

REFERENCES

1. Shtanko I. P. Katalog sortiv khmelyu, dozvolenykh dlya poshyrennya v Ukraini / Shtanko I. P., Shablykin V. V., Mikhaylychenko K. P., Yurkivskiy Y. P., Lyashenko M. I., Protsenko L. V. / Zhytomyr: KKGV "Polissya", 2010. – 68 p.
2. Chadwick L. The pharmacognosy of *Humulus lupulus* L. (hops) with an emphasis on estrogenic properties / L. R. Chadwick, G. F. Pauli, N. R. Farnsworth // *Phytomedicina* - 2006. – V. 13. – P. 119–131.
3. Schröder J. A family of plant-specific polyketide synthases: facts and predictions / J. Schröder // *Trends in plant science*. – 1997. – V. 2 (10). – P. 373-378.
4. Purification and some properties of chalcone synthase from a carrot suspension culture induced for anthocyanin synthesis and preparation of its specific antiserum / [Ozeki Y., Sakano K., Komamine A. et al.] // *J. Biochem.* – 1985. – V. 98 (1). – P. 9-17.
5. Construction of gene expression system in hop (*Humulus lupulus*) lupulin gland using valerophenone synthase promoter / [Okada Y., Saeki K., Inaba A. et al.] // *Plant Physiol.* – 2003. – V. 160. – P. 1101-1108.
6. Patzak J. New STS molecular markers for assessment of genetic diversity and DNA fingerprinting in hop (*Humulus lupulus* L.) / J. Patzak, I. Vrba, J. Matousek // *Genome*. – 2007. – V. 50. – P. 15-25.
7. Botstein D. Construction of genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms / D. Botstein, R. L. White, M. Skolnick, R. W. Davis // *Amer. J. Hum. Genet.* – 1980. – V. 32. – P. 314–331.
8. MEGA5: Molecular Evolutionary Genetics Analysis using Maximum Likelihood, Evolutionary Distance, and Maximum Parsimony Methods / [Tamura K., Peterson D., Peterson N. et al.] // *Molecular Biology and Evolution*. – 2011. – V. 28 (10). – P. 2731-2739.
9. Molecular phylogeny of wild hops, *Humulus lupulus* L. / [Murakami A., Darby P., Javornik B. et al.] // *Heredity*. – 2006. – V. 97, № 1. – P. 66–74.

УДК 633.853.478 : 575.2:632.112

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ НЕКОТОРЫХ МУТАНТНЫХ ЛИНИЙ ПОДСОЛНЕЧНИКА КУЛЬТУРНОГО

Тоцкий И.В., Лях В.А.

*Запорожский национальный университет,
69600, Украина, Запорожье, ул. Жуковского, 66.*

igor.totsky@gmail.com

Изучена засухоустойчивость пяти новых мутантных линий подсолнечника. Установлено, что по засухоустойчивости, определённой на основе угнетения роста проростков, лучшей является линия «обожжённый лист». Также было показано, что худшей линией являлся мутант «дихотомическое жилкование». Линии «*xantha*», «*virescent*» и «карлик» занимают промежуточное положение по данному признаку. При этом мутант «карлик» имеет более высокие показатели, чем две другие линии. Родительские компоненты гибридов первого поколения комбинаций скрещивания «дихотомическое жилкование» × «*xantha*», «*xantha*» × «дихотомическое жилкование», «*virescent*» × «дихотомическое жилкование» и «дихотомическое жилкование» × «обожжённый лист» являются контрастными по засухоустойчивости на стадии проростков.

Ключевые слова: подсолнечник культурный, мутант, засухоустойчивость, проросток.

ВИЗНАЧЕННЯ ПОСУХОСТІЙКОСТІ ДЕЯКИХ МУТАНТНИХ ЛІНІЙ СОНЯШНИКА КУЛЬТУРНОГО

Тоцький І.В., Лях В.О.

*Запорізький національний університет,
69600, Україна, Запоріжжя, вул. Жуковського, 66*

igor.totsky@gmail.com

Вивчена посухостійкість п'яти мутантних ліній соняшника. Встановлено, що за посухостійкістю, яка визначена на основі пригнічення росту проростків, кращою є лінія «обпалений лист». Також було

показано, що найгіршою лінією є мутант «дихотомічне жилкування». Лінії «*xantha*», «*virescent*» та «карлик» займають проміжне положення за даною ознакою. При цьому мутант «карлик» має більш високі показники, ніж дві інші лінії. Батьківські компоненти гібридів першого покоління комбінацій схрещування «дихотомічне жилкування» × «*xantha*», «*xantha*» × «дихотомічне жилкування», «*virescent*» × «дихотомічне жилкування» та «дихотомічне жилкування» × «обпалений лист» є контрастними за посухостійкістю на стадії проростків.

Ключові слова: соняшник культурний, мутант, посухостійкість, проросток.

DETERMINATION OF DROUGHT RESISTANCE OF SOME MUTANT LINES IN CULTIVATED SUNFLOWER

Totsky I.V., Lyakh V.A.

Zaporizhzhya national university,

69600, Ukraine, Zaporizhzhya, Zhukovskogo Street, 66.

igor.totsky@gmail.com

Drought – is a one of the most complex and destructive abiotic stressor in global scale. Drought damage exceeds the damage from any other stressor. Drought alone reduces 15-50% of the yield. Therefore, increase of the drought tolerance is the important direction of the modern plant breeding. Drought resistance assessment can be conducted at different stages of plant development: adult vegetating plant, seedling and seed. Both field and laboratory methods can be used for drought tolerance estimation.

The aim of the present study was to reveal the most drought-resistant genotypes among the new sunflower lines, which were developed through experimental mutagenesis.

Different mutant lines of cultivated sunflower served as material of the study. “Xantha” and “burnt leaf” lines were isolated after 9-10-old embryo treatment of ZL95 line with ethylmethanesulfonate at the 0.02% concentration for 16 hours. The plants of “xantha” line are characterized by fading traits in the years with drought conditions. “Dichotomous venation” mutant sample was developed through treatment of ZL9 line mature seeds with ethylmethanesulfonate at the 0.5% concentration for 6 hours. “Virescent” line was selected from ZL102 line after mature seeds treatment with ethylmethanesulfonate at the 0.5% concentration for 12 hours. “Dwarf” mutant was found under treatment with ethylmethanesulfonate of ZL169 line immature seeds at the 0.1% concentration for 12 hours. It is characterized by significantly reduced height of the plants. In addition, “dwarf” mutant has xeromorphous traits such as abundance of trichoma, large number and reduced size of the basic cells in leaf epidermis as well as stoma guard cells.

Drought tolerance was identified by seedling growth depression. With this aim, the seeds were treated with the 1% KMnO_4 solution during 10 minutes to prevent the mould emergence. Then, they were put on the filter paper in the Petri dishes, which was preliminary warmed-up with 150°C during 1 hour for sterilization. $10\ \mu\text{l}$ nystatin solution (250 000 units per 1 liter) were added in the each Petri dish. Closed Petri dishes were placed in the thermostat with the temperature of 25°C . Then developed seedlings were removed in the new Petri dishes, 25 seedlings in each Petri dish. One half of Petri dishes was filled with $10\ \mu\text{l}$ of nystatin solution (control). Other half was filled with $10\ \mu\text{l}$ 15% saccharose solution, which prepared with nystatin solution using (treatment). Solutions were preliminary boiled during 5 minutes. Closed Petri dishes were placed in the thermostat with the temperature of 25°C during 72 hours. In 5 days, the seedlings rinsed in the water, cut the embryonic roots and measured the length of the embryonic roots. After that, embryonic roots were placed in the weighting bottles and then in the dry-air sterilizer with the temperature of $80\text{-}100^\circ\text{C}$ and 3 hours exposition. Thereafter the weighting bottles were cool downed in the exsiccator, weighted and the dry mass of embryonic roots was calculated. Each variant was represented by two replications (Petri dishes).

The degree of the growth repression (A) under artificial drought was calculated according to the formula:

$A=(a/b)\times 100\%$, where, a – average dry mass of embryonic roots or average length of roots in the saccharose solution; b – average dry mass of embryonic roots or average length of roots in the distilled water. More drought-resistant genotypes had a greater average dry weight of embryonic roots or average length of roots after osmotic effect.

Statistic data processing was carried out with a help of variance analysis and Student`s test.

Drought tolerance was determined by two factors, namely the relative length and dry mass of embryonic roots. “Burnt leaf” line had the highest index of the embryonic roots relative length. It was $53.45\pm 0.35\%$. “Dichotomous venation” line had the least index of this factor – $16.55\pm 1.43\%$. Analysis of variances was carried out to determine the significance of differences among the mutants. The results of variance analysis showed that $F_{\text{r}}>F_{\text{t}}$ both at 5% and 1% levels of significance. This indicates the existence of differences among the genotypes compared. Later defines the significance of particular differences. “Dichotomous venation” line was not significantly different from the “xantha” mutant but was significantly different from the other lines both at 5% and 1% levels of significance if used for comparison the drought tolerance, which determined on basis of the embryonic roots relative length. “Xantha” mutant had significant difference with all genotypes too besides the case described above. “Virescent” line significantly differed from all genotypes, but difference was only significant at 5% level of significance in comparison with “dwarf” mutant. “Dwarf”

mutant line had significant difference with all lines besides the case with “virescent” mutant. “Burnt leaf” line significantly differed from all other genotypes both at 5% and 1% levels of significance. “Burnt leaf” line had the highest index of the embryonic roots relative dry mass, which was $88.4 \pm 1.65\%$. “Dichotomous venation” line had the least index of this factor – $22.975 \pm 3.53\%$. It is interesting that the same lines had extreme meanings taking into account the embryonic roots relative length. The results of variance analysis based on the embryonic roots relative dry mass, which permit to reveal the existence of differences in the analyzable complex, showed that $F_2 > F_1$ both at 5% and 1% levels of significance. This indicates the existence of differences between genotypes. Comparison of lines with using the drought tolerance, based on the embryonic roots relative dry mass, showed that significant difference of “dichotomous venation” mutant was observed with all other genotypes at 5% level of significance. Significant differences were absent among «xantha», «virescent» and “dwarf” mutants by studying factor. “Burnt leaf” line significantly differed from all other genotypes at both 5% and 1% levels of significance.

To carry out the successful pollen and sporophyte breeding for the drought tolerance the parental lines of F_1 hybrids should be contrasting for this trait. The proposed couples of parental genotypes were estimated on the basis of contrast for this factor with the help of the Student’s test. The results showed that the differences between parental lines were significant in all crossing combinations at 5% level of significance for drought tolerance, based on the embryonic roots relative length. The differences were significant at 1% level of significance for the four crossing combinations. Differences between mutants for drought tolerance, based on the relative dry mass of embryonic roots, were significant for 4 crossing combinations at 5% and 1% significance levels. It should be noted, that in two crossing combinations, where parental components had not differences for the relative dry mass of embryonic roots, differences were observed in the relative length of embryonic roots. On the whole, we can say that the parental lines of four F_1 hybrids were contrasting for drought tolerance and these hybrids can be used to carry out the selection for this trait.

It was found that “burnt leaf” line was the best for drought tolerance while “dichotomous venation” line was the worst sample, based on the inhibition of seedling growth. «Xantha», «virescent» and “dwarf” mutants occupied an intermediate position by drought tolerance trait. However, “dwarf” mutant had higher indexes than two other lines.

It was shown that the parental components of four F_1 hybrids for “dichotomous venation” × «xantha», «xantha» × “dichotomous venation”, «virescent» × “dichotomous venation” and “dichotomous venation” × “burnt leaf” crossing combinations were quite contrasting for drought tolerance at the seedling stage. F_1 hybrid of “dichotomous venation” × “burnt leaf” crossing combination has been produced using the most and the least drought-tolerant lines.

Key words: cultivated sunflower, mutant, drought resistance, seedling.

ВВЕДЕНИЕ

Засуха — один из наиболее комплексных и разрушительных в глобальном масштабе абиотических стрессов. Ущерб от нее превышает ущерб от любого другого стрессора [1]. Только одна засуха может сократить урожай на 15-50%. Возможные глобальные климатические изменения в будущем предполагают увеличение риска засухи [2].

Следует отметить, что на дефицит воды отрицательно реагируют любые растения (в том числе «засухоустойчивые»), и у каждого из них недостаток воды снижает продуктивность, то есть во всех случаях речь идет о необходимости смягчения отрицательного влияния дефицита воды на урожай. Поэтому увеличение засухоустойчивости растений – важное направление современной селекции. Селекцию на устойчивость к засухе нельзя рассматривать в отрыве от технологии растениеводства, главной задачей которой должно быть накопление и сбережение влаги в почве. При этом немаловажно в оптимальные сроки получить полные всходы и защитить растения от сорняков, вредителей и возбудителей болезней [1].

Засуха – важный фактор, который может лимитировать продуктивность подсолнечника культурного. Подсолнечник является мезофитом и очень требователен к влаге. Хорошо развитые посевы подсолнечника за вегетационный период потребляют от 500 до 600 мм воды, а минимальная потребность в воде удовлетворяется при 350...400 мм осадков. Особенно требовательны к влаге растения во время образования бутонов до цветения. Потребность в воде обеспечивается мощной корневой системой, которая может усваивать водные ресурсы почвы из большой глубины и даже при большой водоудерживающей силе почвы. В регионах с континентальным климатом на более тяжелых почвах подсолнечник

полностью использует накопившиеся в зимний период водные ресурсы почвы. Благодаря этому он проявляет относительную засухоустойчивость [3].

Оценка засухоустойчивости может проводиться на разных стадиях развития растения. На стадии взрослого вегетирующего растения оценка засухоустойчивости проводится как полевыми, так и лабораторными методами. Трудности и недостатки оценки материала на засухоустойчивость можно устранить, проводя оценку устойчивости растений в вегетационных опытах. Исходя из того, что существует комплекс признаков, которые помогают растению переносить засуху и эффективно использовать воду, при селекции по этим признакам можно достичь большей засухоустойчивости растений. Так, индийскими учёными проводилась оценка засухоустойчивости растений подсолнечника по ряду морфологических признаков корневой системы и высокой эффективности использования воды [2]. Однако вегетационный метод весьма трудоёмкий, громоздкий, обладает малой пропускной способностью [4].

В связи с этим для массовой диагностики устойчивости растений широко используются разнообразные лабораторные методы. При диагностике устойчивости к засухе широко используется оценка по комплексу параметров водного режима. Наиболее информативными являются методы изучения водного режима листьев: определение оводнённости тканей, определение водного дефицита, определение водоудерживающей способности листьев. Устойчивость растений может быть оценена и на основе измерения проницаемости мембран или характеристики энергопреобразующей деятельности клетки [4, 5].

Проводятся многочисленные исследования возможности отбора засухоустойчивых растений по физиологическим признакам. В этом плане перспективным подходом является оценка уровня абсцизовой кислоты (АБК). Этот фитогормон является стрессовым и накапливается в растениях при дефиците воды, выполняя защитную функцию [7,6]. Можно использовать и эксикаторный метод, основанный на оценке способности клеток выживать при их обезвоживании. Чем больше живых клеток остаётся, тем более устойчиво растение [8].

Эффективной является оценка засухоустойчивости и на стадии проростков. Она может проводиться с использованием прямого способа определения засухоустойчивости у растений – по способности роста проростков под действием обезвоживания, путём обсушивания и дальнейшего повторного перенесения на воду [9]. Также можно определять угнетение роста проростков во время действия засухи, с использованием в качестве стрессора раствора сахарозы. Для этого проростки переносят в раствор сахарозы, а через определённое время определяют сухую массу и длину зародышевых корешков, сравнивая с контролем. Для определения засухоустойчивости используют и степень гидролиза статолитного крахмала в корневом чехлике зародышевых корешков. Чем меньше содержание статолитного крахмала в корневом чехлике после действия стрессового фактора, тем менее устойчиво растение [8].

На стадии семян используют метод определения засухоустойчивости по способности прорастания семян при недостатке воды, моделируя условия засухи раствором сахарозы. Подсчитывают относительный процент прорастания семян, чем он больше, тем более устойчиво растение [8].

Целью данной работы было выявление наиболее засухоустойчивых генотипов среди линий подсолнечника, созданных методом экспериментального мутагенеза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом служили различные мутантные линии подсолнечника культурного, созданные в Институте масличных культур (г. Запорожье). Линии «*xantha*» и «обожжённый лист» получены путём обработки этилметансульфонатом в концентрации 0,02% и экспозиции 16 часов зародышей 9-10-дневного возраста линии ЗЛ 95. У растений линии «*xantha*» в конце вегетации на листьях образуются некротические сектора, также эти растения характеризуются признаками увядания в засушливых условиях года [10]. Мутантный

образец «дихотомическое жилкование» создан в результате обработки этилметансульфонатом в концентрации 0,5% и экспозиции 6 часов зрелых семян линии ЗЛ 9. Линия «virescent» получена обработкой этилметансульфонатом в концентрации 0,5% и экспозиции 12 часов зрелых семян линии ЗЛ 102. Мутант «карлик», созданный с помощью обработки этилметансульфонатом в концентрации 0,1% и экспозиции 12 часов незрелых семян линии ЗЛ 169, характеризуется мутантным признаком значительно уменьшенного роста. Он несёт признаки ксероморфности, а именно большое количество трихом, большое количество и уменьшенные размеры основных клеток эпидермы листа и замыкающих клеток устьиц [11].

Засухоустойчивость определяли по угнетению роста проростков. С этой целью семена протравливали 10 минут 1% раствором $KMnO_4$. Затем раскладывали на фильтровальную бумагу в чашки Петри, предварительно стерилизованные при 150°C в течение 1 часа. В каждую чашку Петри наливали по 10 мл дистиллированной воды. В воду добавлялся нистатин (250 тыс. ед. на 1 литр). Закрытые чашки помещали в термостат с температурой 25°C до появления нормально развитых проростков, у которых длина зародышевого корешка приблизительно равна длине семянки. Образовавшиеся проростки по 25 штук помещали в чашки Петри. В половину чашек Петри наливали 10 мл дистиллированной воды. В другую – наливали 10 мл 15% раствора сахарозы. В дистиллированную воду и раствор сахарозы добавляли нистатин (250 тыс. ед. на 1 литр). Предварительно растворы кипятили в течение 5 минут. Закрытые чашки помещали в термостат с температурой 25°C на 72 часа. На 6-е сутки после пересадки проростки вынимали, споласкивали в воде, срезали зародышевые корешки и измеряли их длину. Затем зародышевые корешки помещали в бюксы и высушивали в течение 3 часов при температуре 80-100°C. После этого бюксы охлаждали в эксикаторе, взвешивали и вычисляли сухую массу корешков. Каждый вариант был представлен двумя повторностями.

Степень подавления ростовых процессов (A) при искусственной засухе рассчитывали по формуле:

$$A=(a/b)\times 100\%,$$

где a – средняя сухая масса зародышевого корешка или средняя длина корешков, выращенных в растворе сахарозы; b – средняя сухая масса зародышевого корешка или средняя длина корешков, выращенных в дистиллированной воде. Чем больше относительная сухая масса зародышевых корешков или их длина после действия осмотика, тем более засухоустойчив генотип [8].

Статистическую обработку данных проводили с помощью дисперсионного анализа и критерия Стьюдента [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Засухоустойчивость линий определяли по двум показателям, а именно — по относительной длине и сухой массе зародышевых корешков. Данные по относительной длине зародышевых корешков всех генотипов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Относительная длина зародышевых корешков.

№ п/п	Генотип	Относительная длина зародышевых корешков, %		Средняя относительная длина зародышевых корешков, %
		Повторность 1	Повторность 2	
1	мутант «xantha»	22,6	20,1	21,35±1,25
2	мутант «дихотомическое жилкование»	17,8	15,3	16,55±1,43
3	мутант «virescent»	38,2	28,5	33,35±4,85
4	мутант «карлик»	41,2	40,1	40,65±0,55
5	мутант «обожжённый лист»	53,8	53,1	53,45±0,35

Наиболее высокий показатель относительной длины зародышевых корешков имела линия «обожжённый лист», который составлял $53,45 \pm 0,35\%$. Наименьшее значение имела линия «дихотомическое жилкование» – $16,55 \pm 1,43\%$. Мутанты «*xantha*», «*virescent*» и «карлик» имели промежуточные значения $21,35 \pm 1,25\%$, $33,35 \pm 4,85\%$, $40,65 \pm 0,55\%$ соответственно. Для определения существенности различий между мутантами проведён дисперсионный анализ, результаты которого представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Таблица дисперсионного анализа по относительной длине зародышевых корешков.

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F		
				фактическое	теоретическое	
					$p=0,05$	$p=0,01$
Общая	1820,44	9				
Повторений	27,23	1				
Вариантов	1766,30	4	441,57	65,61	6,4	16,0
Остатка	26,92	4	6,73			

По результатам вычислений видно, что $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$ как при 5%, так и при 1% уровне значимости, что указывает на существенные различия между сравниваемыми генотипами. В дальнейшем определяли существенность частных различий, для чего провели расчёты НСР и дальнейшее сопоставление вариантов между собой с использованием этого показателя. Данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнение относительной длины зародышевых корешков мутантных линий подсолнечника культурного.

Генотип	мутант « <i>xantha</i> »	мутант «дихотомическое жилкование»	мутант « <i>virescent</i> »	мутант «карлик»	мутант «обожжённый лист»
мутант « <i>xantha</i> »	–	4,8	12**	19,3**	32,1**
мутант «дихотомическое жилкование»	4,8	–	16,8**	24,1**	36,9**
мутант « <i>virescent</i> »	12**	16,8**	–	7,3*	20,1**
мутант «карлик»	19,3**	24,1**	7,3*	–	12,8**
мутант «обожжённый лист»	32,1**	36,9**	20,1**	12,8**	–

Примечание: НСР₀₅=7,21; НСР₀₁=11,91.

*, ** – отличия между генотипами существенны при $p \leq 0,05, 0,01$ соответственно.

Как видно из таблицы 3, по засухоустойчивости, определяемой на основе относительной длины зародышевых корешков, у мутанта «дихотомическое жилкование» нет существенной разницы при сравнении с мутантом «*xantha*», тогда как со всеми остальными генотипами разница существенна при обоих уровнях значимости. Мутант «*xantha*» также имеет существенную разницу со всеми вариантами, кроме описанного выше. Мутант «*virescent*» значимо отличается от всех генотипов, однако по сравнению с мутантом «карлик», разница существенна только при 5% уровне значимости. Сам же мутант «карлик» имеет существенные различия со всеми линиями, кроме примера с мутантом «*virescent*». Линия «обожжённый лист» существенно отличается при обоих уровнях значимости от всех остальных генотипов.

Данные по относительной сухой массе зародышевых корешков всех генотипов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Относительная сухая масса зародышевых корешков.

№ п/п	Генотип	Относительная сухая масса зародышевого корешка, %		Средняя относительная сухая масса зародышевого корешка, %
		Повторность 1	Повторность 2	
1	мутант « <i>xantha</i> »	62,3	45,6	53,95±8,35
2	мутант «дихотомическое жилкование»	23,55	23,55	22,975±3,53
3	мутант « <i>virescent</i> »	45,8	44,4	45,1±0,7
4	мутант «карлик»	55	58,2	56,6±1,6
5	мутант «обожжённый лист»	86,8	90	88,4±1,6

По абсолютным показателям относительной сухой массы зародышевых корешков самое высокое значение имела линия «обожжённый лист», которое составляло 88,4±1,65%. А наименьший показатель имела линия «дихотомическое жилкование» – 22,975±3,53%. Интересно, что эти же линии имели крайние значения и по показателю относительной длины зародышевых корешков. Мутанты «*virescent*», «*xantha*» и «карлик» имели промежуточные значения 45,1±0,7%, 53,95±8,35%, 56,6±1,6% соответственно.

Результаты дисперсионного анализа по относительной сухой массе зародышевых корешков, позволяющие выявить наличие различий в анализируемом комплексе, представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Таблица дисперсионного анализа по относительной сухой массе зародышевых корешков.

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F		
				фактическое	теоретическое	
					$p=0,05$	$p=0,01$
Общая	4611,55	9				
Повторений	16,51	1				
Вариантов	4460,23	4	1115,06	33,08	6,4	16,0
Остатка	134,81	4	33,70			

Как показывают данные, $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$, как при 5%-ном, так и при 1% уровне значимости, что указывает на существование различий между вариантами. С целью установления существенности частных различий, был произведён расчёт НСР (табл. 6).

Таблица 6 – Сравнение относительной сухой массы зародышевых корешков мутантных линий подсолнечника культурного.

Генотип	мутант « <i>xantha</i> »	мутант «дихотомическое жилкование»	мутант « <i>virescent</i> »	мутант «карлик»	мутант «обожжённый лист»
мутант « <i>xantha</i> »	–	30,97**	8,85	2,65	34,45**
мутант «дихотомическое жилкование»	30,97**	–	22,12*	33,62**	65,42**
мутант « <i>virescent</i> »	8,85	22,12*	–	11,5	43,3**
мутант «карлик»	2,65	33,62**	11,5	–	31,8**
мутант «обожжённый лист»	34,45**	65,42**	43,3**	31,8**	–

Примечание: НСР₀₅=16,14; НСР₀₁=26,73.

*, ** - отличия между генотипами существенны при $p \leq 0,05$, $0,01$ соответственно.

Сравнение линий между собой по засухоустойчивости, на основе относительной сухой массы зародышевых корешков, показало, что у мутанта «дихотомическое жилкование» наблюдается существенная разница со всеми остальными генотипами при 5% уровне значимости. Между мутантами «*xantha*», «*virescent*» и «карлик» отсутствуют существенные

отличия по изучаемому показателю. Мутант «обожженный лист» значимо отличается от всех остальных вариантов при обоих уровнях значимости.

При сопоставлении обоих показателей, на основе которых проводилась оценка засухоустойчивости, с учётом существенности различий, было обнаружено, что все мутантные линии отличаются друг от друга по одному или по обоим из них. Исходя из этих данных, мутантные линии в порядке увеличения засухоустойчивости расположились следующим образом: «дихотомическое жилкование», «*xantha*», «*virescent*», «карлик», «обожжённый лист».

Поскольку с целью проведения пыльцевой и спорофитной селекции на засухоустойчивость планируется получение гибридов от скрещивания контрастных по засухоустойчивости линий, предполагаемые пары родительских генотипов были оценены на контрастность по данному признаку с помощью критерия Стьюдента. Результаты данных вычислений представлены в таблицах 7 и 8.

Таблица 7 – Контрастность по засухоустойчивости родительских компонентов предполагаемых гибридов на основании относительной длины зародышевых корешков

Родительский компонент	мутант « <i>xantha</i> »	мутант «дихотомическое жилкование»	мутант « <i>virescent</i> »	мутант «карлик»	мутант «обожжённый лист»
мутант « <i>xantha</i> »	–	2,53*	2,4*	14,13***	24,73***
мутант «дихотомическое жилкование»	2,53*	–	3,32**	15,73***	25,06***
мутант « <i>virescent</i> »	2,4*	3,32**	–	1,5	4,13***
мутант «карлик»	14,13***	15,73***	1,5	–	19,63***
мутант «обожжённый лист»	24,73***	25,06***	4,13***	19,63***	–

Примечание: *, **, *** - отличия между родительскими линиями гибридов существенны при $p \leq 0,05$, 0,01 и 0,001 соответственно.

Таблица 8 – Контрастность по засухоустойчивости родительских компонентов предполагаемых гибридов на основании относительной сухой массы зародышевых корешков

Родительский компонент	мутант « <i>xantha</i> »	мутант «дихотомическое жилкование»	мутант « <i>virescent</i> »	мутант «карлик»	мутант «обожжённый лист»
мутант « <i>xantha</i> »	–	3,42**	1,06	0,31	4,05***
мутант «дихотомическое жилкование»	3,42**	–	6,15***	8,68***	16,88***
мутант « <i>virescent</i> »	1,06	6,15***	–	6,58***	24,79***
мутант «карлик»	0,31	8,68***	6,58***	–	14,05***
мутант «обожжённый лист»	4,05***	16,88***	24,79***	14,05***	–

Примечание: *, **, *** - отличия между родительскими линиями гибридов существенны при $p \leq 0,05$, 0,01 и 0,001 соответственно.

Из таблицы 7 следует, что различия между родительскими линиями по засухоустойчивости, на основе относительной длины зародышевых корешков, не существенны только в комбинации скрещивания «карлик» × «*virescent*». В комбинациях скрещивания «дихотомическое жилкование» × «*xantha*» и «*xantha*» × «*virescent*» различия существенны лишь при 5% уровне значимости, в комбинации скрещивания «дихотомическое жилкование» × «*virescent*» - при 1%, а во всех остальных комбинациях скрещивания различия существенны при 0,1% уровне значимости.

Таблица 8 показывает, что в комбинациях скрещивания «*xantha*» × «*virescent*» и «карлик» × «*xantha*» отсутствуют различия между родительскими линиями по засухоустойчивости на основе относительной сухой массы зародышевых корешков. Различия существенны при 1%

уровне значимости в комбинации скрещивания «дихотомическое жилкование» × «*xantha*», а во всех остальных вариантах различия имеются при 0,1% уровне значимости.

На основании данных таблиц 7 и 8 можно выделить наиболее перспективные комбинации скрещивания для получения гибридов. В качестве таковых отбирались комбинации скрещивания, у которых в обеих таблицах разница была существенна при 0,1% уровне значимости. Такими комбинациями оказались: «обожжённый лист» × «*xantha*», «карлик» × «дихотомическое жилкование», «обожжённый лист» × «дихотомическое жилкование», «обожжённый лист» × «*virescent*» «обожжённый лист» × «карлик».

Перспектива дальнейшего исследования: полученные данные позволяют получать гибриды от скрещивания контрастных по засухоустойчивости линий для оценки эффективности гаметофитной селекции по данному признаку.

ВЫВОДЫ

1. При использовании метода оценки засухоустойчивости, основанного на угнетении роста проростков, установлено, что наиболее устойчивой является линия «обожжённый лист», а наименее устойчивой – линия «дихотомическое жилкование». Линии «*xantha*», «*virescent*» и «карлик» занимают промежуточное положение по признаку засухоустойчивости и располагаются в соответствующем порядке по увеличению устойчивости.
2. Наиболее перспективными комбинациями скрещиваний для получения гибридов являются «обожжённый лист» × «*xantha*», «карлик» × «дихотомическое жилкование», «обожжённый лист» × «дихотомическое жилкование», «обожжённый лист» × «*virescent*» и «обожжённый лист» × «карлик». Комбинация скрещивания «дихотомическое жилкование» × «обожжённый лист» получена путём скрещивания наиболее и наименее устойчивой линии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крупнов В.А. Засуха и селекция пшеницы: системный подход / В.А. Крупнов // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – №1. – С. 12-23.
2. Examination of characters, isotope discrimination, physiological and morphological traits and their relationship used to identify the drought tolerant sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes / [Nagarathna T.K., Shadakshari Y.G., Ramakrishna Parama V.R. and etc.] // Helia. – 2012. – V. 35, №56. – P. 1-8.
3. Яровые масличные культуры / [Шпаар Д., Адам Л., Гтнапп Х. и др.]; под общ. ред. В.А. Щербакова. – Минск: ФУАинформ, 1999. – 283 с.
4. Гончарова Э.А. Стратегия диагностики и прогноза устойчивости сельскохозяйственных растений к погодно-климатическим аномалиям / Э.А. Гончарова // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – №1. – С. 24-31.
5. ЖангДоангХоанг. Исследование засухоустойчивости перспективных для интродукции видов *MomordicaCharantia*L. и *M. Balsamina*L. (*Cucurbitaceae*) / ДоангХоангЖанг, В.К. Тохтарь // Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. – 2011. – Вып. 15. – №9 (104). – С.43-47.
6. Прогноз засухоустойчивости по содержанию абсцизовой кислоты и изучение возможности упрощения процедуры её количественной оценки в растениях пшеницы / [Веселов С.Ю., Шарипова Г.В., Тимергалин М.Д. и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т.13. – №5 (3). – С. 17-20.
7. Мусієнко М.М. Фізіологія рослин / М.М. Мусієнко. – К.: Фітосоціоцентр, 2001. – 392 с.

8. Практикум по росту и устойчивости растений: учебное пособие / [Полевой В.В., Чиркова Т.В., Лутова Л.А. и др.]; Под ред. В.В. Полевого, Т.В. Чирковой. – СПб.: С.-Петербург. ун-т, 2001. – 212 с.
9. Волкова А.М. Определение жаро- и засухоустойчивости рапса по ростовой реакции проростков после прогревания и завядания: методические указания / А.М. Волкова, А.П. Либрихт. – Л.: ВИР, 1989. – 12 с.
10. Soroka A.I. Genetic variability in sunflower after mutagen treatment of immature embryos of different ages / A. Soroka, V.Lyakh // *Helia*. – 2009. – V. 32, №51. – P. 33-45.
11. Лях В.А. Индуцированный мутагенез масличных культур / Лях В.А., Полякова И.А., Сорока А.И. – Запорожье: ЗНУ, 2009. – 266 с.
12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1968. – 336 с.

REFERENCES

1. Krupnov V.A. Zasuha i selekciya pshenici: sistemniy podchod / V.A. Krupnov // *Selskochozyaistvennaya biologiya*. – 2011. – №1. – P. 12-23.
2. Examination of characters, isotope discrimination, physiological and morphological traits and their relationship used to identify the drought tolerant sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes / [Nagarathna T.K., Shadakshari Y.G., Ramakrishna Parama V.R. and etc.] // *Helia*. – 2012. – V. 35, №56. – P. 1-8.
3. Yarovie maslichnie kulturi / [Shpaar D., Adam L., Gtnapp X. i dr.]; Pod obsch. red. V.A. Scherbacova. – Minsk: FUAinform, 1999. – 283 p.
4. Goncharova E.A. Strategiya diagnostiki i prognoza ustoychivosti selskochozyaystvennich rasteniy k pogodno-klimaticheskim anomalijam / E.A. Goncharova // *Selskochozyaistvennaya biologiya*. – 2011. – №1. – P. 24-31.
5. Jang Doang Choang. Issledovanie zasuchoustoychivosti perspektivnich dlya introdukcii vidov *Momordica Charantia* L. i *M. Balsamina* L. (*Cucurbitaceae*) / Doang Choang Jang, V.K. Tochtar // *Nauchnie vedomosti BelGU. Seriya estestvennie nauki*. – 2011. – Vip. 15. – № 9 (104). – P.43-47.
6. Prognoz zasuchoustoychivosti po sodержaniyu abscizovoy kisloty i izuchenie vozmozhnosti uproscheniya procedure eyo kolichestvennoy ocenki v rasteniyach pshenici / [Veselov S.YU., Sharipova G.V., Timergalin M.D. i dr.] // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossiyskoy akademii nauk*. – 2011. –T. 1. – №5 (3). – P. 17-20.
7. Musienko M.M. Fiziologiya roslin / M.M. Musienko. – K.: Fitosociocentr, 2001. – 392 p.
8. Praktikum po rostu i ustoychivosti rasteniy: uchebnoe posobie / [Polevoy V.V., Chirkova T.V., Lutova L.A. i dr.]; Pod red. V.V. Polevogo, T.V. Chirkovoy. – SPb.: S.-Peterb. un-t, 2001. – 212 p.
9. Volkova A.M. Opredelenie zharo- i zasuchoustoychivosti rapsa po rostovoy reakcii prorostkov posle progrevaniya i zavядaniya: metodicheskie ukazaniya / A.M. Volkova, A.P. Libricht. – L.: VIR, 1989. – 12 p.
10. Soroka A.I. Genetic variability in sunflower after mutagen treatment of immature embryos of different ages / A. Soroka, V.Lyakh // *Helia*. – 2009. – V. 32, №51. – P. 33-45.
11. Lyakh V.A. Inducirovanniy mutagenez maslichnich kultur / Lyakh V.A., Polyakova I.A., Soroka A.I. – Zaporozhe: ZNU, 2009. – 266 p.
12. Dospechov B.A. Metodika polevogo opita (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy) / B.A. Dospechov. – M.: Kolos, 1968. – 336 p.