CZU: 575:633.521+665.345.4(478)
DOI: 10.46727/c.v1.01-02-03-2025.p382-389

APRECIEREA DESCENDENȚILOR DE IN OBTINUȚI PRIN MUTAGENEZA INDUSĂ CU RAZE GAMMA DUPĂ CONȚINUTUL DE ULEI

ASSESSMENT OF FLAX PROGENIES OBTAINED BY INDUCED MUTAGENESIS, WITH GAMMA RAYS BY OIL CONTENT

Cuțitaru Doina, *cercetător științific,*
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor al USM, din Chișinău.
Harciuc Oleg, *dr., cerc. șt. superior.,*
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor al USM, din Chișinău.
Ganea Anatolie, *dr., conf. cercet.,*
Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor al USM, din Chișinău.
Brindza Ján, *dr., conf. cercet.,*
Universitatea Slovacă de Agricultură din Nitra, din Nitra (Republica Slovacă).

Cuțitaru Doina, *scientific researcher,*
Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of the MSU, from Chisinau,
ORCID: 0000-0001-9956-8189, doina.cutitaru@sti.usm.md
Harciuc Oleg, *PhD, Senior researcher*
Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of the MSU, from Chisinau,
ORCID: 0000-0003-3488-5321
Ganea Anatolie, *PhD, Assoc. prof.*
Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection of the MSU, from Chisinau,
ORCID: 0000-0002-8658-6879
Brindza Ján, *PhD, Assoc. prof.,*
Slovak University of Agriculture in Nitra, from Nitra (Slovak Republic),
ORCID: 0000-0001-8388-8233

Rezumat. *Actualele cercetările științifice au drept scop crearea de noi varietăți de in performante. Pentru realizarea acestui obiectiv am selectat ca metodă de bază mutageneza fizică. Care constă în iradierea materialului semincer de in cu raze gamma (γ), radiațiile au fost emise de izotopul radioactiv ^{60}Co. Formele mutante de in (Linum usitatissimum L.) din M_5 (in pentru ulei) și M_4 (in pentru fibre) au fost semănate, evaluate, caracterizate morfologic și selectate timp de 4 și 5 ani consecutivi. De asemenea a fost determinat conținutul de ulei în semințe prin metoda RMN. Astfel, dintre descendenți cea mai mare concentrație de ulei s-a semnalat la forma Belinka (M_4) iradiată cu doza de 600 Gy – 33,37%, după acest parametru toate formele mutante Belinka au depășit martorul. Pentru descendenții genotipului Kaufmann din generația M_5, doar o formă a avut valoare echivalentă cu cea a martorului – 39,43%, iar procentul de ulei a celorlalte forme a fost înregistrat sub valoare soiului martor.*
Cuvinte-cheie: *Linum usitatissimum* L., *in, mutageneza fizică, raze gamma, conținut de ulei, RMN.*

Abstract. *Current scientific research is aimed at creating new high-performance flax varieties. To achieve this goal we selected physical mutagenesis as the basic method. Which consists in irradiating flax seed material with gamma-rays (γ), the radiation was emitted by the radioactive isotope ^{60}Co. Mutant forms of flax (Linum usitatissimum L.) from M_5 (oilseed flax) and M_4 (fiber flax) were sown, evaluated, morphologically characterized and selected for 4 and 5 consecutive years. The oil content in the seeds was also determined by*

NMR method. Thus, among the offspring the highest oil concentration was reported in the Belinka (M_4) mutant form irradiated with 600 Gy dose – 33.37%, after this parameter all mutant forms Belinka outperformed the control. For the progenies of the Kaufmann genotype of the M5 generation, only one form had a value equivalent to the control – 39.43%, and the oil percentage of the other mutant forms was recorded below the value of the control variety.
Keywords: *Linum usitatissimum L., flax, physical mutagenesis, gamma-rays, oil content, NMR.*

Introducere

La nivel internațional Republica Moldova are statut de țară agrară, astfel prioritatea strategică a economiei naționale rămâne a fi agricultura durabilă. Iar în contextul schimbărilor climatice, tendințele actuale ale agriculturii se orientează spre culturile agricole noi profitabile și care manifestă adaptabilitate sporită la condițiile pedoclimatice locale. Printre culturile de perspectivă, ce prezintă interes socio-economic se enumeră și specia *Linum usitatissimum* L. (in sau in de cultură). Este o specie anuală, cu perioadă scurtă de vegetație de cca. 80-130 zile (pentru zona noastră), poate fi utilizată în scopuri medicinale, alimentare, industriale, rareori decorative sau ca sursă furajeră etc. [4, 8]. Principalele țări producătoare de in pentru ulei sunt Federația Rusă, Kazahstan, Canada, China, SUA, India și in pentru fibre – Franța, Belgia (FAOSTAT). În prezent, inul pentru ulei se poziționează pe locul cinci în lume din categoria culturilor oleaginoase, în timp ce inul pentru fibre se clasează pe locul trei, din rândul culturile textile [10]. Din anul 2018 inul de cultură se regăsește în baza de date a Biroului Național de Statistică al Republicii Moldova (*Banca de date statistice "Statbank"*). Suprafețele cultivate cu in pentru ulei au ajuns de la 0,7 mii ha, în 2018 – la 2,8 mii ha, în 2023, însă ce ține de inul pentru fibre situația este mai puțin favorabilă, suprafețele însămânțate au fost de 0,1 mii ha în anii 2018, 2023 și de 0,3 mii ha în 2022 [27]. Regretabil este faptul că sursa seminceră de in utilizată în cadrul tuturor gospodăriile agricole provine din import, deoarece acestea se bazează pe semințe hibride, iar în țară nu există întreprinderi specializate în producția acestor semințe [14, 28].

În anul 2005 în Catalogul soiurilor de plante al RM (2024) se publică informația despre primul soi de in autohton, omologat și înregistrat pentru cultivare pe întreg teritoriul republicii – *In albastru* (IP IF "Porumbeni"), adică 0,03% din numărul total de soiuri existente în catalog – 2919 (2024) [5]. Astfel, principala preocupare a cercetătorilor în ameliorarea culturilor agricole rămâne a fi crearea de soiuri performante autohtone prin utilizarea diverselor metode: mutageneza, încrucișarea și reproducerea transgenică [2, 15]. Creare de genotipuri de in cu întrebuințare mixtă, ce se vor evidenția prin caractere și însușiri proeminente, prin dobândirea de randamente înalte ale productivității semincere, conținutului de ulei, cantității de fibre, cu rezistență sporită la factorii biotici și abiotici etc.

În cadrul Institutului de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor al USM se efectuează cercetări ştiinţifice și experimentale la diferite culturi (in, susan, triticale, orz, soia, năut etc.) folosind ca metodă – mutageneza indusă cu raze gamma (γ), în scopul îmbunătățirii calității soiurilor existente și obținerii de forme noi performante [6, 7, 9, 13]. Inducerea mutațiilor cu radiații a fost metoda cea mai frecvent utilizată pentru soiurile mutante dezvoltate direct. Spre deosebire de soiurile de plante protejate în prezent sau de germoplasmă și de restricțiile crescânde privind utilizarea lor, mutanții induși au fost disponibili liber și gratuit pentru ameliorarea plantelor [1].

Aplicarea mutagenezei fizice este un procedeu important în programele de ameliorare a plantelor, la nivel global numărul de varietăți mutante este de 3275 pentru cca. 220 specii, prezentând în continuare o creștere semnificativă după anii 2000, când erau înregistrate cca. 2252 genotipuri [1, 2, 3, 18]. Iar din totalitatea soiurilor de in existente cca. 3% au fost obținute prin mutageneza

indusă [21, 22]. Privilegiile pozitive ale mutagenezei induse, sunt: scurtează timpul de reproducere; poate fi considerată non-modificare genetică; produsele generate prin această metodă pot obține mai ușor aprobarea de reglementările guvernamentale [2].

Materiale și metode

Cercetările științifice au fost efectuate în cadrul Institutului de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor al Universității de Stat din Moldova (IGFPP, USM) și la Universitatea Slovacă de Agricultură din Nitra (SUA, Nitra), Facultatea de Agrobiologie și Resurse Alimentare (FAFR) din orașul Nitra (Republica Slovacă).

În calitate de material biologic pentru cercetare au servit opt forme mutante de in obținute prin mutageneza fizică, cât și formele lor martor de origine alohtonă: soiul *Kaufmann*, care face parte din grupul inului pentru ulei, originar din Germania, iar *Belinka*, din cel al inului pentru fibre, al cărei țară de origine este Olanda. Probele martor au inclus semințe de in netratate.

Materialul semincer de in a fost supus iradierii gamma (**γ**) cu dozele de 400, 500, 600 și 700 Gy la instalația radio-chimică RXM-V-20, folosind ca sursă de radiații γ – izotopul radioactiv ^{60}Co (cobalt 60). Radioizotopul ^{60}Co emite simultan doi fotoni (raze gamma) per dezintegrare cu energii de 1,17 și 1,33 MeV [3, 6, 9, 12, 20]. Iradierea a fost aplicată într-o singură repriză, a câte 1000 semințe pentru fiecare variantă, MMB a variat de la aproximativ 3,5 g (*Belinka*) până la 6,5 g (*Kaufmann*). Dozele de iradiere au fost selectate pentru a asigura o frecvență înaltă a mutațiilor, dar şi un grad ridicat de supraviețuire a plantelor [6, 20]. Mutațiile determină modificări în structura materialului genetic al unui individ şi creează fondul genetic caracteristic unei populații [12, 15, 18].

Rezonanța magnetică nucleară (RMN) permite de a efectua numeroase determinări rapide ale conținutului de ulei din semințe într-o perioadă scurtă de timp și de a spori semnificativ performanța analizei. Determinarea conținutului de ulei (%) în semințe prin metoda de relaxare RMN este o alternativă clară, nondistructivă, exactă și rapidă; rezultatele obținute corespund întocmai cu cantitatea de ulei extrasă din semințe prin solvenți organici [11, 17]. Datorită acestui fapt fenomenul RMN este înregistrat ca unul dintre standardele internaționale (ISO 5511:1992 (en), ISO 10565:1998) [25, 26]. RMN poate fi utilizată atât pentru probe solide, cât și pentru probe în stare lichidă, în experimente unidimensionale, bidimensionale și multidimensionale, furnizând informații privind structura, compoziția, puritatea, greutatea moleculară, dinamica și proprietățile de difuzie folosind pentru aceasta proprietățile magnetice ale nucleului analizat [17]. Tehnica a fost aplicabilă pentru semințe suficient de uscate, conținutul de umiditate în semințele de in a fost de cca. 10%, coeficient admisibil.

Caracterizarea parametrilor biologici, morfologici și agrotehnici s-a executat în conformitate cu criteriile elucidate în Descriptorii Internaționali pentru cultura inului (*Descriptors List for Flax* (*Linum usitatissimum* L.), Nitra, 2016; UPOV TG/57/7, Geneva, 2011) [14, 19], fiind respectate normele tehnice şi îndrumările metodice aprobate în ameliorare [4, 8, 23, 24].

Experiențele de câmp au fost montate pe loturile experimentale al IGFPP al USM (Lat: 46.968, Long: 28.891, Alt: 91 m [29]). Analizele de laborator au fost executate în cadrul a două subdiviziuni de cercetare: Laboratorul Resurse Genetice Vegetale și Laboratorul Fitopatologie și Biotehnologie al aceluiași institut. Din experiențele noastre am constatat că adâncimea optimă de semănare pentru zona de centru a Republicii Moldova constituie 7-10 cm, din considerentele texturii și umidității solului în momentul semănării, cu distanța între rânduri de 15-20 cm, iar densitatea plantelor de cca. 800-1000 semințe germinabile pe 1 m^2.

Prelucrarea și analiza statistică a datelor experimentale a fost executată în baza pachetului de programe software *STATISTICA 12, MS Excel 2016*.

Rezultate și discuții

Pentru a obține varietăți noi de plante ce vor prezenta caractere biologice, morfologice, biochimice distinctive, la prima etapă este necesar de cercetat și analizat genotipurile colecțiilor de plante, în cazul nostru, studiul a fost axat pe colecția *ex situ* de in (*Linum usitatissimum* L.) din Banca de gene, structură fundamentată și subordonată de Laboratorul Resurse Genetice Vegetale. Ulterior, revenim asupra selectării formelor inițiale ce prezintă indici înalți, după principalii parametri ai: productivității semincere, indicelui de ulei și conținutului de fibre textile în cazul culturii inului și care atestă un grad înalt de adaptabilitate la condițiile pedoclimatice specifice zonei de cultivare. Din sursele literaturii de specialitate se cunoaște că productivitatea seminceră la hectar a soiurilor ameliorate depășește 0,5-0,8 t/ha (in pentru fibre) și de 1,2-1,5 t/ha (in pentru ulei); indicele de ulei cuprinde cca. 33-47%; cantitatea de tulpini uscate poate ajunge la 3-6 t/ha (in pentru fibre) [4, 8, 10].

În cadrul IGFPP al USM se efectuează cercetări ale variabilității genetice la inul de cultură prin utilizarea mutagenezei fizice, iradierea semințelor s-a produs sub influența razelor γ, emise de sursa radioactivă ^{60}Co. Ca rezultat al utilizării mutagenezei experimentale au fost obținute generațiile M_4 (in pentru fibre) și M_5 (in pentru ulei). Analiza valorilor obținute pentru formele mutante din M_4 și M_5 comparativ cu soiul martor, ne permite să evidențiem un spectru larg al variabilității după următoarele caractere: epoca de maturare, talia și portul plantelor, lungimea firului tehnic, numărul de ramificații principale, numărul de flori și capsule, culoarea florilor, calitatea și cantitatea masei semincere etc. Pentru a menține uniformitatea între forme, semințele au fost înmulțite prin descendenți ai unei singure probe iradiate individual. Semințele din fiecare formă mutantă au fost semănate pentru caracterizarea fenotipică în prima decadă a lunii aprilie, timp de 4 și 5 ani consecutivi.



Figura 1. Analiza comparativă a descendenților de in din generația M_4 – *Belinka* (in pentru fibre) și M_5 – *Kaufmann* (in pentru ulei) după conținutul de ulei (%)

De menționat că inul pentru ulei a moștenit de la progenitorii săi un randament ridicat de ulei, care până în prezent a rămas a fi actual, pe când inul pentru fibre a posedat un conținut de ulei în semințe mai redus. Însă pe cale ereditară i s-a transmis conținutul de fibre textile mai înalt, caracter care rămâne a fi cel mai important.

Din analiza materialul experimental expus în Figura 1, conținutul de ulei a variat de la 33,37%±0,46 - valoare minimă înregistrată pentru soiul martor *Belinka* până la 39,43%±0,45 - valoare maximă înregistrată pentru soiul martor *Kaufmann*.

Din datele afișate în Figura 1 observăm că după conținutul de ulei în semințe, soiul standard *Belinka* a rămas în inferioritate mininoră față de toți descendenții, acumulând cel mai mic procentaj de ulei (33,37%). Dintre descendenți s-a remarcat forma de in obținută prin iradiere γ cu doza de 600 Gy cu 34,63%±0,75, urmat în ordine descrescătoare de ceilalți mutanți cu 34,03%±0,61 (500 Gy), 33,97%±0,23 (700 Gy), 33,90±0,59% (400 Gy).

După indicii parametrului dat formele mutante *Kaufmann* în raport cu soiul martor au prezentat valori mai joase, doar o singura probă (400 Gy) a acumulat aceiași cantitate de ulei precum martorul de 39,43%±0,45; celorlalte revenindu-le a câte 39,13%±0,28 (500 Gy), 39,03%±0,57 (700 Gy) și 38,37%±0,18 (600 Gy). Însă remarcant este faptul că doza de 600 Gy la acest genotip a înregistrat cele mai mici cantități de ulei.

În cazul descendenților inului pentru fibre *Belinka* (M_4) iradierea cu raze γ a avut efect experimental pozitiv, în contradictoriu fiind la inul pentru ulei *Kaufmann* (M_5). Pentru ambele culturi s-a manifestat doza de radiații γ de 600 Gy. Doar că în cazul formelor iradiate *Belinka* aceasta a avut efect stimulator, contribuind pozitiv la majorarea procentajului de ulei, pe când la *Kaufmann* s-a semnalat o diminuare minoră a concentrației de ulei în semințe.

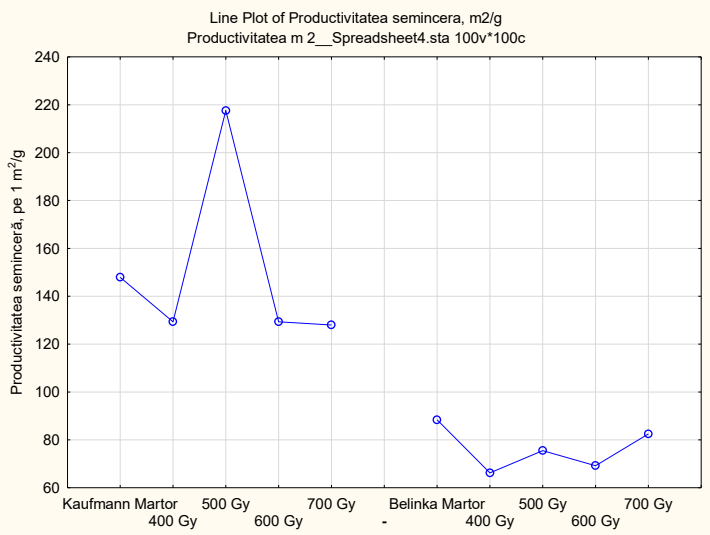


Figura 2. Productivitatea seminceră a formelor mutante din M_5 – *Kaufmann* (in pentru ulei) și M_4 – *Belinka* (in pentru fibre) de pe 1 m^2/g

Randamentul recoltei seminceră la hectar este mai redusă la inul pentru fibre, principalul caracter pentru care soiurile tehnice sunt cultivate este conținutul înalt de fibre textile. Plantele dezvoltă tulpini înalte (peste 70 cm) cu un număr mai mic de ramificații, fructe și semințe. Astfel că acești parametri au un rol pozitiv în formarea și determinarea productivității. Cantitatea roadei la hectar poate fi influențată de dimensiunile semințelor, ele sunt mai mici comparativ cu ale inului pentru ulei: 0,34/0,20 mm – *Belinka* și de 0,45/0,25 mm – *Kaufmann*. MMB variază în medie de la 4,46 g (*Belinka*) la 6,42 g (*Kaufmann*).

Din Figura 2 putem observa că ambele culturi după parametrul productivității nu au depășit formele martor, doar un singur descendent al soiului *Kaufmann* prin iradiere cu doza de 500 Gy a manifestat o majorare a cantității de semințe cu 69,7 g mai mult față de soiul standard. Deci plantele

acestei forme (500 Gy) au acumulat în total 217,6 g/m^2 semințe, în timp ce martorul doar o cantitate de 147,9 g/m^2, respectiv masa seminceră a următoarelor probe a fost de 129,3 g/m^2 (400, 600 Gy) și 128,0 g/m^2 (700 Gy), cu cca. 19,3 g mai puțin.

După parametrul productivității formele mutante *Belinka* nu au depășit martorul, care a înregistrat 88,4 g/m^2, doar o singură probă (700 Gy) a avut valori puțin mai apropiate de cele ale martorului – 82,5 g/m^2, cu o diferență de 5,9 g. Iar cu o diferență medie de cca. 18,1 g semințe s-au poziționat ceilalți mutanți: 75,5 g/m^2 (500 Gy), 69,2 g/m^2 (600 Gy) și 66,2 g/m^2 (400 Gy).

Pe lângă potențialul ereditar al inului pentru ulei și al inului pentru fibre recolta seminceră depinde în mare măsură de condițiile pedoclimatice locale semnalate în anul de cultivare. Seceta hidrologică este principalul factor care provoacă daune atât inului cât și altor culturi de câmp.

Concluzii

Pentru a obține varietăți noi de plante într-o perioadă foarte limitată de timp, iradierea cu raze gamma poate fi considerată o metodă alternativă de screening selectiv. Determinarea dozelor optime de radiații, poate fi considerat unul din factorii importanți care poate duce la apariția mutațiilor induse. Prin selectarea celor 4 doze de radiații γ (400-700 Gy) am obținut descendenți noi, care se deosebesc după însușirile lor fenotipice dobândite.

Conținutul de ulei din seminţele oleaginoase intacte ale formelor mutante de in a fost determinat printr-o tehnică nondistructivă oferită de fenomenul RMN (rezonanța magnetică nucleară). Această metodă fizică poate fi utilizată cu succes în procesele de ameliorare a plantelor. În urma analizei, semințele selecționate rămân intacte, care pe parcurs pot fi întrebuințate pentru încrucișări ale plantelor în vederea obținerii unor hibrizi cu caracteristici îmbunătățite.

Radiația γ a avut efect inhibitor asupra conținutului de ulei în semințe (%) pentru toți descendenții *Kaufmann* (in pentru ulei). Doar o singură formă iradiată cu doza 400 Gy a semnalat aceiași valoare cu cea a martorului de 39,43%. Iar la *Belinka* (in pentru fibre) radiațiile au avut efect pozitiv, descendenții au produs cantități de ulei mai ridicate cu 1,04% față de martor (33,37%), valoarea maxima atinsă este de 34,63% (600 Gy).

După parametrul productivității semincere s-a constatat un decalaj înalt, pozitiv între martorul *Kaufmann* și plantele obținute prin iradiere cu doza 500 Gy, forma mutantă a semnalat 217,6 g/m^2 de semințe, cu 69,7 g mai mult decât soiul martor. Aceasta doză a fost unica care a depășit martorul, fiindcă ceilalți descendenți ai soiului *Kaufmann*, chiar și ai standardului *Belinka* nu am manifestat o cantitate mai înaltă de semințe.

Principalul impediment în cultivarea inului pe teritoriul țării este instabilitatea factorilor de mediu locali, ce afectează negativ dezvoltarea și creșterea plantelor. Dar totodată pe parcursul a mai multor ani de cercetări am constatat, că mai rentabil și efectiv este de înființat sectoare agricole cu însămânțări anuale de in pentru ulei. De aceea și tendința amelioratorilor rămâne actuală de a crea și de a obține noi varietăți de in productive, care vor prezenta plasticitate ecologică semnificativă și care vor da dovadă de rezistență sporită la factorii de mediu biotici și abiotici.

Acknowledgements. *The research was carried out in the framework of two projects: Subprogram 011102 "Expansion and conservation of genetic diversity, improvement of agricultural crop genotypes in the context of climate change", funded by the Ministry of Education and Research of the Republic of Moldova and with the active participation of researchers involved in the International network AgroBioNet of the Institutions and researchers for realization of research, education and development program*

"Agrobiodiversity for improving nutrition, health and life quality" within the project MVTS-UK/SR/SPU6/14. Thanks, the International Visegrad Fund for scholarship and research internships (during which were got the results and knowledge presented in this paper), Slovak Republic.

Bibliografie:

1. AHLOOWALIA, B.S., MALUSZYNSKI, M., NICHTERLEIN, K. Global impact of mutation-derived varieties. In: *Euphytica*, 2004, 135(2), pp. 187-204. Available at: https://doi.org/10.1023/B:EUPH.0000014914.85465.4f
2. ANDRONIC, L. Abordări metodologice de sporire a diversității în soluționarea subiectelor din genetica și ameliorarea plantelor. In: *International Scientific Conference* "*Genetics, Physiology and Plant Breeding*" (VIII-th Edition), 2024, pp. 11-17. ISBN 978-9975-62-766-5.
3. BEYAZ, R., YILDIZ, M. *The use of gamma irradiation in plant mutation breeding* [Chapter 3], in: JURIĆ, S. (Ed.), *Plant Engineering*. Croatia: InTechOpen, 2017, pp. 33-46. Available at: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.69974
4. CALCHEI, E. *Inul*, în: SIMINEL, V. (Ed.), *Ameliorarea specială a plantelor agricole*. Chișinău: F.E.-P. "Tipografia Centrală", 2004, pp. 365-377. ISBN 9975-78-298-1.
5. *Catalogul Soiurilor de Plante al Republicii Moldova pentru anul 2024*. Chișinău: ÎS Editura didactică de stat "Lumina", 2024. 132 p.
6. CIOBANU, R. Variabilitatea somaclonală și indusă de radiație la triticale *in vitro*. Teză de doctor în științe biologice. Chișinău, 2023, 180 p.
7. CLICIUC, D., MALII, A., CHEBAN, A. The protein content in the seeds of chickpea, soybean and peanut mutant varieties induced by gamma ray mutagenesis. In: *International Congress on oil and protein crops: Meeting of the EUCARPIA Oil and Protein Crops Section.* 2018, p. 71. ISBN 978-9975-3178-5-6.
8. DOUCET, M., DOUCET, I. *Cultura inului de ulei*. Bucureşti: Editura Agro-Silvică, 1964. 50 p.
9. GRIGOROV, T. Efectul infecţiei virale şi a radiaţiei gama asupra variaţiilor *in vivo* şi *in vitro* la orz (*Hordeum vulgare* L.). Teză de doctor în științe biologice. Chișinău, 2023, 229 p.
10. KAUR, V., SINGH, M., WANKHEDE, D.P., GUPTA, K., LANGYAN, S., ARAVIND, J., THANGAVEL, B., YADAV, S.K., KALIA, S., SINGH, K., KUMAR, A. Diversity of *Linum* genetic resources in global genebanks: from agro-morphological characterisation to novel genomic technologies – a review. In: *Frontiers in Nutrition*, 2023, 10: 1165580. Available at: https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1165580
11. KHARCHUK, O., MALII, A., KISTOL, M. Oil content in soybean seeds by NMR relaxation method. In: *Polish Journal of Science. Biological sciences*, 2023, 60, pp. 6-10. ISSN 3353-2389. Available at: https://doi.org/10.5281/zenodo.7727102
12. MBA, C. Induced mutations unleash the potentials of plant genetic resources for food and agriculture. In: *Agronomy*, 2013, 3(1), pp. 200-231. Available at: https://doi.org/10.3390/agronomy3010200
13. MOGÎLDA, A. Influența mutagenezei induse asupra unor parametri ai productivității în generațiile M_2 și M_3 la susan (*Sesamum indicum* L.). În: *Studia Universitatis Moldaviae. Seria Ştiinţe Reale şi ale Naturii*. 2021, 1(141), pp. 133-136. ISSN 1814-3237. Disponibil: https://doi.org/10.5281/zenodo.4980612
14. NÔŽKOVÁ, JA., PAVELEK, M., BJELKOVÁ, M., BRUTCH, N., TEJKLOVÁ, E., POROKHOVINOVA, E., BRINDZA, J. *Descriptor list for flax (Linum usitatissimum L.)*. Nitra: 2016, 102 p. Available at: https://doi.org/10.15414/2016.9788055214849
15. PALII, A. *Genetica*. Chișinău: Editura Museum, 1998, 352 p. ISBN 9975-905-19-6.
16. RIJA, I. Importul de semințe în Republica Moldova. În: *AgroExpert*. Disponibil: https://agroexpert.md/rom/preturi-si-tendinte/import-semyan-v-respubliku-moldova-analiz-eksperta-yuriya-rizha

17. SANTANA, K.D.S., TAVARES, M.I.B. Characterization of flaxseed oil for Nuclear Magnetic Resonance and its encapsulation. In: *Materials Sciences and Applications*, 2022, 13, pp. 279-299. Available at: https://doi.org/10.4236/msa.2022.135015
18. SPENCER-LOPES, M., FORSTER, B., JANKULOSKI, L. *Manual on Mutation Breeding* (Third Edition). Vienna: FAO/IAEA, 2018, 301 p. ISBN 978-92-5-130526-3.
19. UPOV TG/57/7. *FLAX, LINSEED: Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability.* "International Union for the Protection of New Varieties of Plants". UPOV Code: LINUM_USI (*Linum usitatissimum* L.). Geneva, 2011, 30 p.
20. ZHAO, L., WANG, B. Mutagenic effect on seed of oil flax (*Linum usitatissimum* L.) induced by ^{60}Co-γ irradiation. In: *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2021, 43(5), pp. 834-842. Available at: https://doi.org/10.19802/j.issn.1007-9084.2020312
21. КОРОЛЕВ, К., БОГДАН, В., БОГДАН Т. Индуцированный мутагенез льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) как метод создания нового исходного материала для приоритетных направлений в селекции. В: «*Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*», 2016, 4, с. 73-75. ISSN 2076-5215.
22. УЩАПОВСКИЙ, И.В., ЛЕМЕШ, В.А., БОГДАНОВА, М.В., ГУЗЕНКО, Е.В. Особенности селекции и перспективы применения молекулярно-генетических методов в генетико-селекционных исследованиях льна (*Linum usitatissimum* L.), (обзор). В: *Сельскохозяйственная Биология*, 2016, 51(5), с. 602-616. Режим доступа: https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.602rus
23. ДОСПЕХОВ, Б.А. *Методика полевого опыта*. Москва: Агропромиздат, 1985, 351 с.
24. ФЕДИН, М.А. *Методика государственного сортоиспытания сельскохозяй-ственных культур.* Выпуск третий. *Масличные, эфиромасличные, лекарственные и технические культуры, шелковица, тутовый шелкопряд*. Москва, 1983, 184 с.
25. ISO 5511:1992. Oilseeds — Determination of oil content — Method using continuous-wave low-resolution nuclear magnetic resonance spectrometry (Rapid method)
26. ISO 10565:1998. Oilseeds — Simultaneous determination of oil and water contents — Method using pulsed nuclear magnetic resonance spectrometry
27. https://statbank.statistica.md/PxWeb/pxweb/ro/40%20Statistica%20economica/40%20Statistica%20economica__16%20AGR__AGR020/AGR020060.px/table/tableViewLayout2/?rxid=b2ff27d7-0b96-43c9-934b-42e1a2a9a774
28. https://agrobiznes.md/agrocereale-moldova-bate-recordul-la-exportul-de-semintelor-de-in.html
29. https://geodata.gov.md/#/viewer/openlayers/77