Journal of Mountain Agriculture on the Balkans, 2018, 21 (3), 312-327
Research Institute of Mountain Stockbreeding and Agriculture, Troyan
ISSN 1311-0489 (Print)
ISSN 2367-8364 (Online)

Контрол върху жизнеспособността на маслодайни семена след 25 години дългосрочно съхранение

Манол Дешев, Гергана Дешева*, Станислав Стаматов

Институт по Растителни Генетични Ресурси "Константин Малков", 4122 Садово, България

Monitoring of oil seed viability after 25 years long term storage

Manol Deshev, Gergana Desheva*, Stanislav Stamatov

Institute of Plant Genetic Resources "Konstantin Malkov", 4122 Sadovo, Bulgaria
**E-mail: gergana_desheva@abv.bg*

Received: 16.04.2018 *Accepted:* 01.10.2018 *Published:* 08.11.2018

РЕЗЮМЕ

Оценени са общо 1,134 образци от 7 растителни вида (*Sesamum indicum* L., *Helianthus annuus* L., *Arachis hypogaea* L., *Glycine max* (L.) Merr., *Brassica napus* L., *Linum usitatissimum* L. и *Papaver somniferum* L.) съхранени за 25 години в Националната генбанка на България. Всички семенни образци са поддържани в базовата колекция при условията за дългосрочно съхранение с ниско влагосъдържание (5±2%) в херметически затворени контейнери при –18°C. Въз основа на експериментално получените данни са определени семенните характеристики за съхранимостта - σ (стандартно отклонение на семенната смъртност при съхранение), P50% (времето, за което жизнеспособността на семената пада до 50%) и P10% (времето, за което жизнеспособността им се понижава с 10%) позволяващи да се предскаже продължителността на съхранение на семената и нуждата от репродуциране. Резултатите показват значителни разлики в загубата жизнеспособност на семената както между видовете така и вътре във вида. Минималните изменения между кълняемостта на семената в началото на съхранението и

SUMMARY

A total of 1,134 seed accessions from 7 plant species (*Sesamum indicum* L., *Helianthus annuus* L., *Arachis hypogaea* L., *Glycine max* (L.) Merr., *Brassica napus* L., *Linum usitatissimum* L. and *Papaver somniferum* L.) stored for 25 years in the National Genebank of Bulgaria are evaluated. All seed accessions are maintained as base collection under long-term storage conditions with low moisture contents (5±2%) in hermetically closed containers at –18°C. On the basis of experimental data, the seed storage characters σ (standard deviation of seed death in storage), P50% (the time for viability to fall to 50%) and P10% (the time for viability reduction of 10%) are determined allowing the prediction of seed storage life and the regeneration needs.

The results showed significant differences in loss of seed viability among species and within the species. Minimal changes between seed germinations at the beginning of storage and after a significant time of storage in both first

след значително период на съхранение, както при първия контролен тест (с време на съхранение 10 години), така и при втория контролен тест (с време на съхранение 25 години), са открити за образците от видовете *Sesamum indicum* L. и *Papaver somniferum* L. Много по-големи разлики в кълняемостта след 10 и 25 години на съхранение са регистрирани между отделните генотипове на *Arachis hypogaea* L. и *Glycine max* (L.) Merr. Стойностите на σ варират от 24.39 години (*Arachis hypogaea* L.) до 125 години (за *Sesamum indicum* L. и *Helianthus annuus* L.). Установено е широко вариране между видовете по отношение на времето, за което жизнеспособността на семената се понижава до 50% и до 10%. Изследването илюстрира положителният ефект от ранният контрол върху съхранимостта на семената и нуждата от репродуциране като инструмент за ограничаване на нежелани загуби.

Ключови думи: генбанка, маслодайни семена, кълняемост, продължителност на живот семената, семенна жизнеспособност

control test (with storage time of 10 years) and second control test (with storage time of 25years) are detected for accessions from *Sesamum indicum* L. and *Papaver somniferum* L. species. More differences in germinative activity after 10 and 25 years of storage are registered between individual genotypes of *Arachis hypogaea* L. and *Glycine max* (L.) Merr.

The σ values varied from 24.39 years (*Arachis hypogaea* L.) to 125 years (for *Sesamum indicum* L. and *Helianthus annuus* L. There are wide variation across species, both in time taken for the viability to fall to 50% and in time taken for the seed viability reduction of 10%. The study illustrates the positive effect of both seed storability early monitoring and prediction of regeneration needs as a tool for limiting undesired losses.

Key words: genebank, oilseeds, seed germination, seed longevity, seed viability

УВОД

Съхранението на семената в генбанки е най-разпространената техника за *ex-situ* съхранение на растителни генетични ресурси от 20-те години на миналия век (Pita et al., 2005; Pérez-García et al., 2009). Това е относително евтин метод за запазване на широка гама от генетична плазма. В повечето базови колекции на генбанките съхраняването, 3-7% влажност на семената и -18° C или по-ниска температура на съхранение теоретично осигурява жизнеспособността, жизнеността и генетична цялост на семената за хиляди години (Ellis and Roberts, 1980). Въпреки това, тъй като семената са живи материали, те изискват подходящи условия на съхранение и непрекъснат мониторинг, за да се гарантира поддържане на жизнеспособността им. Семената, които се събират и съхраняват в семенна генбанка, трябва да бъдат с високо качество и максимална жизнеспособност. Първоначалната им жизне-

INTRODUCTION

Storage of seeds in genebanks has been the most common technique for *ex situ* conservation of plant genetic resources since the 1920s (Pita et al., 2005; Pérez-García et al., 2009). It is a relatively cheap method of conserving a broad range of germplasm. In most base genebank collections, 3 to 7% seed moisture and -18°C or lower storage temperature theoretically assure seed viability, vigour, and genetic integrity for thousands of years (Ellis and Roberts, 1980).

However, as seeds are living material, they require proper storage conditions and continuous monitoring to ensure that viability is maintained. Seeds that are collected and stored in a seed genebank must be of high quality and at maximum viability. The initial viability of the seeds, seed moisture content and its interaction

способност, съдържанието на влага в семената и взаимодействието им с относителната влажност на въздуха и температурата имат значително влияние върху продължителността им на съхранение (Roberts, 1973). Но дори при семена, съхранявани при оптимални условия, подходящи за дългосрочно съхранение, жизнеспособността може да намалее в резултат на процесите на стареене или влошаване на семената (Sastry et al., 2008). Жизнеспособността на семената първоначално се понижава бавно, а след това бързо поради стареене на семената (Roberts and Ellis, 1982). Ето защо е важно да се знае кога този спад настъпва, така че образците да могат да бъдат репродуцирани и заменени наличните им семена с други имащи висока жизнеспособност (Ho-Sun et al., 2013). Съхранявани при едни и същи условия семената на различните растителни видове губят жизнеспособността си в различна степен. Семената на маслодайните култури се характеризират с къс живот на съхранение (Copeland and McDonald 2001; Stoyanova, 2001; Walters et al., 2005; Desheva, 2016; Desheva et al., 2017). Balešević-Tubić et al. (2010) съобщава, че химическият състав на маслодайните семена причинява появяването на специфични процеси по време на съхранение. Семената, богати на липиди, имат ограничена продължителност на живот поради техния специфичен химичен състав. Семената на маслодайните култури са много чувствителни към суровите условия на околната среда. Предполага се, че високото съдържание на масло се окислява по-лесно, което влошава качествата на семената за съхранение (Kausar et al., 2009). Nagel et al., (2011) заключват, че има генотипен компонент, участващ в определянето на жизнеспособността на семената при *Brassica napus*. Някои химични и/или физични свойства на семенната обвивка също влияят върху степента на покълване след съхранение, тъй като семената на структурните и пигментационните мутанти се влошават по-бързо в сравнение с тези на дивите им родственици (Debeaujon et al., 2000; Clerkx et al., 2004).

with relative humidity of the air and the storage temperature have significant influence on seed longevity (Roberts, 1973).

Even in seeds stored under optimal conditions suitable for long-term storage, viability may decrease as a result of seed ageing or deterioration processes (Sastry et al., 2008). Seed viability declines slowly at first, and then rapidly as seeds age (Roberts and Ellis, 1982).

Accordingly, it is important to know when this decline occurs so that the accession can be regenerated by replacing the exiting seeds with ones having high-viability (Ho-Sun et al., 2013). Kept under the same storage conditions, seeds of different plant species lose viability to a various degree. Seeds of oil crops are characterized as short-lived (Copeland and McDonald, 2001; Stoyanova, 2001; Walters et al., 2005b; Desheva, 2016; Desheva et al., 2017).

Balešević-Tubić et al. (2010) reported that the chemical composition of oilseeds causes specific processes to occur during storage. The seeds rich in lipids have limited longevity due to their specific chemical composition.

Oil seeds are very sensitive to the harsh environmental conditions. It is hypothesized that their oil content readily oxidize, which deteriorate the seed health in storage (Kausar et al., 2009).

Nagel et al. (2011) concluded that there is a genotypic component involved in the determination of seed viability in *Brassica napus*. Certain chemical and/or physical properties of the seed-coat also affect germination rate after storage, since the seed of both structural and pigmentation mutants tends to deteriorate faster than that of their wild-type progenitor (Debeaujon et al., 2000; Clerkx et al., 2004).

Генетичната ерозия на материалите, поддържани в генбанките, се разглежда като съответен проблем на международно ниво (FAO, 1997) и се препоръчва непрекъснат мониторинг на факторите, причиняващи генетична ерозия в ex situ колекциите, за да се сведе до минимум загубата на генетично разнообразие (Ruiz et al., 1999). Един от основните фактори, причиняващи генетична ерозия, е невъзможността да се открие загубата на кълняемост поради липса на мониторинг на жизнеспособността (FAO, 1997). Следователно тестването на жизнеспособността чрез кълняемост е от съществено значение за поддържаните колекции в семенните генбанки и може да бъде бърз начин за идентифициране на проблемите с условията за съхранение на семената (Walsh et al., 2003).

Целта на това изследване е да се оценят промените в жизнеспособността на маслодайни семена, съхранявани за 25 години при условията на дългосрочно съхранение в Националната генна банка на България.

The genetic erosion of material maintained in genebanks is considered a relevant problem at the international level, and the continuous monitoring of the factors causing genetic erosion in *ex situ* collections is recommended to minimise the loss of genetic diversity (Ruiz et al., 1999). One of the main factors causing genetic erosion is the failure to detect loss of germination due to a lack of viability monitoring (FAO, 1997).

Thus, viability testing through germination is essential for the maintenance of a seed genebank collection and can be a rapid way of identifying problems with the seed storage conditions (Walsh et al., 2003).

The aim of this study is to assess the changes in the viability of oilseeds stored for 25 years under long term storage condition in the National genebank of Bulgaria.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

Оценени са общо 1,134 семенни образци от 7 растителни вида (*Sesamum indicum* L., *Helianthus annuus* L., *Arachis hypogaea* L., *Glycine max* (L.) Merr., *Brassica napus* L., *Linum usitatissimum* L. and *Papaver somniferum* L.) съхранени за 25 години в Националната генбанка на България. Всички образци са поддържани като базова колекция при условията за дългосрочно съхранение с ниско съдържание на влага в семената (5±2%) в херметически затворени контейнери при –18 °C.

Жизнеспособността на семената е установена на базата на степента на покълването им при съхранение. Кълняемостта на семената е определена както следва: точно преди съхранението, след 10 години съхранение и след 25 години съхранение. Тестовете за кълняемост са проведени съгласно правилата на ISTA (1985). Също така са приложени и препоръките за работа в генбанка (Ellis et al., 1985a; 1985b; Hanson, 1985). Семе-

MATERIAL AND METHODS

A total of 1,134 seed accessions from 7 plant species (*Sesamum indicum* L., *Helianthus annuus* L., *Arachis hypogaea* L., *Glycine max* (L.) Merr., *Brassica napus* L., *Linum usitatissimum* L. and *Papaver somniferum* L.) stored in the National Genebank of Bulgaria are evaluated. All seed accessions are maintained as base collection under long-term storage conditions with low moisture contents (5±2%) in hermetically closed containers at –18 °C.

Seed viability is detected on the basis of germination rate of accessions in storage. The seed germination is determined as following: just before the storage, after 10 years of storage and after 25 years of storage. The germination tests are carried out according to ISTA rules (1985). The recommendations for work in the gene banks are also implemented (Ellis et al., 1985a; 1985b; Hanson, 1985). Seeds stored at –18 °C

ната, съхранявани при -18° C в продължение на 10 и 25 години, са предварително подготвени преди да бъдат поставени да покълнат: темперирането на контейнерите за семена при стайна температура в продължение на 24 часа е последвано от повторно овлажняване на семената, както е описано по-рано от (Stoyanova, 2001).

Съдържанието на влага в семената преди и след определено време на съхранение е определяно по методът на ISTA (1985) със сушилня при намалена работна проба (около 3 g семена от образец).

Пробит анализ за моделиране на данни от експеримента за съхраняваните семена е използван съгласно моделите, описани за пръв път от Roberts (1973). Той се основава на линейната взаимовръзка между жизнеспособността и периода на съхранение. Наклонът на тази линия е стойността на σ и пресечната точка е (теоретичната) първоначална жизнеспособност на семената Ki (Ellis and Roberts, 1980). Взаимовръзката, използвана за изчисление, е

$\nu = Ki - p/\sigma$,

където: ν е жизнеспособността в Probit след p години на съхранение.

Продължителността на съхранение на семената (съхранимостта) е описана чрез константите за съхранение P50 и P10 според Ellis and Roberts (1980), където P50% времето, за което жизнеспособността на семената пада до 50%, а P10% е времето, за което жизнеспособността им се понижава с 10%.

Информацията за семенните образци при съхранението е поддържана като база данни за ACCESS. Необработените файлове с данни са използвани за статистически анализ чрез анализ на варианса (ANOVA) и Paired-Samples T-test, използвайки IBM SPSS Statistics 19.

for 10 and 25 years, respectively, are preconditioned before these are set to germinate: equilibration of seed containers at room temperature for 24 hours is followed by re-humidification of seeds, as described earlier from (Stoyanova, 2001).

The moisture content of seed accessions, both before and after the time of storage, is determined using oven methods of ISTA (1985) for reduced working sample (about 3 g per accession).

The Probit analysis for modelling of data from seed storage experiments is used according to the models first described by Roberts (1973). It is based on a straight line relationship between viability and storage period. The slope of this line is the value of σ and the intercept is the (theoretical) initial viability of seeds Ki (Ellis and Roberts, 1980). The relationship used for calculation is:

$\nu = Ki - p/\sigma$,

where: ν is the viability in Probit after p years in storage.

Seed longevity is described by storage constants P50 and P10 according to Ellis and Roberts (1980), where P50% is the time for viability to fall to 50% and P10% is the time for viability reduction of 10%.

The information for seed accessions in storage is maintained as ACCESS-database. The raw data files are used for statistical analysis by analysis of variance (ANOVA) and Paired-Samples T-test test using IBM SPSS Statistics 19.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Кълняемост на семена след период на съхранение при условия за дългосрочно състояние

Изследвани са семена от 7 растителни вида, съхранявани за 10 и 25 години в Националната генбанка на България. Резултатите показват, че промените в кълняемостта на семената варират значително между видовете. Открити са минимални промени в кълняемостта на семена при съхранение за образците от видовете *Sesamum indicum* L. и *Papaver somniferum* L. Разликите са незначими между кълняемостта на семената в началото на съхранението и след значителен период на съхранение както при първия контролен тест (с време на съхранение 10 години), така и при втория контролен тест (с време на съхранение 25 години). За останалите видове разликите са значими при ниво p≤0.001 според paired T-test. Най-голямо понижение на кълняемостта е регистрирано за *Arachis hypogaea* L. и *Glycine max* Merr. След 10 години съхранение средните стойности на кълняемостта на семена от фъстъци и соя спадат от 93,03% на 75,66% и от 92,79% на 86,08%, докато след 25 години съхранение от 93,03% до 69,74% и съответно от 92,79% до 81,45%. Средните проценти на кълняемост на семената от *Brassica napus* L. и *Linum usitatissimum* L. след 25 години съхранение спадат с около 7% в сравнение със средните им начални стойности. Бавно нарастване на кълняемостта на семена при *Helianthus annuus* L. се наблюдава след 10 години съхранение, но вторият контролен тест показва по-значително намаление от 92.68% до 89.41% при p≤0.001 (Таблица 1).

RESULTS AND DISCUSSION

Seed germination after period of storage under long-term condition

Seed accessions from 7 plant species stored for 10 and 25 years in the National gene bank of Bulgaria are evaluated. The results showed that changes in germination percentages varied considerably among species. Minimal changes of seed germination under storage are detected for accessions from *Sesamum indicum* L. and *Papaver somniferum* L. species. No significant differences are examined between seed germinations at the beginning of storage and after a significant time of storage in both first control test (with storage time of 10 years) and second control test (with storage time of 25years). For other species differences are significant at p≤0.001 level according to paired T-test.

The highest decrease of germination is recorded for *Arachis hypogaea* L. and *Glycine max* Merr. After 10 years of storage, the mean germination values of peanut and soybean seeds declined from 93.03% to 75.66% and from 92.79% to 86.08%, while after 25 years of storage, from 93.03% to 69.74% and from 92.79 to 81.45% respectively. The mean germination percentages of *Brassica napus* L. and *Linum usitatissimum* L. after 25 years of storage dropped by about 7% in comparison with the mean initial germination values. A slow increase of seed germination of *Helianthus annuus* L. is observed after 10 years of storage but the second control test presented a more significant decrease from 92.68% to 89.41% at p≤0.001 level (Table 1).

Таблица 1. Промени в стойностите на жизнеспособност на семена при изследваните видове в зависимост от периодът им на съхранение в Националната генбанка на България

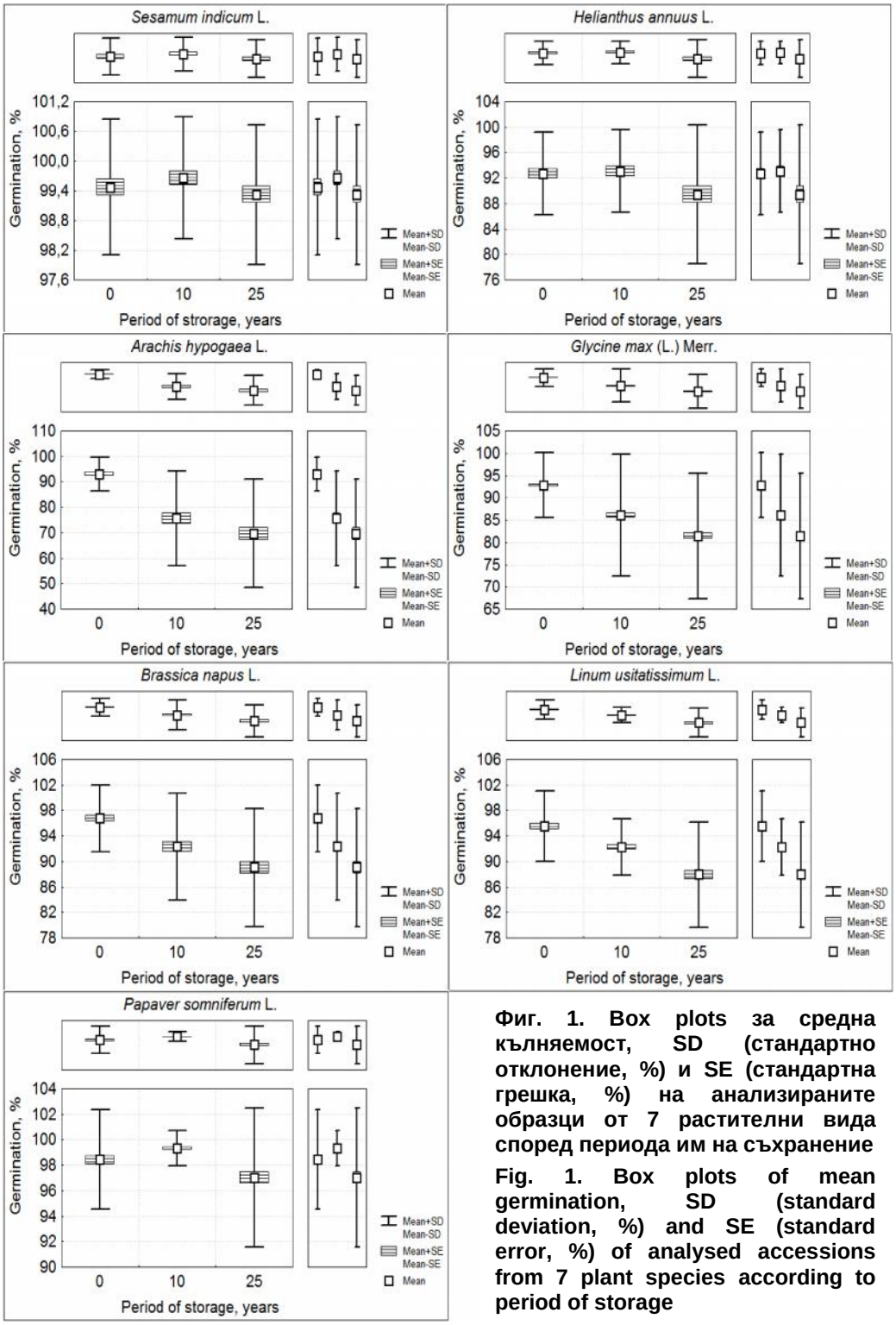
Table 1. Changes in the seed viability values of studied species depending on storage period in the National Gene bank of Bulgaria

Вид Species	Брой образци Number of accessions	Средна стойност на първоначалната кълняемост Mean value of initial germination, % ±SD	Средна стойност на кълняемостта след 10 години на съхранение Mean value of germination after 10 years of storage, % ±SD	Средна стойност на кълняемостта след 25 години съхранение Mean value of germination after 25 years, % ±SD
Sesamum indicum L.	68	99,47±1,36	99,66±1,23	99,32±1,41
Helianthus annuus L.	67	92,68±6,50	93,05±6,52	89,41±10,92***
Arachis hypogaea L.	68	93,03±6,53	75,66±18,44***	69,74±21,18***
Glycine max (L.) Merr.	578	92,79±7,26	86,08±13,62***	81,45±14,01***
Brassica napus L.	103	96,77±5,20	92,36±8,35***	89,06±9,25***
Linum usitatissimum L.	126	95,49±5,52	92,25±4,38***	87,90±8,20***
Papaver somniferum L.	124	98,43±3,90	99,32±1,38	97,02±5,42

***P≤0.001; **P≤0.01; *P≤0.05; SD-стандартно отклонение /standard deviation (%)

На Фигура 1 е представена степента на вариране между генотиповете в рамките на вида чрез разлики в стандартните отклонения (SDs), изчислени за средните стойности на кълняемостта след съхранение. По-големи разлики в кълняемостта след 10 и 25 години съхранение са регистрирани между отделните генотипове на *Arachis hypogaea* L. и *Glycine max* (L.) Merr. Както е посочено по-горе, кълняемостта на семената от фъстъци и соя намалява бързо след 25 години съхранение и техните SDs се увеличават значително, съответно от ± 6,53% до ± 21,18% и от ± 7,26% до ± 14,01% (Таблица 1 и Фигура 1). Най-големите обхвати в степента на кълняемост на семената, наблюдавани при тези два вида, се дължат на разликите в оцеляването на семена между генотипове, индуцирани както от условията преди прибирането им, така и от поддържането на семена преди и по време на съхранение (Stoyanova, 2001; Walsh et al., 2003; Pita et al., 2005; Desheva, 2016; Desheva et al., 2017).

In Figure 1 is presented the rate of variation between genotypes within the frame species by differences of standard deviations calculated for the mean values of germination after storage. More differences in germinative activity after 10 and 25 years of storage are registered between individual genotypes of *Arachis hypogaea* L. and *Glycine max* (L.) Merr. As recorded above seed germinability of peanuts and soybean declined rapidly after 25 years of storage and theirs SDs increased significantly from ±6.53% to ±21.18% and from ±7.26% to ±14.01%, respectively (Table 1 and Figure 1). The largest range in seed germination rate observed in these two species is due to differences in seed survival between genotypes induced both by pre-harvest conditions and by maintenance of seeds before and during storage (Stoyanova, 2001; Walsh et al., 2003; Pita et al., 2005; Desheva, 2016; Desheva et al., 2017).



Фиг. 1. Box plots за средна кълняемост, SD (стандартно отклонение, %) и SE (стандартна грешка, %) на анализираните образци от 7 растителни вида според периода им на съхранение

Fig. 1. Box plots of mean germination, SD (standard deviation, %) and SE (standard error, %) of analysed accessions from 7 plant species according to period of storage

Групиране на образците в рамките на вида, в зависимост от промяната в кълняемостта им след 25 периода на съхранение при условията за дългосрочно съхранение в генната банка

Групиране на образците в рамките на вида, в зависимост от промяната в кълняемостта им след 25 периода на съхранение при условията за дългосрочно съхранение в генната банка е представено в Таблица 2.

Grouping of accessions within the frame species depending on the change in germination after 25 period of storage under long-term storage in the genebank

Grouping of accessions within the frame species depending on the change in germination after 25 period of storage under long-term storage in the genebank are presented in Table 2.

Таблица 2. Групиране на образците в рамките на вида, в зависимост от промяната в кълняемостта им след 25 периода на съхранение при условията за дългосрочно съхранение в генната банка
Table 2. Grouping of accessions within the frame species depending on the change in germination after 25 period of storage under long-term storage in the genebank

Вид Species	TNA	Минимално увеличаване на кълняемостта Minimal increase of germination		Без промяна в кълняемост Withouth change of germination		Понижаване на кълняемост под 10% Decrease germination below 10%		Понижаване на кълняемост от 10 до 20% Decrease germination from 10 to 20%		Понижаване на кълняемост над 20% Decrease germination above 20%	
		NA	F	NA	F	NA	F	NA	F	NA	F
Sesamum indicum L.	68	9	0,132	45	0,662	14	0,206	0	0,000	0	0,000
Helianthus annuus L.	67	21	0,313	10	0,149	24	0,358	9	0,134	3	0,045
Arachis hypogaea L.	68	4	0,059	9	0,132	8	0,118	12	0,176	35	0,515
Glycine max Merr.	578	103	0,178	54	0,093	148	0,256	154	0,266	119	0,206
Brassica napus L.	103	8	0,078	14	0,136	48	0,466	29	0,282	4	0,039
Linum usitatissimum L.	126	13	0,103	12	0,095	54	0,429	40	0,317	7	0,056
Papaver somniferum L.	124	20	0,163	46	0,374	51	0,415	5	0,041	1	0,008

TNA-общ брой образци/total number of accessions, NA-брой образци/number of accessions, F-честота/frequencies

Честотата на генотипите с минимално увеличение на кълняемостта е най-ниска за *Arachis hypogaea* L. (0.059) и най-висока за *Helianthus annuus* L. (0.313). Честотата на семенните проби без промяна в кълняемостта са от 0,093 за образците от *Glycine max* Merr. до 0,662 за образците от *Sesamum indicum* L. Видовете от

The frequency of genotypes with minimal increase of germination rate is the lowest for *Arachis hypogaea* L. (0.059) and the highest for *Helianthus annuus* L. (0.313). The frequency of seed samples saved withouth change varied from 0.093 for accessions from *Glycine max* Merr. to 0.662 for accessions from *Sesamum indicum* L. *Brassica napus* L.,

Brassica napus L., *Linum usitatissimum* L. и *Papaver somniferum* L. имат висок % на образци, които показват понижаване в жизнеспособността на семената до 10% в сравнение с първоначалната им кълняемост, съответно 46,6%, 42,9% и 41,5%. При сусама не са регистрирани генотипове с намаление на жизнеспособността на семената с над 10% след 25 години съхранение, докато честотата на образците от фъстъците и соята с понижена кълняемост на семена над 10% е значителна.

Според Stoyanova (2010) образците, поддържащи същата кълняемост или малко по-високи ниви след периода на съхранение в генбанка, се класифицират в категорията на "съхранени без промяна". Образците с понижена жизнеспособността на семена до 10% са описани като образци с "минимална промяна". Тези две категории се считат за "успешно съхраними образци". Образците с понижена жизнеспособността на семена над 10% се описва като такива със "значителен спад". Въз основа на тази класификация и резултатите, получени от контролните тестове след 25 години съхранение, образците от изследваните видове са групирани по следния начин:

- Групата на "успешно съхранените образци" -100% от образците на *Sesamum indicum* L., 95,2% от образците на *Papaver somniferum* L., 82% от образците на *Helianthus annuus* L., 68% от образците на *Brassica napus* L., 62,7% от образците на *Linum usitatissimum* L., 52.7% от образците на *Glycine max* Merr. и 30,9% от образците на *Arachis hypogaea* L .;‘
- Гупата на образците със „значителен спад“ в жизнеността на семената- 69.1% от образците на *Arachis hypogaea* L., 47.3% от образците на *Glycine max* Merr., 37.3% от образците на *Linum usitatissimum* L., от образците на *Brassica napus* L., 18% от образците на *Helianthus annuus* L. и 4.8% от образците на *Papaver somniferum* L.

Образците в групата със „значителен спад“ в жизнеспособността на семената следва да бъдат репроду-

Linum usitatissimum L. and *Papaver somniferum* L. had high % of accessions that showed dropping in the seed viability not higher than 10% in compare with initial germination, respectively 46.6%, 42.9% and 41.5%. Sesame genotypes with decrease in seed viability above 10 % after 25 years of storage are not recorded, while the frequency of peanuts and soybean accessions with decrease seed germination above 10% are significant.

According to Stoyanova (2010) accessions maintaining the same germination rate or a slightly higher level after period of storage in genebank are classified in the category “conserved with no change”. Accessions with seed viability reduction of about 10% are described as showing “minimal change”. These two categories are considered as “successfully stored accessions“. Accessions with seed viability reduction of above 10% are described as “significant decline”. Based on this classification and the results obtained from the monitoring tests after 25 years of storage accessions from investigated species are grouped as following:

- Group of “*successfully stored accessions*“-100% of accessions from *Sesamum indicum* L., 95.2% of accessions from *Papaver somniferum* L., 82% of accessions from *Helianthus annuus* L., 68% of access. from *Brassica napus* L., 62.7% of access. from *Linum usitatissimum* L., 52.7% of access. from *Glycine max* Merr. and 30.9% of access. from *Arachis hypogaea* L.;
- Group of “*significant decline*”-69.1% of access. from *Arachis hypogaea* L., 47.3% of access. from *Glycine max* Merr., 37.3% of access. from *Linum usitatissimum* L., 32% of access. from *Brassica napus* L., 18% of accessions from *Helianthus annuus* L. and 4.8% of accessions from *Papaver somniferum* L.

Accessions in the group with significant decline of seed viability should

цирани за да се предотврати евентуална загуба на образци в бъдеще.

Прогнозиране на съхранимостта на семената след реално дългосрочно съхранение в Националната генбанка

Много са факторите, които определят продължителността на живот на семената в периода на съхранението като структурата на семената, съдържание на влага на семената, температурата, относителната влажност, началната жизнеспособност на семената, стадии на зрелост при прибиране, и първоначалното съдържание на влага на семената, постъпващи при съхранение (Probert et al. 2009; Singh et al., 2017). Malenčić et al., (1996, 2003) and Balešević-Tubić et al. (2010) предполагат, че съхранимостта на семената е генетично определена, и че съществуват значителни различия между сортове от същите култури в способността им да поддържат качеството си по време на съхранение. Според Lu et al. (2004), генетичните характеристики на видовете и средата преди съхранение са основните фактори за понижаване на жизнеспособността на семена. Представени са хипотези, свързани с химичните съставки на семената, за да се обясни разликата в продължителността на живота на видовете (Seiler, 2010). Семенните видове, които притежават високо съдържание на масло, не се съхраняват добре в сравнение с тези, които съдържат помалко (Copeland and McDonald, 1995; Nagel and Börner, 2010; Santos et al., 2016). Резултатите от Sharma (1977) ясно подчертават намаляващите тенденции в общото съдържание на масло и кълняемост на семената по време на съхранението на маслодайни видове.

Оценката на продължителността на живот на семената в това проучване се основава на стойността на σ (стандартно отклонение на семенната смъртност при съхранение), определяща периода, през който процент жизненост се намалява с един Probit, както е описано от Hong et al. (1980). Според Ellis and Roberts (1980), продължителbe regenerated to prevent possible loss of samples in the future.

Predict of seed longevity after real long-term storage in the National Gene bank of Bulgaria

Many factors determine the seed longevity during storage as seed structure, seed moisture content, temperature, relative humidity, initial viability, stage of maturity at harvest, and initial moisture content of seed entering into storage (Probert et al., 2009; Singh et al., 2017). Malenčić et al., (1996, 2003) and Balešević-Tubić et al. (2010) suggested that seed longevity is genetically determined and that significant differences exist among cultivars of same crops in their ability to maintain quality during storage.

According to Lu et al. (2004), the genetic characteristics of species and pre-storage environments are the main factors for seed viability decline. Hypotheses relating to chemical constituents of seed have been put forward to explain the variation of longevity among species (Seiler, 2010).

Seed species that possess high oil content do not store well compared to those that contain less oil (Copeland and McDonald,1995; Santos et al., 2016). The results of Sharma (1977) clearly pointed out to declining trends in total oil content and seed germination during storage of oilseed species.

The measure of seed longevity in this study is based on the σ value (standard deviation of seed death in storage), defining the period during which the percentage viability is reduced by one *Probit* as described by Hong et al. (1980).

According to Ellis and Roberts (1980), the

ността на живота на семенната партида, времето, през което всички семена са загубили жизнеспособността си, зависи от стойността на σ и от съотношението на семената, които са жизнеспособни в началото на съхранението, Ki (в Probit). Резултатите от оценката на съхранимостта за 7 маслодайни растителни вида са представени в Таблица 3.

life span of a seed-lot, the time until all the seeds have lost viability, depends on the value of σ and on the proportion of the seeds which are viable at the start of the storage, Ki (in *Probit*). Results from the assessment of *Probit* longevity for 7 oil plant species are presented in Table 3.

Таблица 3. Съхранимост на семената прогнозирана след реално дългосрочно съхранение в Националната генбанка
Table 3. Seed longevity predicted after real long-term storage in National Gene bank of Bulgaria

SPECIES	NA	SM, %	$v=K_i-1/\sigma *p$	σ, years	$P_{50\%}$, years	$P_{10\%}$, years
Sesamum indicum L.	68	3,46	v=2,739-0,008*p	125,00	342,25	184,35
Helianthus annuus L.	67	4,48	v=1,496-0,008*p	125,00	186,88	66,40
Arachis hypogaea L.	68	3,46	v=1,407-0,041*p	24,39	34,29	11,96
Glycine max (L.) Merr.	578	5,76	v=1,397-0,019*p	52,63	73,47	25,59
Brassica napus L.	103	5,45	v=1,78-0,021*p	47,62	84,71	32,79
Linum usitatissimum L.	126	4,72	v=1,67-0,019*p	52,63	87,84	32,77
Papaver somniferum L.	124	3,90	v=2,319-0,012*p	83,33	193,17	91,13

NA-брой образци/number of accessions, SM-съдържание на влага в сеената/seed moisture content, % wet basis

v- жизнеспособността в Probit след p години на съхранение; K_i – първоначална жизнеспособност на семената *в Probit/Probit* value of initial seed viability; 1/σ – измерва влошаването на семената при съхранение/measure of seed deterioration in storage; σ – стандартно отклонение на семенната смъртност при съхранение/standard deviation of seed death in storage; $P_{10\%}$ – времето в години за което жизнеспособността на семената се понижава с 10% / time in years for seed viability reduction with 10%; $P_{50\%}$ – половината от живота на семената или измерва времето до 50% жизнеспособност на семената при съхранение/seed half-life or measure of time to 50% seed viability in storage

Най-високата стойност за Ki (2.739) е отчетена за *Sesamum indicum* L., а най-ниската за *Glycine max* (L.) Merr. (1.397), следван от *Arachis hypogaea* L. (1.407). Степента на влошаване на семена (1/σ) варира между -0.008 и -0.041. Тя е най-висока за *Arachis hypogaea* L. (-0.041) и най-ниска съответно за *Sesamum indicum* L. и *Helianthus annuus* L. (-0.008). Сусамовите и слънчогледовите семена имат σ стойности над 100 години (σ=125 години). Фъстъците, рапицата, соята, лена и маковите култури имат σ стойности между 24.39 и 83.33 години (Таблица 3). Резултатите потвърждават, че продължителността на семената варира между видовете. Много автори посочват, че съхранимостта вари-

The highest K_i value (2.739) is recorded for *Sesamum indicum* L., while the lowest for *Glycine max* (L.) Merr. (1.397), following from *Arachis hypogaea* L. (1.407). The rate of seed deterioration (1/σ) varied between -0.008 and -0.041. It is the highest for *Arachis hypogaea* L. (–0.041) and the lowest for *Sesamum indicum* L. and *Helianthus annuus* L. (–0.008), respectively. Sesame and sunflower seeds had σ values above 100 years (σ=125 years). Peanuts, rape, soybean, flax and poppy seeds had σ values between 24.39 and 83.33 years (Table 3). The results confirm that seed longevity varied among species. Many authors also indicated for seed longevity

рane между семействата, генотипите, в партидите на семената и дори между отделните семена вътре в една и съща торба и зависят от условията на съхранение (Walters et al 2005; Nagel et al.,2009; Probert et al., 2009; Nagel and Börner, 2010; Nagel et al., 2010; van Treuren et al., 2013; Ho-Sun et al., 2013). Установени са големи различия по отношение на видовете, както за времето, необходимо за намаляване на жизнеспособността до 50%, така и за времето за намаляване на жизнеспособността на семена с 10%. P50% варира от 34.29 години до 342.25 години. Изчисленото безопасно време за съхранение (P10%) е най-краткото за *Arachis hypogaea* L. (11.96 години) и най-дълго за *Sesamum indicum* L. (184.35 години). Съгласно резултатите, представени в Таблица 3, при описаните с най-къса съхранимост растителни видове (*Arachis hypogaea* L. и *Glycine max* Merr.) контролните проверки следва да се извършат не по-късно от 10 за фъстъците и 20 година за соята от началото на съхранение. Времето за безопасно съхранение (P10%) за *Brassica napus* L. и *Linum usitatissimum* L. е удължено до 32 години, докато за *Helianthus annuus* L. е около 60 години или повече. Прогнозираните средни срокове за безопасно съхранение на *Papaver somniferum* L. са над 100 години, докато за растителния вид, описан с най-дълга продължителност на живот (*Sesamum indicum* L.), е над 180 години.

Резултатите от това изследване ще допълнят базата данни за съхранение на семена и ще послужат за формиране на модели за планиране на нуждите от репродуциране на образците.

variation among families, genotypes, seed lots, and even among individual seeds inside the same bag and depend on the storage conditions (Walters et al. 2005; Nagel et al. 2009; Probert et al. 2009; Nagel and Börner 2010; Nagel et al., 2010; van Treuren et al. 2013; Ho-Sun et al. 2013). There are wide variations across species in both the time taken for viability to fall to 50% and the time for seed viability reduction by 10%. $P_{50\%}$ ranged from 34.29 years to 342.25 years. The calculated safe storage time (P10%) is the shortest for *Arachis hypogaea* L. (11.96 years) and the longest for *Sesamum indicum* L. (184.35 years). According to the results presented in Table 3 plant species described with shortest longevity (*Arachis hypogaea* L. and *Glycine max* Merr.), should not be monitored later than 10 years for peanuts and 20 years for soybean from the beginning of storage, respectively. The safe storage time (P10%) for *Brassica napus* L. and *Linum usitatissimum* L. is prolonged to 32 years, while for *Helianthus annuus* L. is about 60 years or more. The predicted mean safe storage times for *Papaver somniferum* L. are above 100 years, while for plant species described with longest longevity (*Sesamum indicum* L.) is above 180 years.

The results of this study will complement the database for the seed storability and will serve to form enriched patterns for need planning from regeneration.

ИЗВОДИ

Резултатите от мониторинга на 1,134 семена от 7 растителни вида след 10 и 25 години съхранение показват значителни разлики в загубата на жизнеспособност на семената между видовете и в рамките на вида. По-големи разлики в кълняемостта са регистрирани между отделните генотипове на *Arachis*

CONCLUSIONS

The results of monitoring of 1,134 seed accessions from 7 plant species after 10 and 25 years of storage showed significant differences in loss of seed viability among species and within the species. More differences in germinative activity are registered between individual genotypes of *Arachis hypogaea* L. and

hypogaea L. и *Glycine max* (L.) Merr. Общо 5 от оценените култури (фъстъци, соя, рапица, лен и мак) се характеризират с кратък жизнен цикъл след реално дългосрочно съхранение в Националната генбанка на България (σ <100 години). Най-дълга съхранимост имат слънчогледа и сусама. Установени са големи различия между видовете, както за времето, необходимо за намаляване на жизнеспособността на семената им до 50%, така и за времето за намаляване на жизнеспособността на семената с 10%. P50% варира от 34.29 години до 342.25 години. Изчисленото безопасно време за съхранение (P10%) е най-кратко за *Arachis hypogaea* L. (11.96 години) и най-дълго за *Sesamum indicum* L. (184.35 години). Предсказването на честотата на контролните тестове за изследваните видове и тяхната класификация според периода на безопасно съхранение при условията на Националната генетична банка ще бъде от съществено значение за създаване на модел за мониторинг чрез формиране на "филтър за застрашените образци", за да се предвиди необходимостта от рпроуциране. Това ще бъде гаранция за предвидимост на резултатите от съхранението в генбанката за продължителен период от време.

Glycine max (L.) Merr. Generally, 5 of the evaluated crops (peanuts, soybean, rape, flax and poppy) are characterized with short life span after real long-term storage in National Gene bank of Bulgaria (σ < 100 years). The longest storability had sunflowers and sesame. There are also wide variations across species in both the time taken for viability to fall to 50% and the time for seed viability reduction by 10%. P50% ranged from 34.29 years to 342.25 years.

The calculated safe storage time (P10%) is the shortest for *Arachis hypogaea* L. (11.96 years) and the longest for *Sesamum indicum* L. (184.35 years). Predicting the frequency of control test for the investigated species and their classification according to the safe storage period under the conditions of the National genebank will be essential in create a monitoring model through forming a "filter for the endangered accessions" to predict the need for regeneration. This will be the guarantee for predictability of storage results in the genbank for an extended period of time.

БЛАГОДАРНОСТИ

Благодарим на проф. дсн Сийка Стоянова за дългогодишната ú работа като ръководител на Националната генбанка в България, както и на всички членове от персонала, които са работили в Националната генна банка на България от 1978 г. до днес.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank Prof. Siyka Stoyanova for her long years of work as head of the National Genebank of Bulgaria and all staff members who have worked in it since 1978.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. **Balešević-Tubić, S., M. Tatić, V. Đorđević, Z. Nikolić and V. Đukić**, 2010. Seed viability of oil crops depending on storage conditions. *Helia*, 33(52), 153-160.
2. **Clerkx, E. J. M., H. Blankestijn-De Vries, G. J. Ruys, S. P. C. Groot and M. Koornneef**, 2004. Genetic differences in seed longevity of various Arabidopsis mutants. *Physiologia Plantarum*, 121, 448-461.
3. **Copeland, L. O. and B. M. McDonald**, 1995. Seed viability testing. In principles of seed science and technology (3rdEd), Chapman and Hall, New York, 111-126.
4. **Copeland, L. O. and M. B. McDonald**, 2001. Principles of seed science and technology, 4th. Massachusetts, USA: *Kluwer Academic Publishers*, 190-230.

5. **Debeaujon, I., K. M. Leon-Kloosterziel and M. Koornneef**, 2000. Influence of the testa on seed dormancy, germination, and longevity in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 122, 403-413.
6. **Desheva, G.**, 2016. The longevity of crop seeds stored under long-term condition in the national gene bank of Bulgaria. *Agriculture (Poľnohospodárstvo),* 62(3), 90-100.
7. **Desheva, G., S. Petrova and M. Deshev**, 2017. Germinability of soybean seeds stored more than 30 years in the Bulgarian national seed genebank. *World Scientific News, 69, 29-46.*
8. **Ellis, R. H. and E. H. Roberts**, 1980. Improved equations for the prediction of seed longevity. *Annals of Botany,* 45, 13-30*.*
9. **Ellis, R. H., T. D. Hong and E. H. Roberts**, 1985a. Handbooks for genebanks 2. *Handbook of seed technology for genebanks Vol. I: Principles and methodology*. Rome, Italy: International Boards for Plant Genetic Resources, 210.
10. **Ellis, R. H., T. D. Hong and E. H. Roberts**, 1985b. Handbooks for genebanks 3. *Handbook of seed technology for genebanks, Vol. II : Compendium of specific germination information and test recommendations*. Rome, Italy: International Boards for Plant Genetic Resources, 456.
11. FAO, Genebank Standards. 1994. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
12. **Hanson, J.**, 1985. Practical Manuals for Genebanks. Rome, IBPGR, 115.
13. **Hay, F. R. and K. J. Whitehouse**, 2017. Rethinking the approach to viability monitoring in seed genebanks. *Conservation Physiology*, *5*(1), 1-13.
14. **Ho-Sun, L., J. Young-Ah, L. Young-Yi, L. Sok-Young and K. Yeon-Gyu**, 2013. Comparison of seed viability among 42 species stored in a genebank. *Korean Journal Crop Science,* 58(4), 432-438.
15. ISTA, 1985. International rules for seed testing. In: *Seed Science and Technology*, 13, 299-355.
16. **Kausar, M., T. Mahmood, S. M. A. Basra and M. Arshad**, 2009. Invigoration of low vigor sunflower hybrids by seed priming. *International Journal of Agriculture and Biology,* 11, 521-528.
17. **Lu, X., X. Chen and C. Cui**, 2004. Germination ability of seeds of 23 crop plant species after a decade of storage in the National Gene Bank of China. *Plant Genet Resources Newsletter*, *139*, 42-46.
18. **Malenčić, Đ., M. Popović, J. Miladinović**, 2003. Stress tolerance parameters in different genotypes of soybean. *Biology Plantarum*, 46, 141-143.
19. **Milošević, M., I. Mihaljev, P. Dokić, M. Ćirović**, 1996. *Seed science*, Feljton, Novi Sad, 148-151.
20. **Nagel, M. and A. Börner**, 2010. The longevity of crop seeds stored under ambient conditions. *Seed Science Research*, 20, 1-12.
21. **Nagel, M., H. Vogel, S. Landjeva, G. Buck-Sorlin, U. Lohwasser, U. Scholz and A. Börner**, 2009. Seed conservation in ex situ genebanks – genetic studies on longevity in barley. *Euphytica*, 170, 5-14.
22. **Nagel, M., M. Rosenhauer, E. Willner, R. J. Snowdon, W. Friedt and A. Borner**, 2011. Seed longevity in oilseed rape (*Brassica napus* L.) – genetic variation and QTL mapping. Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization, 9(2), 260-263.
23. **Nagell, M., M. A. R. Arif, M. Rosenhauer and A. Börner**, 2010. Longevity of seeds – intraspecific differences in the Gatersleben genebank collections. *Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkauflfleute Österreichs,* 179-182.

24. **Pérez-García, F., C. Gómez-Campo, and R. H. Ellis**, 2009. Successful long-term ultra dry storage of seed of 15 species of Brassicaceae in a genebank: Variation in ability to germinate over 40 years and dormancy. *Seed Science and Technology*, 37, 640-649.
25. **Pita, J. M., Martinez, J. B. Laborde, E. Zambrana and C. De La Cuarda**, 2005. Germinability of Vicia sativa L. seeds after 10 years of storage in a base collection. *Genetic Resources and Crop Evolution, 52*, 513-517.
26. **Probert, R. J., M. I. Daws and F. R. Hay**, 2009. Ecological correlates of ex situ seed longevity: a comparative study on 195 species. *Annals of Botany*, 104, 57-69.
27. **Roberts, E. H. dnd R. H. Ellis**, 1982. Physiological, ultra structural and metabolic aspects of seed viability, In A. A. Khan, (Ed) The Physiology and biochemistry of seed development dormancy and germination, Amsterdam, Elsevier Biomedical Press, 465-485.
28. **Roberts, E. H.**, 1973. Predicting the storage life of seeds. *Seed Science and Technology*, 1, 499-514.
29. **Ruiz, M., I. Martin and C. Cuadra**, 1999. Cereal seed viability after 10 years of storage in active and base germplasm collections. *Field Crops Research*, 64, 229-236.
30. **Santos, H. O., M. L. M. de Carvalho, C. M. Caldeira, S. V. B. Coelho, E. V. de R. Von Pinho and J. A. Oliveira**, 2016. Physiological and biochemical aspects of castor beans seeds deterioration stored in different packaging conditions and temperatures. *Journal of Seed Science*, 38(3), .241-247.
31. **Sastry, D. V. S. S. R, H. D. Upadhyaya and C. L. L. Gowda**, 2008. Seed viability of active collections in ex-situ genebanks: an analysis of sorghum germplasm conserved at ICRISAT genebank. *Journal of SAT Agricultural Research,* 6, 1-8.
32. **Seilerg, J.**, 2010. Germination and viability of wild sunflower species achenes stored at room temperature for 20 years. *Seed Science and Technology,* 38, 786-791.
33. **Singh, J., S. Paroha and R. P. Mishra**, 2017. Factors affecting oilseed quality during storage with special reference to soybean (*Glycine max*) and niger (*Guizotia abyssinica*) seeds. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences,* 6(10), 2215-2226.
34. **Stoyanova, S. D.**, 2001. *Ex situ* conservation in the Bulgarian genebank. I. Effect of storage. *PGR Newsletter*, *128*, 68-76.
35. **Stoyanova, S.**, 2010. Effect of seed drying on seed viability under long-term storage conditions in the Bulgarian National Genebank. *Agricultural Sciences, 2(3*), 33-38.
36. **Van Treuren, R., E. C. de Groot and J. L. van Hintum**, 2013. Preservation of seed viability during 25 years of storage under standard genebank conditions. *Genetic Resources Crop Evaluation*, 60, 1407-1421.
37. **Walsh, D. G. F, S. Waldren and J. R. Martin**, 2003. Monitoring seed viability of fifteen species after storage in the Irish threatened plant genebank. *Biology and environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*, 103B (2), 59-67.
38. **Walters, C., L. M. Wheeler and J. M. Grotenhuis**, 2005. Longevity of seeds stored in a genebank: species characteristics. *Seed Science Research*, 15, 1-20.

Journal of Mountain Agriculture on the Balkans, 2018, 21 (3), 328-344
Research Institute of Mountain Stockbreeding and Agriculture, Troyan
ISSN 1311-0489 (Print)
ISSN 2367-8364 (Online)

Влияние на засоляването с NaCl върху кълняемостта и началният растеж на кълн и корен при сусамови семена

Манол Дешев*, Гергана Дешева, Станислав Стаматов, Божидар Кьосев

Институт по Растителни Генетични Ресурси "Константин Малков", 4122 Садово, България

The effect of NaCl salinity on germination and seedling growth of sesame seeds

Manol Deshev*, Gergana Desheva, Stanislav Stamatov, Bozhidar Kyosev

Institute of Plant Genetic Resources "Konstantin Malkov", 4122 Sadovo, Bulgaria

**E-mail: manol_deshev@abv.bg*

Received: 16.04.2018 *Accepted:* 01.10.2018 *Published:* 08.11.2018

РЕЗЮМЕ

Целта на проучването е да се определи влиянието на солевия стрес с NaCl върху характеристиките на кълняемост и растежа на прорастъците при 5 български сорта сусам- Невена, Айда, Милена, Садово 1 и София. Използвани са 5 различни концентрации на NaCl (25, 50, 100, 125 and 150 mM), а като контрола дейонизирана вода. За установяване толерантността към засоляване са проучени следните характеристики свързани с кълняемостта - кълняема енергия (%), кълняемост (%), коефициент на скорост на покълняване (% day^{-1}), индекс на покълняване и средно време за покълняване (day). Дължината на кълн и корен (cm), свежо и сухо тегло на кълн и корен са измерени на десетият ден от покълняването. Изчислени са индексите на жизненост и на толерантност към засоляване. Установени са фенотипните корелационни връзки между проучваните показатели. Не е установено влияние на пови-

SUMMARY

The aim of study is to determine the effect of NaCl salinity stress on germination characteristics and seedling growth of 5 Bulgarian sesame cultivars - Nevena, Aida, Milena, Sadovo 1 and Sofia. Five different concentrations of NaCl (25, 50, 100, 125 and 150 mM) are used as treatments and deionized water is used as control. To determine the salinity tolerance, the following germination characteristics - germination energy (%), germination percentage (%), coefficient of velocity of germination (% day^{-1}), germination rate index and mean germination time (day) are studied. The data for the shoot and root length (cm), fresh weight (mg plant^{-1}) of shoot and root and dry weight (mg plant^{-1}) of shoot and root are measured ten days after germination. Vigour index and salt tolerance index are also calculated. Correlations between investigated

шаването на концентрацията на NaCl върху кълняемата енергия и кълняемостта на семената от сусам. С увеличаване на солевата концентрация от 0 до 150 mM NaCl се удължава средното време за покълняване на семената. Увеличаването на солевата концентрация оказва инхибиращо влияние върху началният растеж на кълна и корена. Сорт София е най-толерантен към засоляване в началните етапи на растеж на кълна и корена, а най-чувствителен е сорт Милена.

Ключови думи: сусам (*Sesamum indicum* L.), кълняемост, засоляване, растеж на кълн и корен

Съкращения: GE – кълняема енергия (%), G – кълняемост (%), (CVG) - коефициент на скорост на покълване (% day^{-1}), GRI - индекс на покълване, MGT - средно време за покълване (day), VI - индекс на жизненост, LSh - дължината на кълн (cm), LR - дължина на корена (cm), R/Sh - съотношение корен/кълн (cm), FWSh - свежо тегло на кълн (g), FWR - свежо тегло на корен, DWSh - сухо тегло на кълн (g), DWR - сухо тегло на корен.

characters are determined. The effect of increasing NaCl levels on germination energy and final germination percentages are not recorded. Increasing salinity concentration from 0 to 150 mM NaCl prolonged mean germination time. Increasing salt concentration had an inhibitory effect on the initial seedling growth. Sofia cultivar is the most tolerant at seedling growth stage and Milena is the most sensitive variety.

Key words: sesame (*Sesamum indicum* L.), germination, salinity, seedling growth

***Abbreviation*:** GE - germination energy (%), G - germination percentage (%), CVG - coefficient of velocity of germination (% day^{-1}), GRI - germination rate index, MGT - mean germination time (day), VI - Vigour index, LSh - length of shoot (cm), LR - length of root (cm), R/Sh - root/shoot ratio (cm), FWSh - fresh weight of shoot (g), FWR - fresh weight of root (g), DWSh - dry weight of shoot (g), DWR - dry weight of root (g).

УВОД

Сусамът е важна маслодайна култура. Сусамовото семе има отлична хранителна стойност с висок и уникален протеинов състав, което го прави почти съвършена храна (Dalia, 2001; Gaballah et al., 2007). Сусамът е адаптивен към редица видове почви, въпреки че оптималните за развитието му условия са при добре изцедени, плодородни почви с добра структура (обикновено пясъчно-глинеста почва) при неутрално pH. Култивираният сусам среща редица стресови фактори, включително соленост, суша, напояване и охлаждане. Сортовете сусам показват значителни разлики в степента им на толерантност към сол (Yahya, 1998). Различни проучвания показват, че сусамът е чувствителен към соленост (Rhoades et al., 2000, Suassuna, 2013, Dias et al., 2017). Koca et al. (2007) наблюдават отрицателни ефекти на солеността (50 и 100 mM) върху биохимичната и анти-

INTRODUCTION

Sesame is an important oil seed crop. The sesame seed has excellent nutritional value having high and unique protein composition making them a nearly perfect food (Dalia, 2001; Gaballah et al., 2007). Sesame is adaptable to a range of soil types, although it performs well in well-drained, fertile soils of medium texture (typically sandy loam) at neutral pH.

Cultivated sesame encounters a number of stress factors including salinity, drought, waterlogging, and chilling. Sesame cultivars show significant variation in the degree of salt tolerance (Yahya, 1998). Various studies have indicated the sesame crop to be sensitive to salinity (Rhoades et al., 2000; Suassuna, 2013; Dias et al., 2017). Koca et al. (2007) observed the negative effects of salinity (50 and 100 mM) on the biochemical and antioxidant defense

оксидантна защитна система на сусама и следователно върху растежа. Те откриват, че някои сусамени сортове показват значително намаляване на дължината на корените и на кълновете, докато липидната пероксидация се увеличава в отговор на соленост. Освен това е наблюдавано, че параметрите на растежа, липидната пероксидация и натрупването на пролин са в положителна корелация с толерантността на към сол (Matysik et al., 2002). Има съобщения сочещи, че сусама е умерено толерантен към солевия стрес (Bahrami и Razmjoo, 2012). Bazrafshan и Ehsanzadeh (2014) съобщават, че растенията при покълняване и начален стадий на растеж понасят по-високи нива на соленост, и че е наблюдавано вари-ране между сусамовите генотипове. Спо-ред Mahmood et al. (2003), сусамовите растения с висока толерантност към физиологичен стрес в началните фази също могат да бъдат по-толерантни в стадия на възрастни растения.

Покълването на семена е основен процес в развитието на растенията, за да се получат оптимален брой прорастъци, което води до по-висок добив на семена (Houle et al., 2001, Ashraf and Foolad, 2005, Sanchez et al., 2014, Tabatabaei and Naghibalghora, 2014). Солеността като цяло забавя или предотвратява покълването на семена и създаването на прорастъци. Понижаването на кълняемостта в солените почви в повечето случай се влошава от движението на солевия разтвор в почвената повърхност поради изпаряване. Кълняемостта и индексът на растеж на растенията са два от най-важните критерия за отбор на толерантни сортове (Bybordi, 2010).

Целта на изследването е да се определи влиянието на солевия стрес върху характеристиките на кълняемост и растежа на прорастъците при 5 сорта сусам.

system of sesame, and consequently on growth. They found that some sesame cultivars showed considerable reduction in root and shoot lengths, while lipid peroxidation is increased in response to salinity. Moreover, it is observed that growth parameters, lipid peroxidation, and proline accumulation are positively correlated with the salt tolerance of sesame (Matysik et al., 2002). There is report pointing to it being moderately tolerant to salt stress (Bahrami and Razmjoo, 2012). Bazrafshan and Ehsanzadeh (2014) reported that plants at germination and initial growth stages tolerate higher salinity levels, and variability has been observed between sesame genotypes. According to Mahmood et al. (2003), sesame plants with high tolerance to saline stress in initial phases can also be more tolerant during adult stage.

Seed germination is an essential process in plant development to obtain optimal seedling numbers that result in higher seed yield (Houle et al., 2001; Ashraf and Foolad, 2005; Sanchez et al., 2014; Tabatabaei and Naghibalghora, 2014). Salinity generally delays or prevents seed germination and seedling establishment. Reduction of germination in saline soils mostly is aggravated by movement of saline solution to soil surface due to evaporation. Germination and plantlet growth indices (e.g., percentage and vigour) are two of the most important criteria for selection of tolerant cultivars (Bybordi, 2010).

The aim of study is to determine the effect of salinity stress on germination characteristics and seedling growth of 5 sesame cultivars.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

Използвани са семена от 5 български сорта сусам - Невена, Аида, Милена, Садово 1 и София. Семената са повърхностно стерилизирани чрез

MATERIAL AND METHODS

Seeds of five Bulgarian sesame cultivars: Nevena, Aida, Milena, Sadovo 1 and Sofia are used. The seeds are surface sterilized by dipping the seeds in

потапянето им в 30% разтвор на етанол в продължение на 3 минути и изплакване старателно с дестилирана вода и въздушно-сухо изсушени, преди да бъдат използвани в тестовете за покълване, за да се избегнат всякакви гъбични атаки. За третиране са използвани пет различни концентрации на NaCl (25, 50, 100, 125 и 150 mM), а като контрола е използвана дейонизирана вода. За всеки вариант от опита са заложени по две повторения от по 25 семена за покълване между рулони филтърна хартия (Grade FT 55) с 20 ml от съответните тествани разтвори. Хартията е заменяна на всеки 2 дни, за да се предотврати натрупването на соли (Rehman et al., 1996).

Хартиените рулони със семена са поставени в запечатани пластмасови торбички, за да се избегне загубата на влага. Семената са поставени да покълнат при 25 ± 1 °C на тъмно в продължение на 10 дни. Семената се считат за покълнали, когато кълнът е прораснал най-малко 1 mm. Броят на покълналите семена се записва ежедневно, докато се постигне постоянен брой. От броя на покълналите семена са изследвани няколко характеристики включващи кълняема енергия (%) като първо броене след 3 дни (GE, %), кълняемост (%) като крайно броене след 6 дни (G%), коефициент на скорост на покълняване (CVG, % day^{-1}), индекс на покълняване (GRI) и средно време на покълняване (MGT, day). Коефициентът на скоростта на покълняване (CVG,% day^{-1}) е изчислен според Kader и Jutzi (2004). Индексът на покълняване (GRI,% day^{-1}) и средното време на покълняване (MGT, day) се изчисляват по формулата на Kader (2005).

Данните за дължината на кълн и корен (cm) (LSh и LR), свежо тегло (g) на кълн и корен (FWSh и FWR) и сухо тегло (g) на кълн и корен (DWSh и DWR) са измерени на десетият ден след покълняването. Сухите тегла са определени след изсушаване при 80° C в продължение на 24 часа в сушилна.

Жизнения индекс на семена (VI) се определи по уравнението на Florez et al. (2007). Толерантността към засо-

30% etanol solution for 3 minutes and rinsed thoroughly with distilled water and air-dried before being used in the germination tests to avoid any fungal attacks.

Five different concentrations of NaCl (25, 50, 100, 125 and 150 mM) are used as treatments and deionized water is used as the control. For each variant of the experiment, two replicates of 25 seeds are germinated between rolled filter paper (Grade FT 55) with 20 ml of respective test solutions. The papers are replaced every 2 days to prevent accumulation of salts (Rehman et al., 1996).

The rolled paper with seeds is put into sealed plastic bags to avoid moisture loss. Seeds are allowed to germinate at 25±1 °C in the dark for 10 days. Seeds are considered germinated when radicle had extended at least 1 mm. The number of germinated seeds is recorded daily until a constant count is achieved. From the germination counts several germination characteristics are studied including germination energy (%) as first count after 3 days (GE), germination percentage (%) as final count after 6 days (G, %), coefficient of velocity of germination (CVG, % day^{-1}), germination rate index (GRI), and mean germination time (MGT, day). Coefficient of velocity of germination (CVG, % day^{-1}) is calculated according to Kader and Jutzi (2004). Germination rate index (GRI, % day^{-1}) and mean germination time (MGT, day) are calculated according to the formula of Kader (2005).

The data for the shoot and root length (cm) (LSh and LR), fresh weigh (g) of shoot and root (FWSh and FWR) and dry weight (g) of shoot and root (DWSh and DWR) are measured ten days after germination. Dry weights are measured after drying at 80°C for 24 h into an oven.

In order to determine the seed vigour index (VI), equation from Florez et al. (2007) is used. Salt tolerance is

ляване се изчислява по формулата, дадена от Mujeeb-ur-Rahman et al. (2008).

Данните са анализирани чрез вариационен анализ (ANOVA) и Duncan's multiple test (Duncan, 1955). Анализът на варианса е изчислен по рандомизиран блоков дизайн с два фактора: генотип и третиране с NaCl (соленост). За да се оцени степента на влияние на генотипа и третирането (солеността) върху различните характеристики на покълване и характеристики на проастъка е приложен методът, описан от Plochinskii (1970).

Фенотипните корелации са изчислени чрез използване на фенотипните варианси и ковариансии (Lidansky, 1988). Статистическите анализи са извършени чрез статистическата програма SPSS 19.0.

calculated by the formula given from Mujeeb-ur-Rahman et al. (2008).

Data are analyzed by analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test (Duncan, 1955). The analysis of variance is calculated according to randomized complete block design with two factors: genotype and treatment (salinity). To estimate the degree of genotype and treatment (salinity) influence on different germination and seedling characteristics is applied method described by Plochinskii (1970).

Phenotypic correlations are calculated by using of phenotypic variances and covariance (Lidansky, 1988). Statistical analyses are performed using the statistical program SPSS 19.0.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Характеристики на покълняване

Резултатите от двуфакторния анализ на варианса показва, че влиянието на генотип, засоляване и взаимодействието генотип X засоляване за характеристиките на покълняване – коефициент на скорост на покълняване (CVG, % day^{-1}), индекс на покълняване (GRI, % day^{-1}) и средно време за покълняване (MGT, day) са значими. Най-силно влияние върху кълняемата енергия и кълняемостта има генотипа, съответно 44,33% и 37,29%, докато най-малко влияние има третирането с NaCl, съответно 2.94% и 5.72% (Таблица 1). Ефект от повишаване на нивата на NaCl върху кълняемата енергия и кълняемостта не са отчетени (Таблица 2). Третирането с NaCl има най-силно влияние върху коефициента на скорост на покълняване (CVG, % day^{-1}), индексът на покълняване (GRI, % day^{-1}) и средно време на покълняване (MGT, day), съответно 64.85%, 55.83% и 62.27% (Таблица 1).

RESULTS AND DISCUSSION

Germination characteristics

The results of two-way analysis of variance showed that the effect of genotype, salinity and genotype x salinity interaction are significant for the germination characteristics - coefficient of velocity of germination (CVG, % day^{-1}), germination rate index (GRI, % day^{-1}), and mean germination time (MGT, day). The strongest individual influence for germination energy and final germination had genotype, respectively 44.33%, and 37.29% (Table 1), while the lowest influence had treatment with NaCl, respectively 2.94% and 5.72%. The effect of increasing NaCl levels on germination energy and final germination percentages are not recorded (Table 2). The treatments with NaCl had the strongest influence on the coefficient of velocity of germination (CVG, % day-1), germination rate index (GRI, % day-1), and mean germination time (MGT, day), respectively 64.85%, 55.83% and 62.27% (Table 1).

Таблица 1. Анализ на варианса за показателите кълняемата енергия (GE, %), кълняемост (G, %), коефициент на скорост на покълняване (% day^{-1}), GRI - индекс на покълняване, MGT - средно време за покълняване (дни)
Table 1. Analysis of variance for the characteristics germination energy (GE, %), germination percentage (G, %), coefficient of velocity of germination (CVG, % day^{-1}), germination rate index (GRI, % day^{-1}), and mean germination time (MGT, day).

Източници на вариране Source of Variation		***Средно квадратно отклонение/Mean square***				
	df	***GE***	***G***	***CVG***	***GRI***	***MGT***
Генотип/Genotype	4	203,43***	50,63***	65,41**	15,38***	0,03*
Соленост/Salinity	6	8,99ns	5,18ns	692,85***	49,68***	0,41***
Взаймодействие/Interaction	24	10,90ns	5,56ns	60,97***	4,75**	0,04***
Степен на влияние/Degree of influence, %						
Генотип/Genotype	4	44,39	37,29	4,08	11,52	3,50
Соленост/Salinity	6	2,94	5,72	64,85	55,83	62,27
Взаймодействие/Interaction	24	14,26	24,58	22,83	21,34	25,16

** Значимост при ниво на вероятност 0.01%, съгласно F-test / Significant at the 0.01 probability level according to F-test,
*** Значимост при ниво на вероятност 0.001%, съгласно F-test / Significant at the 0.001 probability level according to F-test,
ns Недоказано съгласно F-test / Not significant according to F-test

CVG дава индикация за скоростта на покълняване. Той нараства, когато броят на покълналите семена се увеличава, а времето, необходимо за покълняване, намалява (Kader and Jutzi, 2004). GRI отразява процента на покълнали семена за всеки ден от периода на покълняване. По-високите стойности на GRI показват по-високо и по-бързо покълняване (Kader, 2005). При по-ниски стойности на MGT, семената покълняват по-бързо (Kader, 2005). В нашето изследване приложението на увеличаващ се солеви стрес има значителен отрицателен ефект върху коефициента на скорост на покълняване (CVG,% day^{-1}) и индексът на покълняване (GRI,% ден-1) (Таблица 2). Най-високи CVG и GRI са отбелязани при контролните варианти и с повишаване на нивата на соленост тези характеристики намаляват. Значителни разлики са установени между сортовете при 50 mM NaCl за CVG и GRI. CVG е най-висок за Sofia и най-нисък за Milena (Таблица 2).

The CVG gives an indication of the rapidity of germination. It increases when the number of germinated seeds increases and the time required for germination decreases (Kader and Jutzi, 2004). The GRI reflects the percentage of germination on each day of the germination period. Higher GRI values indicate higher and faster germination (Kader, 2005). The lower MGT, the faster a population of seeds has germinated (Kader, 2005). In our study the application of increasing salt stress had substantial negative effects on the coefficient of velocity of germination (CVG, % day^{-1}) and germination rate index (GRI, % day^{-1}) (Table 2). The highest CVG and GRI are noted in control variants and with increasing of salinity levels these characteristics are reduced. Significant differences are found among cultivars at 50mM NaCl for CVG and GRI. CVG is the highest for Sofia and the lowest for Milena (Table 2).

Таблица 2. Влияние на различните нива на соленост върху характеристики на покълване при 5 сорта сусам
Table 2. Effects of different salinity levels on germination characteristics of five sesame varieties

Сорт Cultivars	Нива на соленост/Salinity levels						
	0 mM NaCl	25 mM NaCl	50 mM NaCl	75 mM NaCl	100 mM NaCl	125 mM NaCl	150 mM NaCl
Кълняема енергия/Germination energy, %							
Nevena	92a	96a	94ab	100b	92a	96a	92a
Aida	92a	86a	92a	90a	88a	90a	86a
Milena	94ab	98a	98c	96b	98a	98a	100a
Sadovo 1	100c	98a	98c	98b	96a	98a	94a
Sofia	96b	100a	96ab	100b	98a	100a	100a
Means	94,80	95,60	95,60	96,80	94,40	96,40	94,40
Кълняемост/Germination, %							
Nevena	94ab	96ab	94a	100b	94a	96a	94a
Aida	92a	94a	94a	94a	96a	94a	94a
Milena	96b	98ab	98a	96ab	98a	98a	100b
Sadovo 1	100c	98ab	98a	98ab	96a	98a	96ab
Sofia	96b	100b	96a	100b	98a	100a	100b
Means	95,60	97,20	96,00	97,60	96,40	97,20	96,80
Коефициент на скорост на покълване /Coefficient of velocity of germination, % day^{-1}							
Nevena	78,94b	58,23a	70,76bc	66,67a	57,50a	50,06a	51,82a
Aida	63,54a	58,69a	63,02b	56,45a	56,74a	52,33a	53,05a
Milena	85,51b	64,40a	49,48a	65,86a	58,51a	59,82c	52,08a
Sadovo 1	80,72b	65,78a	60,51b	62,89a	53,12a	52,27a	50,55a
Sofia	77,41b	64,88a	73,86c	58,40a	60,31a	56,24bc	52,17a
Means	77,23	62,40	63,53	62,06	57,24	54,15	51,94
Индекс на покълване/Germination rate index							
Nevena	19,50b	15,58a	18,50bc	18,75a	14,83ab	13,33a	12,75a
Aida	15,91a	14,16a	16,41b	14,91a	13,50a	12,91a	12,25a
Milena	21,50bc	17,16a	13,66a	17,75a	15,50ab	16,58b	13,83a
Sadovo 1	22,33c	18,16a	16,50b	17,25a	14,91ab	14,08ab	12,33a
Sofia	20,66bc	17,58a	19,91c	14,75a	16,75b	15,25ab	13,83a
Means	19,98	16,53	17,00	16,68	15,10	14,43	13,00
Средно време за покълване/Mean germination time, day							
Nevena	1,26a	1,71a	1,42ab	1,50a	1,74a	1,99b	1,93a
Aida	1,58b	1,70a	1,58bc	1,78a	1,76a	1,91b	1,88a
Milena	1,17a	1,55a	2,02d	1,52a	1,70a	1,68a	1,92a
Sadovo 1	1,24a	1,52a	1,65c	1,59a	1,88a	1,91b	1,97a
Sofia	1,29a	1,55a	1,35a	1,72a	1,66a	1,78ab	1,92a
Means	1,31	1,61	1,61	1,62	1,75	1,86	1,92

Средните в същата колона, последвани от едни и същи букви, не се различават значимо (p <0,05) според Duncan's test.
Means in the same column followed by the same letters are not significantly different (p<0.05) according to Duncan's test.

С увеличаването на концентрацията на соленост от 0 до 150 mM NaCl се удължава средното време за покълване. При най-висока концентрация на сол (150 mM NaCl), MGT варира в близки граници, съответно от 1.88

Increasing salinity concentration from 0 to 150 mM NaCl increased mean germination time. At the highest salt concentration (150mM NaCl), the MGT varied within close ranges, respectively from 1.88 days (for Aida) to 1.97 days (for

дни (за Aida) до 1.97 дни (за Sadovo 1) (Таблица 2). Подобни резултати за положителното влияние на различните концентрации на NaCl върху MGT са отбелязани при няколко култури (Demir et al., 2003; Khajeh-Hosseini et al., 2003; Atak et al., 2006; Panuccio et al., 2014).

Характеристики на прораст-тъците

Индексът на жизненост показва капацитетът за покълняване и тенденцията за растежа на прорастъците (Deng et al., 2014). В нашето изследването са наблюдавани значителни разлики между третиранията с NaCl и VI. Значително понижение на VI е наблюдавано, в зависимост от повишаването на концентрацията на NaCl (Таблица 3 и Таблица 4). Подобна тенденция се наблюдава и от други автори при различни растения (Khajeh-Hosseini et al., 2003; Al-Mutawa, 2003; Rahman et al., 2008; Basalah, 2010; Cokkizgin, 2012; Saddam Hussain et al., 2013). Най-висок VI е наблюдаван при контролния вариант за сорт Milena (922.56), докато най-нисък е отбелязан при 150 mM NaCl (173.90) за Aida. VI нараства, когато концентрацията на NaCl намалява, което показва, че повишената концентрация на NaCl причинява вредно въздействие върху семената (Таблица 4).

Sadovo 1) (Table 2). Similar results about positive influence of different NaCl concentrations on MGT are noted in several crops (Demir et al., 2003; Khajeh-Hosseini et al., 2003; Atak et al., 2006; Panuccio et al., 2014).

Seedling characteristics

Vigour index represents the germination capacity and growing tendency of seedling (Deng et al., 2014). In our study significant differences are observed between NaCl treatments and VI. Considerable decrease in VI is observed, depending on the increase in the concentration of NaCl (Table 3 and Table 4). Similar trend is observed by other authors on different plants (Khajeh-Hosseini et al., 2003; Al-Mutawa, 2003; Rahman et al., 2008; Basalah, 2010; Cokkizgin, 2012; Saddam Hussain et al., 2013). The highest VI is observed in the control variant for Milena variety (922.56), while the lowest is noted at 150mM NaCl (173.90) for Aida. The VI increased when the NaCl concentration decreased, which shows that increased NaCl concentration caused a harmful effect in the seed (Table 4).

Таблица 3. Анализ на варианса за жизненият индекс(VI), дължината на кълна (LSh) и дължината на корена (LR)
Table 3. Analysis of variance for vigour index (VI), length of shoot (LSh) and length of root (LR)

Източници на вариране Source of Variation	***Средно квадратно отклонение /Mean square***			
	df	***VI***	***LSh***	***LR***
Генотип/Genotype	4	51135,79***	0,98***	17,68***
Соленост/Salinity	6	385525,14***	54,29***	68,28***
Взаймодействие/Interaction	24	20188,02***	1,25***	6,99***
Степен на влияние/Degree of influence, %				
Генотип/Genotype	4	6,80	0,83	6,80
Соленост/Salinity	6	76,94	69,32	39,37
Взаймодействие/Interaction	24	16,12	6,39	16,11

*** Значимост при ниво на вероятност 0.001%, съгласно F-test / Significant at the 0.001 probability level according to F-test

Таблица 4. Влияние на различни нива на соленост върху характеристики на прорастъците при пет сорта сусам

Table 4. Effects of different salinity levels on seedling characteristics of five sesame varieties

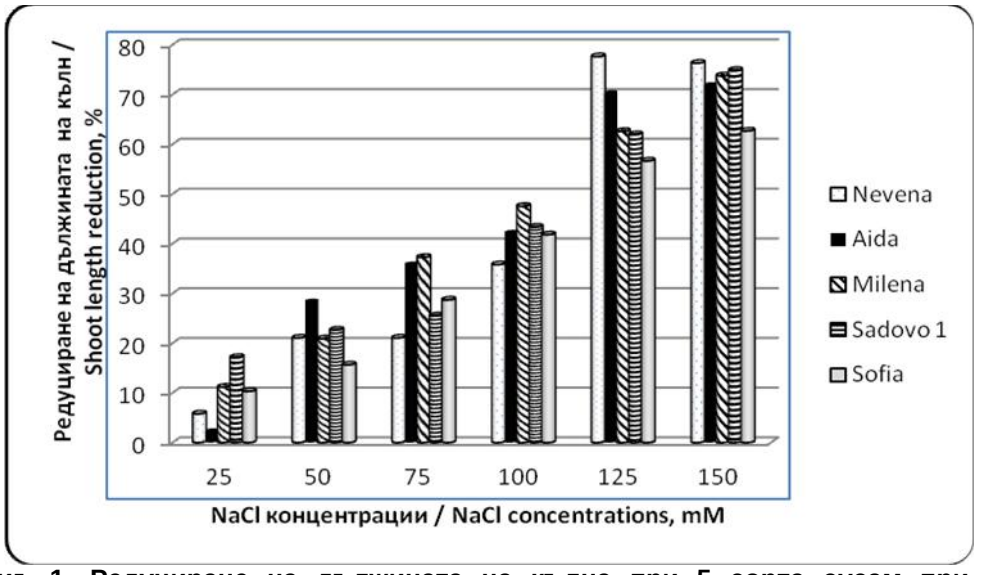
Сорт Cultivars	Соленост/Salinity							Средни Means
	0 mM NaCl	25 mM NaCl	50 mM NaCl	75 mM NaCl	100 mM NaCl	125 mM NaCl	150 mM NaCl	
Жизнен индекс/Vigour index								
Nevena	680,56b	717,12b	648,60c	670,00c	417,36a	197,76a	186,12b	502,50
Aida	590,64a	594,08a	348,74a	453,08a	356,16a	196,46a	173,90a	387,58
Milena	922,56e	642,88a	451,78b	768,96d	547,82c	378,28c	213,00c	560,75
Sadovo 1	785,00d	731,08bc	651,7c	645,82c	428,16a	346,92b	172,80a	505,07
Sofia	753,60c	763,00c	802,56d	500,00b	488,04b	382,00c	318,00d	572,46
Means	746,47	679,27	580,68	607,57	447,51	300,28	212,76	
Дължина на кълн/Length of shoot, cm								
Nevena	3,80a	3,58a	3,00ab	3,00b	2,44a	0,90a	0,85a	2,51
Aida	3,64a	3,57a	2,58a	2,28a	2,08a	1,11a	1,04a	2,33
Milena	3,97a	3,28a	2,98ab	2,34ab	1,94a	1,42b	0,97a	2,41
Sadovo 1	3,95a	3,29a	3,08ab	3,02b	2,28a	1,52b	1,00a	2,59
Sofia	3,76a	3,18a	3,38b	2,65ab	2,18a	1,64b	1,44b	2,60
Means	3,82	3,38	3,00	2,66	2,18	1,32	1,06	
Дължина на корен/Length of root, cm								
Nevena	3,90ab	3,89b	3,70ab	3,44c	2,00ab	1,21a	1,08ab	2,75
Aida	2,78a	2,75a	2,74a	2,54ab	1,63a	0,98a	0,81a	2,03
Milena	5,64c	4,73b	3,58ab	3,25bc	2,67ab	2,44b	1,16b	3,35
Sadovo 1	5,49c	4,17b	3,57ab	3,57c	2,18ab	2,02b	0,80a	3,11
Sofia	4,98b	4,45b	4,09b	2,35a	2,80b	2,18b	1,74c	3,23
Means	4,56	4,00	3,54	3,03	2,26	1,77	1,12	
Съотношение корен/кълн Root/shoot ratio, cm								
Nevena	1,03ab	1,09b	1,23a	1,15b	0,82a	1,34b	1,27b	1,13
Aida	0,76a	0,77a	1,06a	1,11ab	0,78a	0,88a	0,78a	0,88
Milena	1,42c	1,44c	1,20a	1,39b	1,38c	1,72ab	1,20b	1,39
Sadovo 1	1,39c	1,27bc	1,16a	1,18ab	0,96b	1,33ab	0,80a	1,15
Sofia	1,32b	1,40c	1,21a	1,14a	1,28c	1,33ab	1,21b	1,23
Means	1,19	1,19	1,17	1,14	1,04	1,32	1,05	
Свежо тегло на кълн/Fresh weight of shoot (mg plant^{-1})								
Nevena	49,1a	49,0b	44,0b	39,6c	28,6b	18,0a	15,1b	34,77
Aida	49,5ab	43,6a	34,8a	34,2b	30,3c	16,7a	15,3b	32,06
Milena	49,0a	45,3a	43,3b	36,3b	30,5c	24,0b	17,5c	35,13
Sadovo 1	51,0b	50,5b	42,4b	40,5c	34,5d	26,3b	14,5a	37,10
Sofia	49,7ab	49,4b	44,0b	31,3a	28,1a	25,2b	21,2d	35,56
Means	49,66	47,56	41,7	36,38	30,4	22,04	16,72	
Свежо тегло на корен/Fresh weight of root (mg plant^{-1})								
Nevena	16,4bc	12,0c	11,5a	8,4b	6,8a	5,3a	5,1bc	9,36
Aida	15,2bc	12,3d	12,0a	6,6a	6,5a	5,1a	4,1a	8,83
Milena	11,5a	10,6a	10,4a	10,0bc	8,2ab	7,9b	5,4c	9,14
Sadovo 1	13,2ab	12,4d	11,6a	11,1c	9,8b	9,1b	4,9b	10,30
Sofia	18,2c	11,1b	9,90a	9,0b	7,0a	6,0a	5,8d	9,57
Means	14,90	11,68	11,08	9,02	7,66	6,68	5,06	
Сухо тегло на кълн/Dry weight of shoot (mg plant^{-1})								
Nevena	2,7a	2,4a	2,2a	2,2a	1,9a	1,8a	1,8a	2,14
Aida	2,6a	2,3a	2,3ab	2,0a	2,0a	2,0a	1,9a	2,16
Milena	2,6a	2,6a	2,5ab	2,5a	2,4a	2,3a	1,8b	2,39
Sadovo 1	2,9a	2,7a	2,6b	2,6a	2,5a	2,2a	2,0c	2,50
Sofia	2,4a	2,4a	2,3ab	2,3a	2,2a	2,0a	1,7b	2,19
Means	2,64	2,48	2,38	2,32	2,2	2,06	1,84	
Сухо тегло на корен/Dry weight of root (mg plant^{-1})								
Nevena	1,1a	0,9ab	0,6a	0,6a	0,4a	0,2a	0,2a	0,57
Aida	0,8a	0,7a	0,6a	0,5a	0,3a	0,25a	0,2a	0,48
Milena	1,15a	1,0ab	0,9ab	0,9a	0,7a	0,4a	0,15a	0,74
Sadovo 1	1,6a	1,3b	1,2b	0,9a	0,5a	0,5a	0,4a	0,91
Sofia	1,5a	0,9ab	0,9ab	0,5a	0,5a	0,4a	0,4a	0,73
Means	1,23	0,96	0,84	0,68	0,48a	0,35	0,27	

Средните в същата колона, последвани от едни и същи букви, не се различават значимо (p <0,05) според Duncan's test.

Means in the same column followed by the same letters are not significantly different (p<0.05) according to Duncan's test.

Дължините на кълна и корена са най-важният параметър за стрес към засоляване, тъй като корените са в пряк контакт с почвата и абсорбират вода и хранителни вещества от нея, а кълна снабдява останалата част от растението (Saddam Hussain et al., 2013). Анализът на варианса показва, че влиянието на генотипа, нивата на NaCl и взаимодействието генотип X нива на NaCl са значими при $p \leq 0.001$ както за дължината на кълна така и за дължината на корена (Table 3). Солеността оказва най-силно влияние върху варианса на дължината на кълна и корена. В повечето случай увеличаването нивата на соленост подтиска дължината на кълна и корена. Средната дължина на кълна варира между 1.06 cm и 3.82 cm при различни концентрации на NaCl. Най-дълъг кълн се наблюдава при контролния вариант на сортовете Milena и Sadovo 1, съответно 3.97 cm и 3.95 cm, но те не са статистически доказани. Най-късият кълн е 0.85 cm при концентрация 150 mM NaCl за сорта Nevena (Таблица 4). Степента на намаляване на дължината на кълна в сравнение с контрола за сортовете Nevena и Milena се отчита като най-голяма при най-високо ниво на соленост (Фигура 1).

Shoot and root length are most important parameter for salt stress because roots are in direct contact with soil and absorbs water and nutrient from soil and shoot supply it to rest of the plant (Saddam Hussain et al., 2013). The analysis of variance showed that the effect of genotype, NaCl levels and genotype x NaCl levels interaction are significant at $p \leq 0.001$ for both length of shoot and root (Table 3). The salinity had the strongest influence on the variance for the shoot and root length. Generally, increasing salinity levels inhibited the shoot and root length. Mean of shoot length varied between 1.06 and 3.82 cm at various NaCl concentrations. The longest shoot length is observed in the control variant of Milena and Sadovo 1 varieties, respectively 3.97 and 3.95 but they are not statistically proven. The shortest shoot length is 0.85 cm at 150mM NaCl concentration for Nevena cultivar, respectively (Table 4). The rate of reduction in shoot length in comparison with the control for Nevena and Milena varieties are recorded as the largest at the highest salinity level (Figure 1).



Фиг. 1. Редуциране на дължината на кълна при 5 сорта сусам при 5 различни нива на соленост

Fig. 1. Shoot length reduction of 5 sesame varieties at 5 different salinity levels

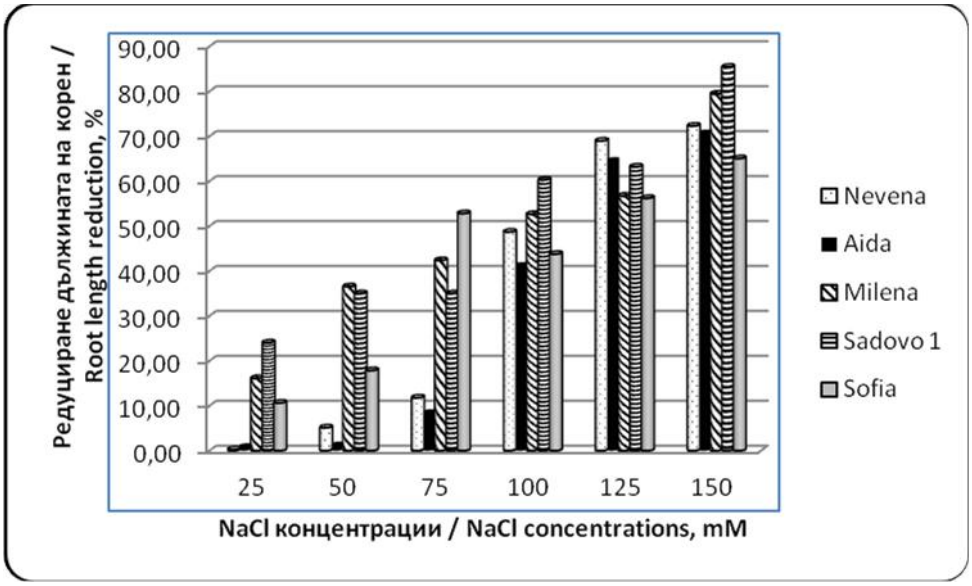
Средната дължина на корена варира между 2,03 cm и 3,35 cm в контролите и между 1,12 cm и 4,56 cm при различните нива на соленост. Както се очакваше, контролата и най-високата концентрация на NaCl имат съответно най-дългата и най-късата дължина на корена. Най-големите средни дължини на корена са 3,35 cm и 3,20 cm, съответно за Milena и Sofia (Таблица 4).

Най-малко намаление в дължината на кълна и корена при 150 mM NaCl е отчетено за сорта Sofia. Затова той е по-толерантен към високата соленост в ранните стадии на развитие, както по отношение на дължината на кълна, така и по отношение на дължината на корените (Фигура 2).

Mean root length varied between 2.03 cm and 3.35 cm in the varieties and 1.12 cm and 4.56 cm for salinity levels.

As is expected, the control and the highest NaCl concentration had the longest and the shortest root length, respectively. The largest mean root lengths were 3.35 cm and 3.20 cm for Milena and Sofia, respectively (Table 4).

The lowest reduction in shoot and root length at 150 mM NaCl is recorded for Sofia variety. Therefore Sofia is more tolerant to high salinity in the early development stages in terms of both shoot and root lengths (Figure 2).



Фиг. 2. Редуциране на дължината на корена при 5 сорта сусам при 5 различни нива на соленост

Fig. 2. Root length reduction of 5 sesame varieties at 5 different salinity levels

Солеността има значителен ефект върху свежото и сухото тегло на кълна и корена (P ≤0.001) (Таблица 5). С увеличаването на солевата концен-трация тези показатели намаляват. (Таблица 4). Разликите в теглата на свежите кълнове и корени са значи-телни при различни сортове при пове-чето нива на соленост

Salinity had significant effect on shoot and root fresh weight (P ≤0.001) (Table 5). Increase in salt concentration reduced these characters (Table 4). Differences in fresh shoot and root weight are significant in different cultivars under most of salinity levels (P ≤0.05) (Table 4).

(P ≤ 0.05) (Таблица 4). Sadovo 1 има най-високата стойност на свежо тегло на стъблото при контролният вариант (0.0 mM NaCl), докато Sofia показва най-високи стойности на свежи тегла на кълн и корен при третиране с 150 mM NaCl (Таблица 4).

Sadovo 1 had the highest value of fresh shoot weight under control variant (0.0 mM NaCl), while Sofia showed the highest values of both shoot and root fresh weight under 150 mM NaCl treatment (Table 4).

Таблица 5. Анализ на варианса за свежото тегло на кълн и корен (FWSh and FWR) и сухото тегло на кълн и корен (DWSh and DWR)
Table 5. Analysis of variance for fresh weigh of shoot and root (FWSh and FWR) and dry weight of shoot and root (DWSh and DWR)

Източници на вариране Source of Variation	***Средно квадратно отклонение/Mean square***				
	df	***FWSh***	***FWR***	***DWSh***	***DWR***
Генотип/Genotype	4	47,44***	14,48***	0,47*	0,31**
Соленост/Salinity	6	1565,04***	61,01***	1,34***	1,10***
Взаймодействие/Interaction	24	16,77***	1,82**	0,22ns	0,04ns
Степен на влияние/Degree of influence, %					
Генотип/Genotype	4	1,89	11,87	9,22	11,25
Соленост/Salinity	6	93,71	74,97	39,61	60,75
Взаймодействие/Interaction	24	4,02	8,94	25,84	9,60

** Значимост при ниво на вероятност 0.01%, съгласно F-test / Significant at the 0.01 probability level according to F-test,
*** Значимост при ниво на вероятност 0.001%, съгласно F-test / Significant at the 0.001 probability level according to F-test,
ns Недоказано съгласно F-test / Not significant according to F-test

Увеличаването на концентрациите на NaCl намалява и сухото тегло на кълна и корена на всички изследвани образци. Стойностите на сухото тегло на кълна и корена се променят чрез увеличаване концентрацията на солта. Най-високи стойности на сухи тегла на кълнове и корени са получени от контролните обработки. От друга страна, се наблюдава намаление на стойностите на сухото тегло на кълна и корена в съответствие с повишаването на концентрацията на солта. Най-високи сухи тегла на кълн и корен (2.9 mg plant^{-1} and 1.6 mg plant^{-1}) са получени от контролното третиране на сорта Sadovo 1. Най-ниска стойност на сухото тегло на кълн (1.17 mg plant^{-1}) е получено от 150 mM NaCl при Sofia, докато най-ниското сухо тегло на корена е регистрирано за сорта Milena (Таблица 4).

Влиянието на солеността върху индекса на солева толерантност при

The increase in NaCl concentrations decreased also the shoot and root dry weight of all the sesame cultivars. The shoot and root dry weight values changed by increasing salt concentration. The highest shoot and root dry weights are obtained from control treatments. On the other hand a decrease is observed on shoot and root dry weight values in accordance with increasement on salt concentration. The highest shoot and root dry weight (2.9 mg plant^{-1} and 1.6 mg plant^{-1}) are obtained from control treatment in Sadovo 1. The lowest value of shoot dry weight (1.17 mg plant^{-1}) is obtained from 150 mM NaCl in Sofia, while the lowest root dry weight is recorded for Milena variety (Table 4).

Effects of salinity on salt tolerance index of investigated sesame cultivars at

изследваните сусамови сортове при етап на растеж на прорастъците са представени в Таблица 6. Сортовете имат следният ред на подреждане при най-високото ниво на соленост (150 mM NaCl):

Milena <Sadovo 1 <Nevena <Aida <Sofia.

Сортът Sofia е най-толерантен към солеността, а сортът Milena е най-чувствителен в ранния стадий на прорастване (Таблица 6).

seedling growth stage are presented in table 6. The cultivars had the following order at the highest salinity level (150 mM NaCl):

Milena < Sadovo 1< Nevena< Aida < Sofia.

The cultivar Sofia is the most tolerant to salinity, while Milena variety is the most sensitive at early seedling growth stage (Table 6)

Таблица 6. Влияние на нивата на соленост върху индексът на солева толерантност при сортове сусам във фаза растеж на прорастъците
Table 6: Effects of salinity levels on salt tolerance index of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars at seedling growth stage

Нива на соленост Salinity levels	Сортове/Cultivars				
	Nevena	Aida	Milena	Sadovo 1	Sofia
25 mM NaCl	103,18	98,44	83,35	95,03	106,50
50 mM NaCl	95,30	82,87	68,26	84,71	97,20
75 mM NaCl	92,54	75,08	58,17	83,95	63,69
100 mM NaCl	61,33	57,79	47,97	56,82	63,44
125 mM NaCl	28,45	32,55	40,17	45,10	48,66
150 mM NaCl	27,35	28,82	22,16	22,93	40,51
Средни/Means	68,02	62,59	53,35	64,76	70,00

Всички получени резултати показват, че различни характеристики на прорастване са значително повлияни от стреса на соленост. Kandil et al. (2017) съобщават, че нежеланият ефект от високата концентрация на солеността върху дължината на корена и на кълна може да се дължи на токсичния ефект на солеността, който намалява дължината на корена и корена, както и на подтискането на цитокинезата и разширяването на клетките (Munns, 2002). Освен това намаляването на хормоните, които стимулират растежа и увеличаването на хормоните, които възпрепятстват растежа, могат да са причина за по-къси дължини на корените и кълновете (Kurum et al., 2013).

Корелационни връзки между изследваните характеристики

Коефициентите на корелация между всички възможни комбинации са оценени и са показани в Таблица 7a и Таблица 7b. GE показва значителна положителна корелация с G (0.435 *) и

All results obtained indicated that different seedling characteristics are significantly affected by salinity stress. Kandil et al. (2017) reported that the undesirable effect of high concentration of salinity root and shoot length might be due to the toxic effect of salinity, which decreases root and shoot length as well as inhibition of cytokinesis and cell expansion (Munns, 2002).

Additionally, the decrease in hormones that stimulate the growth and increase in hormones that hinder growth can cause shorter root and shoot lengths (Kurum et al., 2013).

Correlation between investigated characteristics

Correlation coefficients between all possible combinations are estimated and are shown in Table 7a and Table 7b. GE showed significant positive correlation with G (0.435*) and R/Sh (0.432*). G

R/Sh (0.432 *). G корелира полужително с R/Sh (0.448 *). CVG и GRI са в отрицателна връзка с MGT (-0.994 ** и -0.935 **) при p≤0.01 и в положителни с VI (0.825 ** и 0.854 **), LSh (0.697 ** и 0.690 **), LW (0.667 ** и 0.835 **), FWSh (0.694 ** и 0.724 **), FWR (0.620 * и 0.650 **), DWSh (0.533 ** и 0.613 **) и DWR (0.605 ** и 0.670 **). Корелацията между CVG и GRI е висока и положителна (0.940 **). Връзката между GRI и R/SH е значима при p≤0.01 (0.471 **). Отрицателни силни и значими корелации (p≤ 0.01) са установени между MGT, VI, LSh, LR, FWSh, FWR, DWSh и DWR. VI корелира полужително с LSh, LR, FWSh, FWR, DWSh и DWR. LSh показва значима положителна корелация с LR, FWSh, FWR, DWSh и DWR. Корелациите между LR, R/Sh, FWSH, FWR и DWR са положителни и значими при нивата p≤0.05 и p≤0.01. FWSH е в положителна връзка с FWR (0.908 **), DWSh (0.794 **) и DWR (0.874 **). Взаимовръзките между FWR и DWSh (0.849 *) и FWR и DWR (0.841 **) също са положителни и значими при p≤0.01 нива. DWSH корелира силно и положително с DWR (0.878 **) (Таблица 7a и Таблица 7b).

correlated positively with R/Sh (0.448*). CVG and GRI are in negative relationship with MGT (-0.994** and -0.935**) at p≤0.01 and in positive with VI (0.825** and 0.854**), LSh (0.697** and 0.690**), LR (0.767** and 0.835**), FWSh (0.694** and 0.724**), FWR (0.620* and 0.650**), DWSh (0.533** and 0.613**) and DWR (0.605** and 0.670**). Correlation between CVG and GRI is high and positive (0.940**). The relationship between GRI and R/SH is significant at p≤ 0.01 (0.471**). Negative highly significant correlations (p≤ 0.01) are found between MGT, VI, LSh, LR, FWSh, FWR, DWSh and DWR. VI correlated positively with LSh, LR, FWSh, FWR, DWSh and DWR. LSh showed significant positive correlation with LR, FWSh, FWR, DWSh and DWR. The correlations between LR, R/Sh, FWSH, FWR and DWR are positive and significant at the 0.05 and 0.01 levels. FWSH is in positive relation with FWR (0.908**), DWSh (0.794**) and DWR (0.874**). Relationships between FWR and DWSh (0.849*) and FWR and DWR (0.841**) are also positive and significant at 0.01 levels. DWSH correlated highly and positively with DWR (0.878**) (Table 7a and Table 7b).

Таблица 7a. Фенотипни корелационни коефициенти между изследваните показатели при сусама при солеви стрес

Table 7a. Phenotypic correlation coefficients of investigated characteristics in sesame under salinity stress

	GE	G	CVG	GRI	MGT	VI
GE	1					
G	0.435*	1				
CVG	0.040	0.050	1			
GRI	0.210	0.241	0.940**	1		
MGT	-0.021	-0.060	-0.994**	-0.935**	1	
VI	-0.016	0.220	0.825**	0.854**	-0.831**	1
LSh	-0.205	0.074	0.697**	0.690**	-0.708**	0.888**
LR	0.082	0.262	0.767**	0.835**	-0.769**	0.925**
R/Sh	0.432*	0.448*	0.278	0.471**	-0.271	0.282
FWSh	-0.107	0.124	0.694**	0.724**	-0.699**	0.911**
FWR	-0.182	0.063	0.620**	0.650**	-0.631**	0.800**
DWSh	0.027	0.193	0.533**	0.613**	-0.554**	0.755**
DWR	0.029	0.214	0.605**	0.670**	-0.612**	0.854**

**. Корелациите са значими при ниво 0.01/Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Корелациите са значими при ниво 0.05/Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Таблица 7b. Фенотипни корелационни коефициенти между изследваните показатели при сусама при солеви стрес
Table 7b. Phenotypic correlation coefficients of investigated characteristics in sesame under salinity stress

	LSh	LR	R/Sh	FWSh	FWR	DWSh	DWR
LSh	1						
LR	0.895**	1					
R/Sh	0.001	0.410*	1				
FWSh	0.967**	0.942**	0.161	1			
FWR	0.878**	0.843**	0.175	0.908**	1		
DWSh	0.743**	0.799**	0.261	0.794**	0.849**	1	
DWR	0.825**	0.888**	0.269	0.874**	0.841**	0.878**	1

**. Корелациите са значими при ниво 0.01/Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
*. Корелациите са значими при ниво 0.05/Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ИЗВОДИ

Най-силното индивидуално влияние върху кълняемата енергия и кълняемостта има генотипа, докато третирането с NaCl влияе най-силно върху характеристиките на покълняване (коефициент на скоростта на покълняване, индекс на покълняване и средно време на покълняване), както и върху характеристиките на прорастъка (дължина на кълн и корен, свежи и сухи тегла на кълн и корен). Сортът Sofia е най-толерантен към изследваните нива на соленост, а сортът Milena е най-чувствителен в ранните етапи на прорастване. Средното време на покълняване корелира значително и отрицателно с всички изследвани характеристики, с изключение на кълняемата енергия и кълняемостта. Необходими са допълнителни проучвания за оценка на кълняемостта на семената и ранните етапи на растеж на прорастъците при полеви условия.

CONCLUSIONS

The strongest individual influence for germination energy and final germination had genotype, while treatment with NaCl had the strongest influence on the germination characteristics as coefficient of velocity of germination, germination rate index, and mean germination time as well as on the seedling characteristics- length of shoot and root, fresh and dry shoot and root weight. The cultivar Sofia is the most tolerant to the investigated levels of salinity, while Milena variety is the most sensitive at early seedling growth stage. Mean germination time correlated significantly and negatively with all investigated characteristics, except germination energy and germination. Additional investigations are needed to evaluate germination and early seedling growth under field conditions.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. **Ashraf, M. and M. Foolad**, 2005. Pre sowing seed sreatment - a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non saline conditions. *Advances in Agronomy*, 88, 223-271.
2. **Atak, M., M. D. Kaya, G. Kaya, Y. Uikili and C. Y. Üftü**, 2006. Effects of NaCl on the germination, seedling growth and water uptake of triticale. T*urkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30, 39-47.
3. **Bahrami, H. and J. Razmjoo**, 2012. Effect of salinity stress (NaCl) on germination and early seedling growth of ten sesame cultivars (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of AgriScience, Dubendorf*, 2(6), 529-537.
4. **Basalah, M. O.**, 2010. Action of salinity on seed germination and seedling

growth of *Solanum melongena* L. *Journal of Agricultural Research Kafer El-Sheikh University,* 36, 64-73.
5. **Bazrafshan, A. H. and P. Ehsanzadeh**, 2014. Growth, photosynthesis and ion balance of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in response to NaCl concentration in hydroponic solutions. *Photosynthetica*, 52, 134-147.
6. **Bybordi, A.**, 2010. The Influence of salt stress on seed germination, growth and yield of canola cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38, 128-133.
7. **Cokkizgin, A.**, 2012. Salinity stress in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed germination. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 40(1), 177-182.
8. **Dalia, M. N.**, 2001. Studies for improving yield potential of some sesame genotypes. Ph. D. Thesis, Agronomy Department. Faculty of Agriculture Cairo University, Egypt.
9. **Demir, K. M. and A. Üpek**, 2003. Effects of different soil salinity levels on germination and seedling growth of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). T*urkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27, 221-227.
10. **Deng, Y., F. Yuan, Z. Feng, T. Ding, J. Song and B. Wang**, 2014. Comparative study on seed germination characteristics of two species of Australia saltbush under salt stress. *Acta Ecologica Sinica,* 34, 337-341.
11. **Dias, A. S., G. S. De Lima, H. R. Gheyi, R. G. Nobre and J. B. Dos Santos**, 2017. Emergence, growth and production of sesame under salt stress and proportions of nitrate and ammonium*. Revista* Caatinga*,* 30(2), 458-467.
12. **Duncan, D. B**., 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*, 11,1-42.
13. **Florez, M, C. M. Victoria and E. Martinez**, 2007. Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: Effects on germination and early growth. *Environmental and Experimental Botany,* 59(1), 68-75.
14. **Gaballah, M. S., B. A. Leila, H. A. El-Zeiny and S. Khalil**, 2007. Estimating the performance of salt-stressed sesame plant treated with antitranspirants. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(9), 811-817.
15. **Houle, G, L. Morel, C. E. Reynolds and J. Siégel**, 2001.The effect of salinity on different developmental stages of an endemic annual plant *–Aster laurentianus* Fernald (Asteraceae). *American Journal of Botany*; 88(1), 62-7.
16. **Kader, M. A. and S. C. Jutzi**, 2004. Effects of Thermal and Salt Treatments during Imbibition on Germination and Seedling Growth of Sorghum at 42/19 C. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190(1), 35-38.
17. **Kader, M. A.**, 2005. A comparison of seed germination calculation formulae and the associated interpretation of resulting data. *Journal and Proceeding of the Royal Society of New South Wales*, 138, 65-75.
18. **Kandil, A. A., A. E. Shareif and M. A. Gad**, 2017. Effect of salinity on germination and seeding parameters of forage cowpea seed. *Research Journal of Seed Science*, 10, 17-26.
19. **Khajeh-Hosseini, M., A. A. Powell and I. J. Bingham**, 2003. The interaction between salinity stress and seed vigour during germination of soybean seeds. *Seed Science and Technology,* 31(3), 715-725.
20. **Khajeh-Hosseini, M., A. A. Powell and I. J. Bingham**, 2003. The interaction between salinity stress and seed vigor during germination of soybean seeds. *Seed Science Technology,* 31, 715-72.
21. **Koca, H., M. Bor, F. O. Zdemir and I. Turkan**, 2007. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. *Environmental and Experimental Botany,* 60, 344-351.

22. **Kurum, R., K. Ulukapi, K. Aydinsakir and A. N. Onus**, 2013. The influence of salinity on seedling growth of some pumpkin varieties used as rootstock. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 41, 219-225.
23. **Lidansky, T.**, 1988. Statistical methods in biology and agriculture. Zemizdat, Sofia (Bg).
24. **Mahmood, S., S. Iran and H. R. Athar**, 2003. Intra-specific variability in sesame (*Sesamum indicum* L.) for various quantitative and qualitative attributes under differential salt regimes. *Journal of Research Science,* 14, 177-186.
25. **Matysik, J., B. Bhalu, P. Mohanty**, 2002. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. *Current Science,* 82, 525-532.
26. **Mujeeb-ur-Rahman, U. A. Soomro, M. Zahoor-ul-Haq and Sh. Gul**, 2008. Effects of NaCl salinity on wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(3), 398-403.
27. **Munns, R.**, 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment, 25, 239-250.
28. **Panuccio, M. R., S. E. Jacobsen, S. S. Akhtar and A. Muscolo**, 2014. Effect of saline water on seed germination and early seedling growth of the halophyte quinoa. *AoB Plants*, 6, plu047.
29. **Plochinskii, N.**, 1970. Biometria. Kolos. Moscow (Ru).
30. **Rahman, M., U. A. Soomro, M. Z. Haq and S. Gul**, 2008. Effects of NaCl salinity on wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *World Journal of Agricultural Sciences,* 4, 398-403.
31. **Rehman, S., P. J. C. Harris, W. F. Bourne and J. Wilkin**, 1996. The effect of sodium chloride on germination and the potassium and calcium content of Acacies seeds. *Seed Science and Technology*, 25, 45-57.
32. **Rhoades, J. D.; A. Kandiah, A. M. Mashali**, 2000. Use of salt water for agricultural production. ed. Campina Grande: UFPB. 2000. 117 p. (FAO Studies, Irrigation and Drainage).
33. **Saddam, H., A. Khaliq, A. Matloob, M. A. Wahid and I. Afzal**, 2013. Germination and growth response of three wheat cultivars to NaCl salinity. *Soil and Environment,* 32(1), 36-43.
34. **Sanchez, P. L., M. K. Chen, M. Pessarakli, H. J. Hill, M. A. Gore and M. A. Jenks**, 2014. Effects of temperature and salinity on germination of non-pelleted and pelleted Guayule (*Parthenium argentatum* A. Gray) seeds. Industrial Crops and Products, 55, 90-96.
35. **Suassuna, J. F.**, 2013. Tolerance of sesame genotypes to saline stress. Thesis (PhD in Agricultural Engineering: Area of Concentration in Irrigation and Drainage) - Federal University of Campina Grande, Campina Grande.
36. **Tabatabaei, S .A. and S. M. Naghibalghora**, 2014. The Effect of salinity stress on germination characteristics and changes of biochemically of sesame seeds. *Cercetări Agronomice în Moldova*, XLVII(2), 158.
37. **Yahya, A.**, 1998. Responses to soil salinity of sesame (*Sesamum indicum* L.) and sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Doctoral Thesis, Uppsala, Sweden.