним — ярий. За гібридизації дикої однозернянки з культурною домінує озимий тип розвитку. Відмінності між цими групами видів однозернянки контролюються одним-двома генами із сильним ефектом.

Відмінності між зразками однозернянки за висотою рослини зумовлені одним головним геном із різним ступенем домінування, а також адитивним ефектом генів. Успадковуваність висоти рослини у моделі головного гена становить 97–100 %, не виявляє реципрокного ефекту і практично не залежить від сезону посіву.

Рівень прояву продуктивної кущистості залежить від умов вегетації та у гібридів демонструє реципрокний ефект успадкування. Відмінності між зразками контролюються двома головними генами із серією полігенів. Успадковуваність кущистості в реципрокних комбінаціях становить 68–71 і 84–92 % відповідно.

Відмінності між зразками культурної однозернянки за забарвленням колоса контролюються двома генами з сильним ефектом і системою полігенів. Успадковуваність забарвлення колоса в моделі головного гена залежить від сезону сівби: за осінньої сівби становить 97–99 %, за весняної 67–72 % за відсутності реципрокного ефекту.

У кластерному аналізі як генетичну відстань використовували Евклідову відстань. З використанням методу Варда (Ward-Method) за генетичної відстані, кратної п'яти, зразки розділилися на три кластери.

До першого кластера увійшли всі вивчені 15 зразків диких однозернянок, що належать до *T.boeoticum* і *T.urartu*. За середнім значенням довжини колоса (10,9 см.) і кількістю зерен у колосі (54) цей кластер є найкращим. Показник маси тисячі зерен має найменшу величину (14,2 г) серед усіх. Плівчастість (41,2 %) у цьому кластері найвища. Висота стебла, кількість колосків у колосі, маса одного колоса, маса зерен з одного колоса та маса тисячі зерен, які є головними елементами продуктивності, мають найбільший коефіцієнт варіації. Таким чином, зразки цього кластера слід залучати як вихідний матеріал для підвищення продуктивності.

До другого кластеру увійшли єдиний зразок пшениці Сінської (*T.sinskajae* var. *sinskajae*, UA0300224) та комерційний сорт MV Alkor (*T.monococcum*), поряд із чотирма зразками із Сирії: UA0300115, UA0300116, UA0300112, UA0300113 та одним з Угорщини UA0300634. Цей кластер характеризується найнижчими середніми значеннями довжини верхнього міжвузля (51,4 см), висоти стебла (118 см), плівчастості (30,6 %) і найбільшим значенням маси тисячі зерен (33,2 г). Зразки цього кластера рекомендуються для створення сортів зі зниженою висотою стебла, крупнозерних і з полегшеним вимолотом.

Решта зразків культурних пшениць однозернянок увійшли до третього кластера. Він вирізняється найбільшimi середніми значеннями кількості колосків у колосі (32), маси одного колоса (1,6 г), маси зерен з одного колоса (1,1

г). Кількість зерен у колосі характеризується найширшим діапазоном мінливості. Зразки даного кластера слід використовувати для створення сортів із крупним продуктивним колосом.

За результатами дослідження зроблено практичні рекомендації для селекції. Зокрема, для підвищення продуктивності рослин сортів доцільно використовувати 15 зразків диких однозернянок, які належать до *T. boeoticum* і *T. urartu*: UA0300290, UA0300307, UA0300251, UA0300336, UA0300253, UA0300535, UA0300536, UA0300400, UA0300441, UA0300645, UA0300333, UA0300332, UA0300402, UA0300401, UA0300445).

Для створення сортів зі зниженою висотою стебла, збільшеним зерном і полегшеним вимолотом перспективно використовувати зразок пшениці Синської (*T. sinskajae* var. *sinskajae*, UA0300224) і комерційний сорт MV Alkor (*T. monosocum*), поряд із чотирма зразками із Сирії: UA0300115, UA0300116, UA0300112, UA0300113 і одним з Угорщини — UA0300634.

Для створення сортів із збільшеним і продуктивним колосом слід використовувати зразки культурної однозернянки *T. monosocum* UA0300313, UA0300223, UA0300439, UA0300623, UA0300440, UA0300221, UA0300222, UA0300254, UA0300282, UA0300537, UA0300117, UA0300311.

Для збільшення маси зерна з колоса та її складових елементів — кількості колосків у колосі, кількості зерен у колосі за легкої вимолочуваності доцільно використовувати гібридні комбінації за участі *T. sinskajae* UA0300224: UA0300224 × UA0300400, UA0300400 × UA0300224, UA0300224 × UA0300253, UA0300222 × UA0300224.

Для виведення посухостійких сортів слід використовувати зразки культурної однозернянки *T. monosocum* UA0300113 (Сирія) та UA0300282 (Угорщина).

У навчальному процесі при вивченні генетики використовувати як модельний об'єкт реципрокні схрещування однозернянок білоколосої ярої *T. monosocum* var. *monosocum* UA0300282 з чорноколосою озимою *T. monosocum* var. *nigricultum* UA0300311.

Ключові слова: пшениця однозернянка, філогенія, морфологічна ознака, плодючість, озерненість колосків, маса 1000 зерен, кластерний аналіз, порівняльний аналіз, ріст і розвиток рослин, швидкість розвитку, ярість, фотоперіодична чутливість і нечутливість, адаптація, генотипні відмінності, мінливість.

ABSTRACT

Fu Hao. Prerequisites for genetic improvement of einkorn wheat — a qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for the degree of Philosophy Doctor in the field of knowledge 09 Biology, speciality 091 Biology — V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, 2024.

The work was carried out at the Department of Genetics and Cytology of V.N. Karazin Kharkiv National University and at the Laboratory of Plant Genetic Resources Introduction and Storage of the Plant Production Institute named after V.Ya. Yuriev of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine.

The einkorn wheat *Triticum monococcum* L. is one of the first domesticated cereals, and its cultivation has almost ceased until recently. However, in the last few decades, this crop has been attracting more and more attention of scientists and consumers. The einkorn is a source of healthy food. It is resistant to biotic and abiotic environmental factors and does not require chemical protection. This makes it particularly valuable environmentally and economically, and makes it advisable to revive it in agricultural production. An obstacle to the widespread adoption of the einkorn crop is its proximity to its wild ancestors: low yields, difficult threshing, brittle rachis which leads to yield losses and a tendency to stem lodging which makes mechanised harvesting difficult.

The genetic diversity of einkorn is represented by four species: two wild ones — *T. urartu* Thum. ex Gandil. and *T. boeoticum* Boiss., two cultivated species —

T. monococcum L. and *T. sinskajae* A. Filat. et Kurk. and contains a number of forms with improved characteristics of economically valuable traits. This allows for genetic improvement of these wheat through hybridisation and selection. The effectiveness of using the genetic diversity of cultivated einkorn wheat and wild related species for its improvement is determined by the degree of phenotypic and genetic study of the plant which makes it relevant to conduct this research.

In this regard, the aim of the study is to evaluate the phenotypic characteristics of einkorn wheat accessions and to find out the patterns of inheritance and the level of heritability of economically important traits depending on the sowing time and crossing direction for the purpose of genetic improvement of this crop.

In accordance with this aim, the following objectives were formulated:

- to evaluate the phenotypic characteristics of einkorn wheat accessions as a source material for genetic improvement of the crop and to reveal the regularities associated with the degree of cultivation;
- based on multivariate analysis, to differentiate einkorn wheat accessions by water-holding capacity of leaves and ears and parameters of these organs at the level of species and genotypes;
- to find out the nature of inheritance of the trait "growth habit" (winter/spring) in representatives of einkorn wheat species using hybridological analysis;
- to find out the nature of inheritance of plant height, productive tillering and colour of the ear in hybrids of cultivated einkorn wheat under conditions of winter and spring crop.

As a result of the research, the following was found.

In the process of the einkorn wheat domestication, the stem height and length of the upper internode decreased, the indices "grain weight per ear", "weight of 1000 grains" and "day number before heading" increased; the indices of potential productivity "ear weight" and "spikelet number per ear" did not change, but the indicator of this potential realisation (the grain number per ear) decreased. The traits of the cultivated einkorn wheat are more strongly correlated than those of the wild one which indicates a greater physiological homeostasis of the wild ancestral form compared to the cultivated one.

In term of the moisture loss coefficients of the first (flag) and second leaves per unit area, as well as water transfer of the ear per unit of its length, the accessions of *T. monococcum* UA0300113 (Syria) and UA0300282 (Hungary) are relatively drought-resistant. The other studied accessions of all four species are not drought resistant. With the increase in the size of the flag leaf in einkorns, there is a tendency to decrease the moisture loss per unit of the leaf area, i.e. to increase the water holding capacity. At the same time, within the species, on the contrary, an increase in the flag leaf area has a positive relationship with moisture loss.

Wild forms are characterised by winter growth habit while cultivated ones are characterised by spring growth habit. In hybridisation of wild einkorn with cultivated ones, the winter growth habit dominates. The differences between these groups of species are controlled by one or two genes with a strong effect.

The differences between the einkorn accessions in plant height are due to a single master gene with different dominance degrees as well as the additive effect of

genes. The heritability of plant height in the model of the main gene is 97–100 %, does not show a reciprocal effect and is practically independent of the sowing season.

The level of productive tillering depends on the growing conditions and demonstrates in hybrids a reciprocal inheritance effect. Differences between the accessions are controlled by two main genes with a series of polygenes. The heritability of tillering in reciprocal combinations is of 68–71 % and 84–92 %, respectively.

Differences between cultivated einkorn accessions in ear colour are controlled by two genes with a strong effect and a polygene system. The heritability of ear colour in the model of the main gene depends on the sowing season: in autumn sowing it is 97–99%, in spring sowing 67–72 % in the absence of reciprocal effect.

In the cluster analysis, the Euclidean distance was used as the genetic distance. The Ward-Method was used to divide the accessions into three clusters with a genetic distance of a multiple of five.

The first cluster included all 15 studied accessions of wild einkorn wheat belonging to *T. boeoticum* and *T. urartu*. This cluster is the best in terms of the average ear length (10.9 cm) and the grains number per ear (54). The thousand grains weight is the lowest (14.2 g) among all the clusters. The hullness (41.2 %) is the highest in this cluster. Stem height, spikelets number per ear, ear weight, grain weight per ear and thousand grains weight which are the main elements of productivity, have the highest variation coefficient. Thus, accessions of this cluster should be used as starting material for productivity improvement.

The second cluster includes a single accession of the Sinskaja wheat (*T. sinskajae* var *sinskajae*, UA0300224) and the commercial variety MV Alkor (*T. monococcum*), along with four accessions from Syria: UA0300115, UA0300116, UA0300112, UA0300113 and one from Hungary, UA0300634. This cluster is characterised by the lowest average values of upper internode length (51.4 cm), stem height (118 cm), hullness (30.6 %) and the highest value of thousand grain weight (33.2 g). The accessions of this cluster are recommended for the development of varieties with reduced stem height, large grains and easy threshing.

The rest of the einkorn accessions were included in the third cluster. It is characterised by the highest average values of the spikelet number per ear (32), weight of one ear (1.6 g), and grain weight per ear (1.1 g). The grain number per ear is characterised by the widest variability range. The accessions of this cluster should be used to create varieties with large productive ears.

Based on the results of this study, practical recommendations for breeding were made. In particular, it is advisable to use 15 samples of wild einkorn accessions belonging to *T. boeoticum* and *T. urartu* to increase the plant productivity of a varieties: UA0300290, UA0300307, UA0300251, UA0300336, UA0300253, UA0300535, UA0300536, UA0300400, UA0300441, UA0300645, UA0300333, UA0300332, UA0300402, UA0300401, UA0300445).

To create varieties with reduced stem height, increased grain size and easier threshing, it is promising to use the Sinskaja wheat accession (*T. sinskajae* var. *sinskajae*, UA0300224) and the commercial variety MV Alkor (*T. monococcum*),

along with four accessions from Syria: UA0300115, UA0300116, UA0300112, UA0300113 and one from Hungary — UA0300634.

To create varieties with a larger and more productive ear, it is necessary to use the accessions of cultivated einkorn *T. monococcum* UA0300313, UA0300223, UA0300439, UA0300623, UA0300440, UA0300221, UA0300222, UA0300254, UA0300282, UA0300537, UA0300117, UA0300311.

To increase the grain weight per ear and its components — the spikelet number per ear, the grain number per ear with easy threshing, it is advisable to use hybrid combinations with *T. sinskajae* UA0300224: UA0300224 × UA0300400, UA0300400 × UA0300224, UA0300224 × UA0300253, UA0300222 × UA0300224.

For the development of drought-tolerant varieties, the accessions of cultivated einkorn *T. monococcum* UA0300113 (Syria) and UA0300282 (Hungary) should be used.

In the educational process, when studying genetics, use reciprocal crosses of spring white spike *T. monococcum* var. *monococcum* UA0300282 with winter black spike *T. monococcum* var. *nigricultum* UA0300311 as a model object.

Keywords: einkorn wheat, phylogeny, morphological trait, fertility, ear grain count, weight of 1000 grains, cluster analysis, comparative analysis, plant growth and development, developmental rate, springness, photoperiodic sensitivity and insensitivity, adaptation, genotypic differences, variability.