

<https://doi.org/10.61308/GOLC3864>

## Мутационна селекция при ечемика в ИЗ – Карнобат: Постижения и бъдещи насоки за работа

**Боряна Дюлгерова**

Институт по земеделие – Карнобат, Селскостопанска академия, София, България

E-mail: [bdyulgerova@abv.bg](mailto:bdyulgerova@abv.bg)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1543-2709>

**Резюме:** Експерименталният мутагенез се прилага като един от основните методи за разширяване на генетичното разнообразие в селекционната програма на ечемика в Института по земеделие – Карнобат. Целта на настоящата статия е да представи постигнатите резултати и да очертае бъдещите насоки за приложение на този подход. Описани са прилаганите схеми на мутационна селекция, насочени към ускорено създаване на нови генотипове с висока селекционна стойност. Представени са част от получените морфологични мутанти, които обогатяват набора от генетични ресурси за бъдеща селекционна дейност. Описани са мутантни линии с повишен добивен потенциал, стабилност на добива в различни години, както и с подобрени качествени характеристики на зърното. Представени са и сортовете ечемик, създадени на основата на мутационна селекция. Очертани са бъдещите направления на работа, насочени към повишаване на добива, подобряване на устойчивостта към стресови фактори и усъвършенстване на технологичните качества на зърното в условията на променящ се климат.

**Ключови думи:** мутационна селекция; ечемик; генетични ресурси; добив; качество на зърното

## Mutation breeding in barley at the Institute of Agriculture – Karnobat: Achievements and future directions

**Boryana Dyulgerova**

Institute of Agriculture – Karnobat, Agricultural Academy, Sofia, Bulgaria

E-mail: [bdyulgerova@abv.bg](mailto:bdyulgerova@abv.bg)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1543-2709>

**Citation:** Dyulgerova, B. (2026). Mutation breeding in barley at the Institute of Agriculture – Karnobat: Achievements and future directions. *Bulgarian Journal of Crop Science*, 63(2) 41-53 (Bg).

**Abstract:** Experimental mutagenesis is applied as one of the main methods to broaden genetic diversity in the barley breeding program at the Institute of Agriculture – Karnobat. The aim of this article is to present the achieved results and outline future directions for the application of this approach. The applied mutation breeding schemes are described, focusing on the accelerated development of new genotypes with high breeding value. Some of the obtained morphological mutants are presented, which enrich the set of genetic resources for future breeding activities. Mutant lines with increased yield potential, yield stability across different years, as well as improved grain quality traits are described. Barley varieties developed based on mutation breeding are also presented. Future research directions aimed at increasing yield, improving stress resistance, and enhancing grain technological qualities under changing climate conditions are outlined.

**Keywords:** mutation breeding; barley; genetic resources; yield; grain quality

## ВЪВЕДЕНИЕ

Експерименталният мутагенез започва да се прилага като част от селекционния процес в Института по земеделие – Карнобат още през 1967 г. В резултат на третиране на семена с гама-лъчи са създадени първите български мутантни сортове ечемик – Маркели 2, Маркели 4 и Маркели 5, които се отличават с подобрени агрономически характеристики. По-късно, през 1983 г., е регистриран сорт Диана, а сортовете Краси 2 и Юбилей 100 са получени чрез хибридизация с участието на Маркели 5 (Gramatikova and Stefanov, 1984).

През 90-те години на XX век в Института започва интензивното прилагане на химичния мутаген натриев азид ( $\text{NaN}_3$ ), който постепенно измества гама-лъчите като основен мутаген за индуциране на мутации (Gramatikova, 1997). След 2005 г. натриевият азид се използва почти изключително за създаване на мутантни популации от ечемик, поради редица предимства, които го правят особено подходящ за мутационна селекция.

Натриевият азид се отличава с висока мутагенна ефективност, като предизвиква основно точкови мутации, които са от голямо значение за създаването на нови варианти с желани агрономически и технологични качества (Kleinhofs, 1984). За разлика от физичните мутагени като гама-лъчите, които често водят до хромозомни аберации и значително намаляване на жизнеспособността на растенията, натриевият азид причинява много нисък процент хромозомни увреждания (Liu et al., 2024). Това намалява риска от летални или стерилни мутации и увеличава вероятността за получаване на стабилни и селекционно ценни изменения. Благодарение на тези свои характеристики, натриевият азид се утвърждава като мутаген с висок потенциал за създаване на генетично разнообразие и подобряване на ключови белези като добив, устойчивост към болести, студоустойчивост, качество на зърното и други.

Въпреки значимите постижения на мутационната селекция при зърнените култури в

България в миналото (Tomlekova, 2010), днес Институтът по земеделие – Карнобат е единствената научна институция в страната, в която експерименталният мутагенез продължава да се прилага активно и целенасочено като част от селекционния процес. Благодарение на този подход е постигнато значително разширяване на генетичното разнообразие и са създадени нови генотипове ечемик с ценни стопански качества.

Целта на проучването е да се представят постигнатите резултати през последните 10 години и да очертае бъдещите насоки за приложение на експерименталния мутагенез в селекционната работа при ечемика в Институт по земеделие – Карнобат.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

Представена е работата по мутационна селекция в Институт по земеделие – Карнобат през последните 10 години (от 2015 до 2024 година).

### *Мутагенно третиране*

За индуциране на мутантни форми е използван химичният мутаген натриев азид. Семената се третират с 2 mM или 3 mM натриев азид, разтворен в 0.1 M фосфатен буфер с pH 3. Преди третирането семената се хидратират чрез накисване във вода за 16 часа. Самото третиране се провежда при температура 22°C за 2 часа. След това семената се промиват обилно с течаща вода и се изсушават при стайна температура до достигане на стандартната влажност.

### *Растителен материал*

Всяка година за мутагенно третиране се използват от 4 до 6 сорта или перспективни линии. През разглеждания период 96% от използваните изходни материали са сортове или линии зимен ечемик, създадени в института. Останалите 4% са представени от чуждестранни сортове.

### *Схема за отбор на мутанти*

Първоначално е прилагана класическата схема на мутационна селекция. M1 попула-

цията се отглежда на парцели по 10 m<sup>2</sup>, като централния клас от всяко преживяло растение се прибира. Получените класове се засяват през следващата година в M2 поколение, като всяко потомство се засява в отделен ред. Предполагаемите морфологични мутанти се маркират и прибират индивидуално.

В M3 се засяват от 1 до 5 реда от всеки предполагаем мутант в зависимост от наличното количество семена. Оценява се характерът на наблюдаваните изменения (модификационни или мутационни) и отбраните форми се класифицират като мутанти. Обикновено в M2 се отглеждат между 200 и 500 потомства от всеки вариант, в зависимост от преживяемостта в M1. Освен морфологичните мутанти, в M2 се събират и централните класове на най-добрите растения от поне 100 потомства, с цел допълнителен отбор на форми с висока селекционна стойност за засяване в M3.

След 2018 година прилаганата схема е модифицирана с цел оптимизация на селекционния процес. В M1 централните класове от всички растения се прибират заедно, а получените семена се засяват в M2 на парцели. В M2 се отбират видимите морфологични мутанти и се вземат класове за засяване на M3 потомства.

Благодарение на модифицираната схема е възможно едновременно увеличаване на броя растения в M2 и на M3 потомствата, тъй като отпада необходимостта от паралелно отглеждане на класови потомства в M2 с M3. Това увеличава шансовете за откриване на селекционно ценни мутанти, които не се отличават с драстични фенотипни промени. Едновременно с това се постига съществена икономия на труд и площи, без компромис в ефективността на селекцията.

*Проучване на биологичните и стопанските качества на мутантните линии*

Най-добрите потомства, при които не се наблюдава разпадане, се засяват през следващата година в Контролен питомник (КП). Отбраните в КП линии се включват в Конкурсен сортов опит (КСО). Ежегодно в ИЗ-Карнобат се изпитват биологичните и стопанските

качества на 300 - 400 линии в КИ и 200-250 мутантни линии зимен ечемик в КСО.

Във всички етапи на селекционната работа оценката на мутантните линии се извършва в сравнение с изходните сортове, от които са получени. В Контролния питомник и Конкурсният сортов опит се включват и съответните национални стандарти за фуражен и пивоварен ечемик. Използва се стандартната методика на Изпълнителната агенция по сортоизпитване, апробация и семеконтрол (ИАСАС) за изпитване на кандидат-сортове ечемик.

Част от морфологичните мутанти, които не могат да бъдат използвани директно като нови сортове, се включват в колекция и се съхраняват като генетичен ресурс за бъдещи проучвания и селекционна работа.

За целите на настоящото изследване са използвани данни от Конкурсни сортови опити, проведени в периода 2015/2016 – 2023/2024 година (общо осем реколтни години, с изключение на 2019/2020 г., която не е включена). В изпитванията участват 12 мутантни линии зимен ечемик (G6 – КТ 3033, G7 – КТ 3037, G8 – КТ 3039, G9 – Z18/1-5, G10 – Z1/1-17, G11 – I15/1-12, G12 – I15/3-14, G13 – K16/1-14, G14 – K16/1-21, G15 – K16/2-11, G16 – K16/3-12, G17 – 244D-5, G18 – 244D-6) и 6 сорта, използвани като контроли (G1 – сорт Обзор, G2 – сорт Емон, G3 – сорт Загорец, G4 – сорт Имеон, G5 – сорт Кубер).

Представено е разпределението на добивите (kg/da) по генотипи, усреднено за целия период. Визуализацията позволява да се оцени както средното ниво на добива и неговото вариране при отделните линии, така и сравнението им с контролите.

На база на тези многогодишни данни е изчислен WAASY индекс (Weighted Average of Absolute Scores from Yield Stability), който оценява комбинирано продуктивността и стабилността на генотиповете (Olivoto et al., 2019). Изчислен е чрез комбиниране на две стойности – едната е отнасяща се до добива, а другата до стабилността (WAASB). И двете стойности се привеждани в мащаб от 0 до 100, като съответно първата отразява относи-

телната продуктивност на даден генотип, а втората – неговата стабилност. След това тези две стойности се комбинират чрез претегляне в два коефициента – единият за значимостта на добива, а другият за значимостта на стабилността. WAASY индексът е изчислен с помощта на пакета “metan” в RStudio (Olivoto and Lúcio, 2020).

Представени са данни за качеството на зърното при 14 мутантни линии зимен многореден ечемик, отглеждани в КСО за период от пет реколтни години – 2018/2019 до 2023/2024 г., с изключение на 2019/2020 г., която не е включена в анализа. Оценени са следните показатели: съдържание на суров протеин по Келдал (%), хектолитрово тегло (kg/hL), маса на 1000 зърна (g) и съдържание на плевни (%).

## РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

### Морфологични мутанти

*Мутации, засягащи морфологията на класата*

Изолирани са мутанти с различни изменения в морфологията на класата, които засягат

броя на класчетата и съответно броя на зърната в класа. Макар тези мутанти да не представляват пряк интерес за селекция, те предоставят възможности за задълбочено изследване на генетичната регулация на развитието на класа и фертилността при ечемика.

Открити са няколко мутанта, които се отличават от характерното за ечемика детерминантно развитие на класчетата и формират повече от едно цветче във всяко класче. При мутант, получен от сорта Вауава, вретенцата на някои страничните класчета са удължени и образуват до три цветчета в класче, докато централните класчета запазват детерминантния си характер и съдържат само едно цветче. Това предполага различен генетичен контрол върху развитието на централните и страничните класчета (Фигура 1А). Предполагаме, че този мутант е аналогичен на *multiflorus2.b* (*mul2.b*), описан от Korpolu et al. (2022). При генетичния анализ на *mul2.b* са идентифицирани един основен QTL на хромозома 6Н и вторичен QTL на 5Н, контролиращи образуването на допълнителни цветчета в централните класчета, както и два основни QTL на хромозоми 2Н и 6Н и два вторични на 3Н,



**Фигура 1.** Морфология на класовете при предполагаеми мутанти: *multiflorus2.b* (А), *rattail*-подобен с частична фертилност (В), *compositum2* (С), *vrs4* (D) и *multiple stem nodes and spikes and dwarf-msnsd* (E)

**Figure 1.** Spike morphology of presumed mutants: *multiflorus2.b* (A), *rattail*-like with partial spikelet fertility (B), *compositum2* (C), *vrs4* (D), and *multiple stem nodes and spikes and dwarf-msnsd* (E)

свързани с фенотипа на индетерминантните странични класчета.

Получен е и мутант от сорта Имеон, при който класът се състои от множество класчета и фенотипно наподобява *rattail spike 1 (rtt1)* (Hansson et al., 2024). За разлика от напълно стерилния *rtt1*, при мутанта се формират малки и недоразвити зърна, с ниска кълняемост (Фигура 1B).

Идентифицирани са също мутанти, проявяващи различна степен на разклонение на класа. Предполагаме, че част от тях морфологично съответстват на мутанта *compositum 2* (Фигура 1C), докато при други формирането на разклонения вероятно се дължи на мутация във *vrs4* (Фигура 1D) (Hansson et al., 2024).

Друг интересен случай на драстична промяна в структурата на класа е мутант, получен от сорта Моника, който образува по 2–3 класа на всяко класоносно стъбло. Той се характеризира с ниско стъбло и увеличен брой междувъзлия и предполагаме че се отнася към мутантен тип *multiple stem nodes and spikes and dwarf (msnsd)* (Qin et al., 2023) (Фигура 1E).

Нашите проучвания показват, че мутантното третиране с натриев азид сравнително често води до образуване на мутан-

ти с по-плътен клас в сравнение с изходните форми. Повишената плътност на класа се дължи на скъсените междувъзлия, в резултат на което зърната и осилите се разполагат под по-широк ъгъл спрямо надлъжната ос на класа. Тези мутанти често се отличават и с по-късо стъбло и могат лесно да бъдат отбрани в мутантните популации (Фигура 2).

Отбрани са няколко безосилести мутанти от различни родителски сортове, с фенотип съответстващ на мутантен тип *awnless 1 - Lks1* (Franckowiak, 1997a) (Фигура 3A). Макар ечемикът традиционно да се използва за фураж и малц, безосилестите форми са особено ценни при използване на културата за паша, силаж или сено, тъй като грубите осили могат да причинят наранявания в устната кухина и по муцуните на животните. Внесените безосилести форми често са слабо адаптирани към местните условия, което подчертава значимостта на индуцираните мутанти, получени на основата на наши сортове с висока зимоустойчивост. Много от изследваните безосилести мутанти проявяват повишена чувствителност към болести и склонност към полягане. Въпреки това, няколко от линиите демонстрират обещаващ потенциал по отношение на добива от биомаса и зърно.



Фигура 2. Мутанти с повишена плътност на класа (най-вляво – изходният сорт Емон)  
Figure 2. Spike density mutants (the original cultivar Emon is shown on the far left)

Открити са също мутанти с по-къси и нежни осили (Фигура 3В), както и мутант, при който централните класчета формират скъсени осили, а страничните са напълно безосилести (Фигура 3С). Последният се характеризира и със значително по-високо, но устойчиво на полягане стъбло спрямо изходния сорт. Предстои оценка на добивния му потенциал и качеството на зърното.

В колекцията от морфологични мутанти на ИЗ–Карнобат се поддържат и мутанти от типа *hooded* (Фигура 3D), при които осилите се трансформират в листоподобни структури – фенотип, свързан с мутации в гена *Kapl* (Franckowiak, 1997b).

Мутанти от типа *curly* (Фигура 3Е) са получени както при двуредни, така и при многоредни форми. При тях всички органи на растението – включително лемите, осилите, междувъзлията и листата – са извити или усукани. Зърното е по-тясно и с по-ниска маса на 1000 зърна. Макар конкретната роля на мутантните рецесивни гени определящи този фенотип в хормоналната регулация да не е напълно изяснена, е възможно фенотипът да е свързан с нарушения във фитохормоналния баланс, което би имало значение за адаптивността на растенията.

Отбрани са и мутанти от типа *elongated outer glume (eogl)*, при които външните глуми са силно уголемени – достигат ширина 2,5–3 mm, а осилите, развиващи се върху тях, са почти със същата дължина като тези на лемата. Зърното е по-едро от това на изходния сорт, но само при условия без засушаване и топлинен стрес. По останалите стопански белези тези мутанти не се отличават съществено от родителските форми.

Според редица проучвания, осилите играят значителна роля във фотосинтезата и могат да допринасят с до 10% към добива при ечемика, особено при засушливи условия (Bort et al., 1994). Въпреки това, нашите изследвания върху изолираните мутанти *eogl* не установиха статистически значимо увеличение на добива. Макар при тези мутанти броят на осилите на зърно да е три пъти по-висок в сравнение с контролата, това не се отразява върху добива на зърно.

Отбрани са голозърнести форми (*naked caryopsis 1 - nud1*) както от български сортове Веслец и Имеон, така и от чуждестранни сортове като Endeavor и Monika. Особено ценни са мутантите, получени от наши сортове, които са добре адаптирани към местните агроклиматични условия и се отличават с висока зи-



**Фигура 3.** Мутанти с изменения в осилите: безосилести (А); с скъсени осили (В); с редуцирани осили на централните класчета и безосилести странични (С); от типа *hooded* (D) и *curly* (E)

**Figure 3.** Awn-modified mutants: awnless (A), shortened awns (B), reduced awns on central spikelets with awnless lateral (C), *hooded* type (D), and *curly* type (E)

моустойчивост. Те представляват важен генетичен ресурс за селекцията на голозърнести сортове зимен ечемик, като се има предвид ограниченото разнообразие от зимни голозърнести генотипове, подходящи за българските условия. **Голозърнестият ечемик** е все по-търсен заради своето **високо хранително съдържание**, по-високото съдържание на фибри и лесната преработка (Meints et al., 2021). Това го прави особено подходящ за **хранителната и диетичната индустрия**, както и за използване в здравословни храни и фуражи.

Предходно наше проучване, включващо седем голозърнести мутанта, получени от сорт Ахил, разкри значително вариране в морфологичните и агрономическите признаци (Dyulgerova and Dyulgerov, 2020b). Макар мутантите да показваха по-нисък добив спрямо изходния сорт, бяха идентифицирани линии с повишено съдържание на протеин и други ценни стопански белези. Получените голозърнести форми представляват ценен изходен материал за създаването на нови сортове зимен ечемик с подобрено качество на зърното, които съчетават адаптивност, техно-

логични качества и устойчивост към неблагоприятни условия.

#### *Мутации, засягащи морфологията на стъблото*

Отбрани са мутанти с различна степен на скъсено стъбло (Фигура 4А). Особен селекционен интерес представляват онези генотипове, при които намалената височина на стъблото е съчетана с повишена братимост.

Сред тях са идентифицирани мутанти от *many-noded dwarf* (Фигура 4В). Те се характеризират с наличие на голям брой възли с къси междувъзлия, като общата височина на растенията е приблизително наполовина спрямо изходния сорт. Тези растения образуват по-голям брой братя. Всяко стъбло развива от 12 до 20 малки листа, а клас с приблизително 50% от размера на родителски сортове.

#### **Перспективни мутантни линии зимен ечемик**

Анализът на добива и стабилността на добива по години за период от осем реколтни години е проучен при 12 мутантни линии. Пет от тях се отличиха със значително по-ви-



**Фигура 4.** Мутанти с промени във височината на стъблото (А) и тип *many-noded dwarf* (В) (вляво - изходният сорт)

**Figure 4.** Mutants with altered stem height (A) and of the *many-noded dwarf* type (B) (the original variety is shown on the left)

сок среден добив в сравнение със стандартните сортове Обзор и Емон, както и спрямо съвременните сортове Кубер, Загорец и Имеон, включени като контроли (Фигура 5). Най-висок добив показва линията G10, с 113% от средния добив на стандартите, следвана от линиите G8 (108%) и G9 (107%).

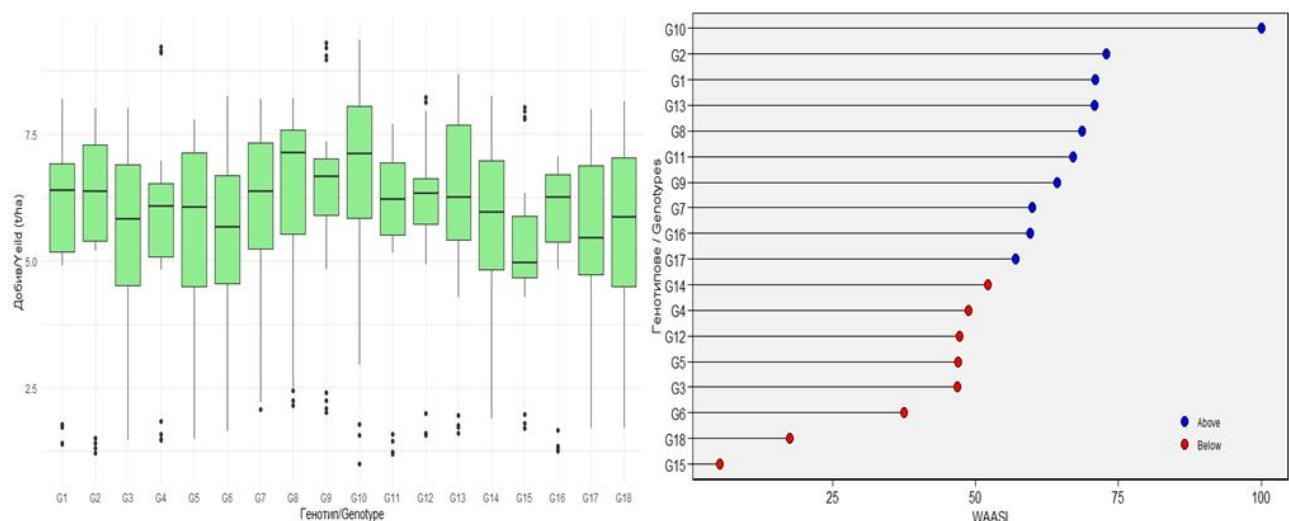
Едновременната оценка по добив и стабилност на добива чрез WAASY индекса, комбинира резултати от АММІ анализ (за стабилност) и BLUP оценки (за добив), показва, че единствено линията G10 превъзхожда стандартните сортове. В същото време, по-голямата част от мутантните линии демонстрират по-висок и стабилен добив спрямо включените в проучването съвременни сортове (Фигура 5).

Подобни резултати, демонстриращи мутантни линии ечемик с повишен добив на зърно и подобрени продуктивни характеристики, са докладвани и в редица предходни наши проучвания (Dyulgerova and Dyulgerov, 2016, 2017, 2019, 2020a, 2020d, 2024).

В Таблица 1 са представени резултатите за качеството на зърното при 14 мутантни ли-

нии, сравнени със стандартния сорт Веслец, средно за период от пет години. Данните показват, че са създадени линии с подобрени технологични и качествени характеристики. Особено перспективни са линиите КТ 3030, КТ 3038, Кт 3040 и 24/2-10, които се отличават с висока хектолитрова маса, маса на 1000 зърна и повишено протеиново съдържание. Всички анализирани мутанти показват и по-нисък дял на плевите спрямо стандарта, което е индикатор за по-високо качество на зърното, с оглед на неговата пригодност за фураж. Тези мутантни линии представляват ценен генетичен ресурс за бъдеща селекция насочена към подобряване качеството на фуражния ечемик.

**Потенциалът на експерименталния мутагенез** за индуциране на мутантни линии ечемик с подобрени характеристики на зърното – както за фуражни, така и за пивоварни цели – е ясно демонстриран и в предишни наши изследвания (Dyulgerova and Dyulgerov, 2019, 2020c, 2021). Получените резултати



**Фигура 5.** Добив и WAASY (Weighted Average of Absolute Scores from Yield Stability) индекс на 12 мутантни линии и 6 сорта зимен ечемик за период от 8 реколтни години. Обозначенията на генотиповете са дадени в раздел „Материали и методи“

**Figure 5.** Yield and WAASY (Weighted Average of Absolute Scores from Yield Stability) index of 12 mutant lines and 6 winter barley varieties over a period of 8 growing seasons. Genotype codes are provided in the Materials and Methods section

**Таблица 1.** Качество на зърното при мутанти линии зимен многореден ечемик средно за 5 реколтни години (2018/2019-2023/2024 г.)

**Table 1.** Grain quality of mutant lines of winter six-row barley averaged over 5 growing seasons (2018/2019–2023/2024)

№	Генотип/ Genotype	Протеин/ Protein %	Хектолитрово тегло/ Hectoliter weight, kg/hL	Маса на 1000 зърна/ 1000-grain weight g	Съдържание на плеви/ Hull content %
1.	Веслец/Veslets	11.63	65.53	39.93	9.05
2.	КТ 3027	12.47	69.80	38.87	7.14
3.	КТ3029	12.75	66.87	37.43	8.12
4.	КТ3030	11.98	71.50	41.20	8.21
5.	КТ3038	12.02	71.33	41.37	7.73
6.	Кт3040	12.88	71.40	37.27	7.42
7.	Кт3041	11.67	70.50	36.17	7.42
8.	22/2-1	12.00	71.33	37.77	7.79
9.	22/2-18	12.24	69.47	41.47	7.84
10.	22/3-102	11.87	70.17	45.07	7.98
11.	24/2-10	13.08	68.07	41.17	8.07
12.	24/3-5	12.35	68.73	41.47	7.84
13.	24/3-6	12.11	68.27	38.03	8.31
14.	25/2-3	12.68	68.83	39.07	7.42
15.	25/2-7	12.88	68.00	38.57	8.68

потвърждават, че мутационната селекция е ефективен подход за разширяване на генетичното разнообразие и подобряване на качествените параметри при зимния ечемик.

### Мутантни сортове ечемик, създадени в ИЗ-Карнобат

От 2010 г. до днес в Института по земеделие – Карнобат са признати четири нови мутантни сорта зимен ечемик. Три от тях са фуражни сортове от вида *Hordeum sativum* ssp. *vulgare* L. var. *parallelum*, а един е пивоварен сорт от вида *Hordeum sativum* ssp. *distichum* L. var. *nutans*.

### Зимен фуражен ечемик сорт ИЗ Бори

Сортът ИЗ Бори е признат през 2010 г. и произхожда от линия К 280-7, подложена на мутагенна обработка с натриев азид. В сортовете опити, проведени в Института по земеделие – Карнобат, той превъзхожда по добив

стандартите с 17%, а в официалните изпитвания на ИАСАС – с 15%. Сортът се характеризира с висока степен на студо- и зимоустойчивост (91% преживяемост при -14°C), както и с устойчивост на брашнеста мана, кафява, черна и стъблена ръжда. Изкласява едновременно със стандартния сорт Веслец. Зърното е с високо съдържание на протеин и лизин, което го прави подходящо за фуражни цели.

### Зимен фуражен ечемик сорт Божин

Сорт Божин, признат през 2012 г., е получен от линия Н 280-7, обработена с натриев азид. В изпитванията на ИАСАС превишава средния добив на стандартните сортове с 11,7% през 2009 г. и със 7,7% през 2010 г. Продължителността на вегетационния му период е 220 дни – равна на тази на стандарта. Сортът се отличава със средна маса на 1000 зърна, висока хектолитрова маса и добра устойчивост на полягане. Проявява висока устойчивост на

черна ръжда и добра устойчивост на брашнеста и кафява ръжда. Зърното съдържа между 13 и 15% суров протеин.

### **Зимен фуражен ечемик сорт Земела**

Признат през 2018 г., сорт Земела е създаден чрез облъчване с гама-лъчи (200 Gy). В изпитванията на ИАСАС е показал среден добив от 750 kg/da спрямо 668 kg/da при стандарта. Вегетационният период е 228 дни. Сортът превъзхожда стандарта по хектолитрова маса макар да има по-ниска маса на 1000 зърна. Отличава се с много добра зимоустойчивост, добра устойчивост на полягане и средна устойчивост на ръжди и брашнеста мана. Съдържанието на суров протеин е близко до това на стандартните сортове.

### **Зимен пивоварен ечемик сорт Ахил**

Сорт Ахил е признат през 2017 г. и е получен чрез облъчване на семена от сорт Clarine с доза от 300 Gy. В изпитванията на ИАСАС достига среден добив от 709 kg/da спрямо 680 kg/da за стандарта. Вегетационният период е 220 дни. Сортът се характеризира с висока гъстота на посева, голяма маса на 1000 зърна (45,18 g) и висока хектолитрова маса (67,87 kg/hl). Проявява много добра зимоустойчивост и устойчивост на кафява ръжда и брашнеста мана, като същевременно показва средна устойчивост на черна ръжда. Зърното се отличава с високо екстрактно съдържание, по-ниски стойности на разтворим азот и по-високо съдържание на общ белтък в малца – характеристики, благоприятни за пивоварната промишленост.

Създадените и внедрени сортове ечемик потвърждават, че прилагането на експериментален мутагенез е ефективен подход за получаване на генотипове с ценни агрономически и качествени характеристики. Сред тях се открояват повишената студо- и зимоустойчивост, устойчивостта на икономически значими болести (ръжди, брашнеста мана), повишената продуктивност, както и подобреното съдържание на протеин и лизин – ключови показатели за фуражната стойност на зърното.

Фуражните сортове ИЗ Бори, Божин и Земела са адаптирани към агро-климатичните условия на страната и осигуряват стабилни добиви дори при неблагоприятни зимни условия. Пивоварният сорт Ахил се отличава с много добри технологични качества, включително високо екстрактно съдържание – важен фактор за пивоварната индустрия.

### **Бъдещи насоки на работа**

Една от ключовите задачи за бъдещата работа, с цел по-пълноценно използване на потенциала на експерименталния мутагенез за селекционни цели, е създадените мутантни линии да се включват по-интензивно в кръстоски. Използването на мутанти в кръстоски е от съществено значение, тъй като проявата на дадена мутация често зависи от взаимодействията с други гени – както епистазни, така и модификаторни. В различен генетичен контекст ефектът на мутацията може да се усилва, отслабва или дори да не се проявява. Това е особено важно в селекцията, където крайната цел е мутацията да допринася за подобряване на ценни признаци в комерсиални сортове и елитни линии. Въвеждането на мутантни гени в нови генетични комбинации може да доведе до появата на нови фенотипни варианти, които липсват в оригиналния фон. Това разширява генетичното разнообразие и открива нови възможности за селекция. Освен това, на различни генетични фонове мутацията може да показва различна продуктивност или адаптивност спрямо условията на отглеждане, което помага при подбора на най-подходящите комбинации за практическата селекция.

Друга важна насока за бъдеща работа е включването в кръстоски на мутанти, които имат сходен фенотип, с цел да се установи дали те засягат един и същ ген (т.е. са алелни) или различни гени. Провеждането на тестове за алелизъм е от съществено значение по няколко причини: На първо място, определянето дали дадени мутации са в един и същ ген или в различни гени спомага за изясняване на генетичния контрол върху съответния признак. Това

позволява изграждането на по-точна представа за генетичната архитектура на важни стопански качества. Дори когато мутациите засягат един и същ ген, те могат да се различават по сила или механизъм на действие. Чрез тестовете се идентифицират такива функционално различни алели, които биха могли да имат практическо приложение в селекционните програми. Познаването на алелния статус на мутациите е важно и за стратегическото планиране на кръстоските. То подпомага избора на най-подходящите родителски форми и предотвратява излишни кръстосвания, с което ускорява създаването на нови сортове с желани агрономически качества.

Развитието на концепцията за феномна селекция като алтернативен подход на геномната селекция, базирана на информация от близкия инфрачервен спектър (NIR), открива нови възможности за повишаване на ефективността при отбор на генотипове в мутационната селекция (Robert et al., 2022).

Един от основните предизвикателства в мутационната селекция е необходимостта от работа с изключително голям брой мутантни потомства и линии. В този контекст NIR спектроскопията предлага съществени предимства – тя е бърз, евтин и неразрушителен метод, който позволява скрининг на стотици проби с минимални разходи. NIR спектрите отразяват интегралния ефект от генотипа, средата и техните взаимодействия, което ги прави особено подходящи за прогнозиране на комплексни признаци като добив, качество на продукцията и адаптивност. За разлика от методите, които изискват задълбочено молекулярно характеризирание, феномната селекция улавя директно функционалната изява на мутациите.

Приложението на феномната селекция още в ранните етапи на селекционния процес може да се превърне в ключов инструмент за оптимизиране на отбора. Това позволява значително намаляване на времето и разходите, свързани с отглеждането и фенотипирането на големи мутантни популации, като същевременно повишава ефективността на отбора.

Първоначалните резултати от прилагането на този подход, получени в нашите изследвания, са обещаващи. В Институт по земеделие – Карнобат се реализира проект „Интегриран подход за фенотипиране за повишаване на ефективността на отбора в селекцията на зимен ечемик“, финансиран по процедура за национално съфинансиране за участие на български колективи в утвърдени акции по Европейската програма за сътрудничество в областта на научните изследвания и технологии (COST). В рамките на проекта се използва близка инфрачервена спектроскопия (NIR) за прогнозиране на добива и други агрономически признаци. Значителна част от изследваните растителни материали представляват мутантни линии зимен ечемик, създадени в института. Резултатите показват, че NIR спектрите успешно улавят различията между генотиповете и демонстрират умерено висока прогностична способност за добива. Възможностите за подобряване на прогнозните модели чрез интеграция на допълнителни данни от последващи години и агрометеорологични данни предлагат перспектива за повишаване на надеждността и приложимостта на този подход в селекционните програми.

## ИЗВОДИ

Представените резултати от дългогодишната работа по прилагане на експерименталния мутагенез в Институт по земеделие – Карнобат потвърждават ефективността на този метод за създаване на генетично разнообразие при зимния ечемик с реална приложимост в селекционната практика.

Изолираните морфологични мутанти представляват ценен ресурс за фундаментални генетични изследвания. Те разкриват нови възможности за изучаване на механизмите, свързани с растежа, фертилността и адаптацията на културата към променящи се условия. Особен интерес предизвикват безосилестите, голозърнестите и нискостъблените форми, които съчетават стопански важни

признаци с добра адаптивност към локалните агроекологични условия. Тези мутанти имат потенциал да бъдат използвани като изходен материал при създаване на нови сортове с подобрен добив, качество и устойчивост.

Получени са мутантни линии с висока продуктивност, стабилен добив през различни години и подобро качество на зърното, подходящи за включване в съвременните селекционни програми.

Показано е, че прилагането на мутационна селекция води до създаването на адаптивни, високопродуктивни сортове с подобрени технологични и качествени показатели, което ги прави перспективни както за фуражни, така и за пивоварни цели.

Очертани са и бъдещите направления в приложението на експерименталния мутагенез, които следва да бъдат насочени към стратегическо включване на перспективни мутанти в хибридизационни програми и прилагане на иновативни методи, като близка инфрачервена спектроскопия (NIR), с цел ускоряване и повишаване на ефективността на селекционния процес.

## Благодарности

Настоящото изследване е финансирано частично от Фонд „Научни изследвания“ към МОН, по проект № КП-06-КОСТ-1/21.05.2024 реализиран по процедура за национално съфинансиране на българско участие в акции по Европейската програма COST (PANGEOS COST Action CA22136).

## ЛИТЕРАТУРА

- Bort, J., Febrero, A., Amaro, T., & Araus, J. L.** (1994). Role of awns in ear water-use efficiency and grain weight in barley. *Agronomie*, 14(2), 133-139.
- Dyulgerova, B., & Dyulgerov, N.** (2016). Genotype by environment interaction in mutant lines of winter barley for grain yield. *Agricultural Science and Technology*, 8(1), 14-18.
- Dyulgerova, B., & Dyulgerov, N.** (2017). Evaluation of high yielding mutants of *Hordeum vulgare* cultivar Izgrev. *Agricultural Science and Technology*, 9(2), 103-105.
- Dyulgerova, B., & Dyulgerov, N.** (2019). Genetic diversity in sodium azide-induced barley mutant lines. *Trakia Journal of Sciences*, 17(4), 385-391.
- Dyulgerova, B., & Dyulgerov, N.** (2019). Genotype by environment interaction for grain yield of barley mutant lines. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*, 65(2), 51-58.
- Dyulgerova, B., & Dyulgerov, N.** (2020a). Evaluation of advanced mutant lines of winter barley. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 26(4), 829-834.
- Dyulgerova, B., & Dyulgerov, N.** (2020b). Evaluation of hullless mutants of winter barley. *Agriculturae Con-spectus Scientificus*, 85(3), 203-209.
- Dyulgerova, B., & Dyulgerov, N.** (2020c). Grain quality of mutant lines induced in malting barley varieties. *Trakia Journal of Sciences*, 18(1), 47-54.
- Dyulgerova, B., & Dyulgerov, N.** (2020d). Grain yield and yield related traits of sodium azide induced barley mutant lines. *Journal of Central European Agriculture*, 21(1), 83-91.
- Dyulgerova, B., & Dyulgerov, N.** (2021). Grain quality of mutant lines of six-rowed barley. *Agricultural Science and Technology*, 13(1), 19-23.
- Dyulgerova, B., & Dyulgerov, N.** (2024). Assessment in mutant lines of winter barley using BLUPs. *Agricultural Science & Technology*, 16(1), 18-26.
- Franckowiak, J. D.** (1997a). Stock number: BGS 75. Locus name: Awnless. Locus symbol: Lks1. *Barley Genetics Newsletter*, 26, 112.
- Franckowiak, J. D.** (1997b). Stock number: BGS 152. Locus name: Hooded lemma 1. Locus symbol: Kap. *Barley Genetics Newsletter*, 26, 179-180.
- Gramatikova, M.** (1997). Genetic and Breeding Studies in Barley. Habilitation Thesis for the Award of the Scientific Title „Senior Research Associate First Degree“ in Plant Breeding and Seed Production, Karnobat.
- Gramatikova, M., & Stefanov, T.** (1984). The Use of Mutagenesis in Barley Breeding. *Genetics and Breeding*, 6, 33-42.
- Hansson, M., Youssef, H. M., Zakhrebekova, S., et al.** (2024). A guide to barley mutants. *Hereditas*, 161, 11. <https://doi.org/10.1186/s41065-023-00304-w>
- Kleinhofs, A., Hodgdon, A. L., Owais, W. M., & Nilan, R. A.** (1984). Effectiveness and safety of sodium azide mutagenesis. In: *Induced mutation for crop improvement in Latin America* (Proceedings Regional FAO/IAEA Seminar, Lima, Peru, 1982), 53-58.
- Koppolu, R., Jiang, G., Milner, S. G., Muqaddasi, Q. H., Rutten, T., Himmelbach, A., ... & Schnurbusch, T.** (2022). The barley mutant multiflorus2. b reveals

- quantitative genetic variation for new spikelet architecture. *Theoretical and Applied Genetics*, 1-20.
- Liu, C., Frascarelli, G., Stec, A. O., Heinen, S., Lei, L., Wyant, S. R., ... & Morrell, P. L.** (2024). Sodium azide mutagenesis induces a unique pattern of mutations. *bioRxiv*, 2024-05.
- Meints, B., Vallejos, C., & Hayes, P.** (2021). Multi-use naked barley: A new frontier. *Journal of Cereal Science*, 102, 103370.
- Olivoto, T., Lúcio, A. D. C., Da Silva, J. A. G., Marchioro, V. S., de Souza, V. Q., & Jost, E.** (2019). Mean performance and stability in multi-environment trials I: Combining features of AMMI and BLUP techniques. *Agronomy Journal*, 111(6), 2949–2960.
- Olivoto, T., & Lúcio, A. D. C.** (2020). Mean: An R package for multi-environment trial analysis. *Method in Ecology and Evolution*, 11(6), 783–789.
- Qin, D. D., Liu, R., Xu, F., Dong, G., Xu, Q., Peng, Y., ... & Li, C.** (2023). Characterization of a barley (*Hordeum vulgare* L.) mutant with multiple stem nodes and spikes and dwarf (msnsd) and fine-mapping of its causal gene. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1189743.
- Robert, P., Brault, C., Rincant, R., & Segura, V.** (2022). Phenomic selection: A new and efficient alternative to genomic selection. *Genomic prediction of complex traits: Methods and protocols*, 397-420.
- Tomlekova, N.** (2010). Induced mutagenesis for crop improvement in Bulgaria. *Plant Mutation Reports*, 2(2), 4-27.

Received: December, 18, 2025; Approved: March, 02, 2026; Published: April, 2026