

## **Изследване на реакцията на царевична линия LRL 101 към прилагането на някои вегетационни хербициди**

Светлана Стоянова\*, Евгения Жекова, Любомир Иванов

*Институт по земеделие и семезнание „Образцов чифлик“, 7007 Русе, България  
Селскостопанска академия, 1373, София, България*

## **A Study on the Response of Maize Line LRL101 to the Application of Some Vegetation Herbicides**

Svetlana Stoyanova\*, Lyubomir Ivanov, Evgenia Zheкова

*Institute of Agriculture and Seed Science "Obratzov Chiflik", 7007 Ruse, Bulgaria  
Agricultural Academy of Bulgaria, 1373 Sofia, Bulgaria*

*\*E-mail: sv\_stoianova@mail.bg*

*Оригинална научна статия*

### **РЕЗЮМЕ**

Настоящото изследване има за цел да оцени чувствителността и продуктивността на царевична линия LRL101 след третиране с три вегетационни хербицида – Аденго 465 СК, Лаудис ОД и Хемнико 25 СК. Визуалната оценка на фитотоксичността, проведена по скалата на EWRS, отчита слаби симптоми на увреждане (бал 2) през първите 10 - 20 дни след третирането, които напълно изчезват до 40-ия ден. Морфологичните характеристики и хабитусът на растенията във фаза пълна зрялост не се различават съществено от контролата. Анализът на структурните елементи на добива показва, че всички приложени хербициди оказват положителен ефект върху показателите дължината и масата на кочана, масата на зърната и броя зърна в ред. Най-високи стойности са отчетени при двукратно приложение на Лаудис ОД и Хемнико

### **SUMMARY**

The present study aims to evaluate the sensitivity and productivity of maize line LRL101 following treatment with three vegetation herbicides – Adengo 465 SC, Laudis OD, and Hemnyco 25 SC. The visual assessment of phytotoxicity, conducted according to the EWRS scale, records mild injury symptoms (score 2) during the first 10–20 days after treatment, which completely disappear by day 40.

The morphological characteristics and the habitus of the plants at full maturity phase do not differ significantly from the control. The analysis of the yield's structural elements show that all applied herbicides have a positive effect on ear's length and weight, the grain weight and the number of grains per row.

The highest values were recorded under double applications of Laudis OD and Hemnyco 25 SC, where statistically

25 СК, при които са установени статистически значими различия ( $\alpha = 0.001$  и  $\alpha = 0.05$ ). Средният добив от зърно за периода 2018–2020 г. варира от 4930 до 5690 kg ha<sup>-1</sup>, като увеличението спрямо контролата достига 24%. Резултатите от двуфакторния дисперсионен анализ показват, че климатичните условия имат решаващо влияние върху добива (125.723%), докато ефектът на хербицидите е по-слаб, но статистически доказан (0.703%). Получените данни потвърждават, че прилагането на вегетационни хербициди от класовете трикетони и триазолпиримидинсулфонамиди осигурява ефективен контрол на плевелите и създава благоприятни условия за растеж и развитие на растенията, без значима фитотоксичност, подпомагайки реализирането на генетичния потенциал на линия LRL101.

**Ключови думи:** царевица, изоксафлутол, тиенкарбазон-метил, темботрион, никосулфурон, чувствителност към хербициди, елементи на добива, заплевеляване

## УВОД

Царевицата (*Zea mays* L.) е сред най-важните зърнено-фуражни култури в световното земеделие, заемаща водещо място в производството на храни, фуражи и суровини за индустрията. Реализирането на нейния добивен потенциал е в пряка зависимост от ефективното управление на факторите на средата, сред които заплевеляването представлява един от основните ограничаващи фактори. Ефективният контрол на плевелната растителност е ключов за постигане на стабилна продуктивност при царевицата, особено при инбредни линии, характеризиращи се с различна степен на толерантност към хербициди.

Вегетационните хербициди,

significant differences were established ( $\alpha = 0.001$  and  $\alpha = 0.05$ ).

The average grain yield for the period 2018–2020 ranged from 4930 to 5690 kg ha<sup>-1</sup>, representing up to a 24% increase compared to the control.

Results from the two-way ANOVA indicated that climatic conditions had a decisive influence on yield formation (125.723%), while the herbicide effect was weaker but statistically confirmed (0.703%).

The obtained data demonstrate that the application of vegetation herbicides from the triketone and triazolpyrimidinesulfonamide classes ensures effective weed control and creates favorable conditions for plant growth and development, without inducing significant phytotoxicity, thus supporting the realization of the genetic yield potential of maize line LRL101.

**Key words:** maize, isoxaflutol, thien carbazone-methyl, tembotrione, nicosulfuron, herbicide sensitivity, yield elements, weeding

## INTRODUCTION

Maize (*Zea mays* L.) is among the most important cereal and forage crops in global agriculture, occupying a leading position in the production of food, feed, and industrial raw materials.

The realization of its yield potential directly depends on the effective management of environmental factors, among which weed infestation represents one of the major limiting components. Efficient weed control is a key prerequisite for achieving stable productivity in maize, especially in inbred lines characterized by different degrees of herbicide tolerance.

Vegetation herbicides, applied after

прилагани след поникване на културата, предоставят възможност за гъвкаво управление на заплевеляването и намаляване на конкуренцията за светлина, вода и хранителни вещества (Knezevic et al., 2013; Gharde et al., 2018). Сред най-широко използваните представители на тази група са Аденго 465 СК, Лаудис ОД и Хемнико 25 СК, отличаващи се с различен механизъм на действие и спектър на контрол.

Аденго 465 СК (изоксадифенетил + тиаметон + мезотрион) е системен хербицид с комбинирано почвено и вегетационно действие, инхибиращ ензима 4-хидроксифенилпируватдиоксигеназа (HPPD), което води до блокиране на биосинтеза на каротиноиди и побеляване на чувствителните плевели. Лаудис ОД (темботрион) принадлежи към същия химичен клас – трикетони – и действа чрез аналогичен механизъм, осигурявайки висок контрол върху широколистни и житни плевели при вегетационно приложение. Хемнико 25 СК (никосулфурон) е представител на групата на сулфониуреите и действа като инхибитор на ацетолактатсинтазата (ALS), което нарушава синтеза на есенциални аминокиселини и води до загиване на чувствителните видове.

Комбинацията от тези хербициди в технологията на отглеждане на царевица разширява възможностите за ефективен контрол върху широк спектър плевели от сем. Poaceae и Asteraceae, като същевременно позволява оценка на тяхната селективност спрямо различни генотипове, включително линията LRL101.

Съвременните вегетационни хербициди се характеризират с висока селективност, която позволява успешното им приложение в различни фази от развитието на културата

crop sprouting, provide flexible opportunities for managing weed competition and reducing the depletion of light, water, and nutrients (Knezevic et al., 2013; Gharde et al., 2018).

Among the most widely used representatives of this group are Adengo 465 SC, Laudis OD, and Hemnyco 25 SC, which differ in their mechanisms of action and spectrum of control.

Adengo 465 SC (isoxadifen-ethyl + thiencazuron-methyl + mesotrione) is a systemic herbicide with both soil and foliar activity. It inhibits the enzyme 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase (HPPD), blocking carotenoid biosynthesis and causing bleaching in sensitive weed species.

Laudis OD (tembotrione) belongs to the same chemical class – triketones – and acts through a similar mechanism, providing high control efficiency against broadleaf and grass weeds when applied vegetatively.

Hemnyco 25 SC (nicosulfuron) is a sulfonylurea herbicide that inhibits acetolactate synthase (ALS), disrupting the synthesis of essential amino acids and leading to the death of susceptible plants.

The combined use of these herbicides in maize production technology broadens the spectrum of effective weed control across families Poaceae and Asteraceae, while allowing for the evaluation of their selectivity toward different genotypes, including line LRL101.

Modern vegetation herbicides are characterized by high selectivity, which enables their successful application in various stages of crop development (Pallett et al., 2001).

(Pallett et al., 2001). Въпреки това тяхната ефективност и потенциална фитотоксичност могат да варират в зависимост от генотипа на растенията, агроекологичните условия и начина на приложение.

Оценката на чувствителността на различни генотипове към хербициди представлява съществен елемент в процеса на селекция и внедряване на нови линии и хибриди с повишена устойчивост и стабилна продуктивност (Abit et al., 2010). Изследването на взаимодействието между хербицидите и конкретни генотипове на царевичната допринася за оптимизиране на технологиите на отглеждане и минимизиране на риска от фитотоксични прояви. Ефективната борба с плевелите изисква системно изпитване на нови средства за контрол, съобразени с почвено-климатичните условия и биологичните особености на използваните генотипове (Dimitrova et al., 2013a; 2013b; Gerasimova, 2013).

Целта на настоящото изследване е да се оцени реакцията на царевична линия LRL101 към прилагането на някои вегетационни хербициди, чрез анализ на техните ефекти върху структурните елементи на добива и общата продуктивност на растенията при полски условия.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

Изследването е проведено в опитното поле на Институт по земеделие и семезнание „Образцов чифлик“ – Русе, България. Институтът е разположен в Северния климатичен район на Дунавската хълмиста равнина на надморска височина 152 m, 43°48' северна ширина и 26°02' източна дължина. Експерименталната площ е с почвен тип силно излужен чернозем, на който карбонатите са изнесени на дълбочина 100-190 cm от почвената повърхност. Активното плодородие на почвата е с добър

Nevertheless, their efficiency and potential phytotoxicity may vary depending on plant genotype, agroecological conditions, and method of application.

Assessing the sensitivity of different maize genotypes to herbicides is an essential element in the selection and development of new lines and hybrids with improved tolerance and stable productivity (Abit et al., 2010).

The study of herbicide–genotype interactions contributes to optimizing cultivation technologies and minimizing the risk of phytotoxic effects.

Effective weed management therefore requires systematic testing of new control agents adapted to specific soil and climatic conditions and the biological characteristics of the studied genotypes (Dimitrova et al., 2013a; 2013b; Gerasimova, 2013).

The aim of the present study is to evaluate the response of maize line LRL101 to the application of selected vegetation herbicides by analyzing their effects on yield's structural components and the overall plant productivity under field conditions.

## MATERIAL AND METHODS

The study was conducted in the experimental field of the Institute of agriculture and seed science “Obraztsov Chiflik” – Ruse, Bulgaria. The institute is located in the Northern climatic region of the Danube hilly plane at 152 m above the sea level, 43°48' North latitude and 26°02' East longitude.

The experimental area is of soil type highly leached chernozem, carbonates of which are exported at 100-190cm of depth from the soil surface. The active fertility of the soil is with a good potassium stock (33.17 mg 100g<sup>-1</sup> soil),

калиев запас ( $33.17 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$  почва), недостатъчен азотен ( $16.84 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$  почва) и слаб фосфорен ( $6.15 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$  почва) хранителен режим. Физикохимичните свойства на почвата се характеризират със слабо кисела почвена реакция pH (в KCL 5.6 – 6.7) и степен на наситеност с бази 89 – 92 % (Kazandjiev, 2008).

През периода 2018–2020 г. е проведен полски опит с царевична линия LRL101 по блоковия метод на Шанин, при седем варианта в три повторения и площ на реколтната парцела  $10 \text{ m}^2$  (Shanin, 1977). Сеитбата на културата е извършена след предшественик пшеница, на дълбочина 6–8 cm, с парцелна сеялка с работна ширина 1.40 m, в оптималния за района срок — през втората десетдневка на месец април. Прилагана е стандартна технология за отглеждане на културата при сеитбена норма  $55\,000$  растения  $\text{ha}^{-1}$  (Popov et al., 1966). След прибирането на предшественика е извършена дълбока оран на 25 cm, а преди сеитбата — двукратно дискуване на дълбочина 10–12 cm, последвано от култивиране и валиране преди и след сеитбата за довеждане на почвата до градинско състояние. През годините опитната площ е торена с  $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}_{15}\text{P}_{15}\text{K}_{15}$  като основно торене, а през пролетта, с предсеитбеното култивиране, е внесен допълнително  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  азотен тор (амониева селитра, 33%).

Изпитано е влиянието на три вегетационни хербицида: Аденго 465 СК, Лаудис ОД и Хемнико 25 СК, внесени с гръбна пръскачка, оборудвана с дюза с плосък вентилатор, при разход на работен разтвор  $200 \text{ l ha}^{-1}$ , във фаза 5–6 лист (BBCH 15–16) на културата. Препаратите са приложени в оптимални дози — еднократно и двукратно, през интервал от 20 дни (Таблица 1). През целия период на изследването е поддържан контролен

insufficient nitrogen ( $16.84 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$  soil) and weak phosphorus ( $6.15 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$  soil) diet. The physicochemical properties of the soil are characterized with low acidic soil reaction pH (in KCL 5.6 – 6.7) and saturation degree with bases 89 – 92 % (Kazandjiev, 2008).

During the period of 2018–2020 a field experiment was conducted with maize line LRL101 by the block method of Shanin in seven variants by three iterations and an area of yield lot  $10 \text{ m}^2$  (Shanin, 1977).

The sowing of crops was conducted after a predecessor wheat at depth of 6–8 cm using seed drill with width of 1.40m in the optimal for the district period – the second 10 days of April.

The standard technology of growing the crop in sowing norm of  $55\,000$  plants  $\text{ha}^{-1}$  was applied (Popov et al., 1966). After harvesting the predecessor a deep ploughing at 25 cm was conducted and before the - sowing a double discing at the depth of 10–12 cm, followed by cultivation and rolling before and after the sowing in order to bring the soil to gardening condition. Throughout the year the experimental area was fertilized with  $200\text{kg ha}^{-1} \text{ N}_{15}\text{P}_{15}\text{K}_{15}$  as main fertilization and in the Spring, with the pre-sowing cultivation, an additional  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  nitrogen fertilizer (ammonium nitrate 33%) was inserted.

The influence of three vegetation herbicides was tested: Adengo 465 SC, Laudis OD and Hemnyco 25 SC, inserted by a backpack sprayer equipped with a nozzle with flat ventilator with consummation of solution  $200 \text{ l ha}^{-1}$ , in phase 5–6 list (BBCH 15–16) of the culture.

The chemicals were applied in optimal doses - once and twice at an interval of 20 days (Table 1). Throughout the period of the study a control variant, clean of weeds, was maintained by two

вариант, чист от плевели, чрез две механизирани окопавания на междуредията и две ръчни окопавания на редовете.

mechanized drippings between the rows and two manual drippings in the rows.

Таблица 1. Варианти на експеримента  
Table 1. Variants of the experiment

| Варианти / Variants                                      | Активни вещества / Active substance                                                                                                                                                             | Дози - търговски продукт<br>Doses - herbicides, g ha <sup>-1</sup> (ml ha <sup>-1</sup> ) | Доза - а.в.<br>Doses - active substance, g ha <sup>-1</sup> |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Стопанска (окопна) контрола<br>Economic (trench) control | -                                                                                                                                                                                               | -                                                                                         | -                                                           |
| Аденго 465СК / Adengo 465SC                              | (изоксафлутол/isoxaflutol - 225 g l <sup>-1</sup> ; тиенкарбазон-метил/thiencarbazone-methyl - 90 g l <sup>-1</sup> , ципросулфамид/ciprosulfamide (антидот/antidote) - 150 g l <sup>-1</sup> ) | 350                                                                                       | 162.7                                                       |
|                                                          |                                                                                                                                                                                                 | 300+50                                                                                    | 139.5+23.2                                                  |
| Лаудис ОД / Laudis OD                                    | (темботрион/tembotrione 44 g l <sup>-1</sup> ; изоскадифен-етил/Isoxadiphen-ethyl (антидот/antidote) 22 g l <sup>-1</sup> )                                                                     | 2000                                                                                      | 132.0                                                       |
|                                                          |                                                                                                                                                                                                 | 1500+500                                                                                  | 99.0+33.0                                                   |
| Хемнико 25СК / Chemnico 25SC                             | (никосулфурон/nicosulfuron 240 g l <sup>-1</sup> )                                                                                                                                              | 210                                                                                       | 50.4                                                        |
|                                                          |                                                                                                                                                                                                 | 150+60                                                                                    | 36.0+14.4                                                   |

Селективността на прилаганите хербициди е определена чрез визуалната оценка на фитотоксичните симптоми по културните растения, използвайки 9-балната скала на EWRS (European Weed Research Society). Оценяването е проведено на 7-ми, 14-ти, 21-ви и 40-тия ден след третирането. Стойност 0 показва отсъствие на видими повреди, докато 9 означава пълно унищожаване на растенията. Получените стойности отразяват степента на физиологична реакция на линията LRL101 към прилаганите хербициди и служат като показател за тяхната селективност при полски условия.

Прибирането на царевицата е извършено ръчно във фаза технологична зрялост (BBCH 89–99). Добивите са отчетени от трите

The selectivity of the applied herbicides is determined by the visual assessment of the phytotoxic symptoms on cultivated plants, using the 9-point scale of EWRS (European Weed Research Society).

The assessment was conducted on the 7<sup>th</sup>, 14<sup>th</sup>, 21<sup>st</sup> and 40<sup>th</sup> day after the treatment. A value 0 shows absence of visual damages, while 9 means full destruction of the plants. The received values show the degree of physiological reaction of the line LRL101 to the applied herbicides and act like a indicator of their selectivity in field conditions.

The harvesting of maize was conducted by hand in the phase of technological maturity (BBCH 89–99). The yields are reported from three crop

реколтни парцела и приравнени към стандартна влага 14%, като са изразени в  $\text{kg ha}^{-1}$ . Продуктивността на културата е определена и чрез биометрични показатели: дължина на кочана (cm), брой редове в кочана, маса на един кочан (g), брой зърна в един ред, а след оронване – маса на зърната от един кочан (g).

Данните за метеорологичните условия през периода на проучването са получени от стационарната метеорологична клетка при ИЗС „Образцов чифлик“, разположена в непосредствена близост до опитното поле. На базата на месечното количество валежи и средната денонощна температура е изчислен индексът на сухота на de Martonne (IDM) – показател, характеризиращ условията на овлажняване на дадена територия (Paltineanu et al., 2007).

Данните от изследването са обработени чрез статистически методи с помощта на програмата SPSS (версия 19.0). Значимостта на разликите между факторите е оценена чрез еднофакторен дисперсионен анализ (ANOVA), а различията между средните стойности са проверени с теста на Tukey при ниво на значимост  $\alpha=0.05$ . За да се определи степента на влияние и взаимодействието между факторите хербициди (B), година (Y) и хербициди  $\times$  година (B $\times$ Y) върху изследваните признаци, е приложен двуфакторен дисперсионен анализ (Ganeva, 2016).

## РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Климатът в района на Образцов чифлик е умерено континентален, с горещо и сухо лято, чести суховеи и недостатъчни валежи, както и със студена зима и кратки преходни сезони. Основните рискови фактори за царевичата са летните засушавания, ниската атмосферна влажност и високите температури през юни–август (Таблица 2).

parcels and equated to standard moisture of 14% expressed in  $\text{kg ha}^{-1}$ .

The productivity of the culture is conducted by biometrical indicators: length of ear (cm), number of rows in the ear, weight of one ear (g), number of grains in a row and after shelling – weight of grains from one ear (g).

The data for the meteorological conditions during the period of studying are received from the stationary meteorological cell at IASS “Obraztsov Chiflik”, positioned in a closed proximity to the experimental field.

Based on the monthly amount of rains and the average temperature for 24 hours, the De Martone aridity index was computed – a indicator that characterizes the conditions of humidification of given territory (Paltineanu et al., 2007).

The data of the study was processed by statistic methods using the program SPSS (version 19.0). The significance of the differences between the factors is assessed by one-way analysis of variance (ANOVA), while the differences between the average values are checked with the test of Tukey at a significance level of  $\alpha=0.05$ . In order for the degree of influence and interaction between the factors herbicides (B), year (Y) and herbicides  $\times$  year (B $\times$ Y) on the studied signs to be determined, a two-way analysis of variance was applied (Ganeva, 2016).

## RESULTS AND DISCUSSION

The climate in the region of Obraztsov Chiflik is temperate continental, characterized by hot and dry summers with frequent dry winds and insufficient rainfall, and by cold winters with short transitional seasons. The main climatic risks for maize are summer droughts, low air humidity, and high temperatures during June–August (Table 2).

През изследвания период (2018 - 2020 г.) климатичните условия са били относително благоприятни за развитието на културата. Средните месечни температури през вегетацията (април–септември) надвишават многогодишната норма с +0.1 до +4.7°C, с изключение на юли 2018 г. (−0.2°C). Валежите през периода възлизат средно на 85.1 % от многогодишната норма, като през 2018 г. се наблюдава валежен период (над 100 % над нормата), последван от рязко засушаване през август. През 2019 и 2020 г. количеството на валежите е под нормата – съответно 76.3 % и 73.2 %, но тяхното поравномерно разпределение е осигурило добра водоосигуреност в критичните фази от развитието на царевичата.

During the study period (2018–2020), the weather conditions were relatively favorable for maize development. The average monthly air temperatures during the growing season (April–September) exceeded the long-term mean by +0.1 to +4.7°C, except for July 2018 (−0.2°C).

The total rainfall during the vegetation period accounted for 85.1% of the long-term average, with 2018 being notably wetter (over 100% above the norm) followed by a sharp drought in August. In 2019 and 2020, precipitation was below the average — 76.3% and 73.2%, respectively — but its more even distribution ensured adequate soil moisture during the critical growth stages of maize.

**Table 2. Метеорологични показатели през вегетационния период на царевичата, за периода 2018-2020 г.**

**Table 2. Meteorological indicators during the vegetation period of maize, for the period 2018-2020**

| Период / Period                                                                     |      | Период на вегетация / Period of vegetation |       |       |       |      |       | Средна / Average<br>I - IX |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------------------------------------|-------|-------|-------|------|-------|----------------------------|
|                                                                                     |      | IV                                         | V     | VI    | VII   | VIII | IX    |                            |
| Средномесечна температура на въздуха / Average monthly of the air temperature, t °C |      |                                            |       |       |       |      |       |                            |
| Средно за МП / Average for MP                                                       |      | 11.4                                       | 16.4  | 20.2  | 22.5  | 23.9 | 17.9  | 18.7                       |
| Отклонение, ± °C от МП /<br>Deviation, ± °C from MP                                 | 2018 | +4.7                                       | +3.1  | +1.7  | -0.2  | +0.1 | +1.1  | +1.7                       |
|                                                                                     | 2019 | +0.1                                       | +0.6  | +2.2  | +0.5  | +0.5 | +1.7  | +0.9                       |
|                                                                                     | 2020 | +0.8                                       | +0.1  | +0.4  | +1.6  | +1.4 | +2.7  | +1.2                       |
| Месечна сума на валежите / Monthly amount of precipitation, mm                      |      |                                            |       |       |       |      |       |                            |
| Средно за МП / Average for MP 1896<br>-2005                                         |      | 51.1                                       | 66.2  | 80.9  | 66.7  | 48.4 | 43.0  | 59.4                       |
| Отклонение от МП /<br>Deviation,<br>% from MP                                       | 2018 | 16.8                                       | 56.0  | 130.3 | 251.6 | 27.5 | 153.0 | 105.9                      |
|                                                                                     | 2019 | 109.6                                      | 106.3 | 159.6 | 50.5  | 21.7 | 10.2  | 76.3                       |
|                                                                                     | 2020 | 26.6                                       | 101.4 | 155.7 | 1.6   | 42.4 | 111.2 | 73.2                       |
| Индекс на сухота по de Martonne / The de Martonne aridity index - IDM               |      |                                            |       |       |       |      |       |                            |
| 2018                                                                                |      | 1.4                                        | 3.9   | 8.9   | 13.6  | 1.0  | 7.3   | 6.0                        |
| 2019                                                                                |      | 2.6                                        | 2.6   | 4.0   | 1.0   | 0.3  | 0.1   | 1.8                        |
| 2020                                                                                |      | 0.6                                        | 2.5   | 4.1   | 0.0   | 0.6  | 1.6   | 1.6                        |

MP (multiannual period), For a multi-year period, the period from 1896 to 2006 was used as a climatic norm, as this period includes 10-day period with differences in meteorological factors.

Стойности на индекса (IDM), климата се класифицира като: IDM<10 – сух; 10≤IDM≤24 – полусух; 24≤IDM≤30 – умерено сух; 30≤IDM≤35 – слабо влажен; 35≤IDM≤40 – умерено влажен и 40≤IDM≤45 – влажен.

Изчисленият индекс на сухота по de Martonne показва, че вегетационният период средно за трите години е сух ( $I = 6.0-1.6$ ), като само юли 2018 г. е определен като полусух ( $I = 13.6$ ). Засушаванията са били най-изразени през април, юли и август, съчетани с високи температури и ниска влажност на въздуха, което ограничи влагоспасяването в почвата.

Оценката на визуалните симптоми на увреждане, причинени от хербицидите Аденго 465 СК, Лаудис ОД и Хемнико 25 СК, приложени в дозите, представени в Таблица 1, е извършена окомerno по скалата на EWRS за фитотоксичност. Получените резултати показват, че на 10-ия и 20-ия ден след третирането са наблюдавани видими прояви на фитотоксичност (бал 2), изразяващи се в леко изоставане в растежа на царевичните растения. До 40-ия ден след третирането растенията се възстановяват напълно. Морфологичните характеристики и общият хабитус на третираните растения във фаза пълна зрялост не се различават съществено от тези на контролния вариант. Степента на фитотоксичност е допълнително оценена чрез анализа на добива и неговите структурни елементи при царевична линия LRL101.

Въвеждането на хербициди от класовете трикетони и триазолпиримидинсулфонамиди в технологията на отглеждане на царевичната разширява възможностите за ефективно потискане на едногодишни и многогодишни плевели от сем. *Poaceae*. Това се дължи на факта, че тези хербициди могат да се прилагат през вегетационния период на културата. От друга страна, въвеждането и интензивното приложение на хербициди, от посочените класове, доведоха до

The de Martonne aridity index indicated that, on average, the maize vegetation period during 2018–2020 was dry ( $I = 6.0-1.6$ ), with only July 2018 classified as semi-arid ( $I = 13.6$ ). Droughts were most pronounced in April, July, and August, accompanied by high air temperatures and low humidity, which limited soil water reserves.

The assessment of the visual symptoms of damaging caused by the herbicides Adengo 465 SC, Laudis OD and Hemnyco 25 SC, applied at the doses shown in Table 1, was conducted by eye by the scale of EWRS for phytotoxicity.

The received results show that on the 10<sup>th</sup> to 20<sup>th</sup> day after the treatment noticeable signs of phytotoxicity (score 2) are observed that express as minor growth delay of maize plants. To the 40<sup>th</sup> day of the treatment the plants recover completely.

The morphological characteristics and the common habitus of the treated plants in full maturity phase do not significantly differ from the ones of the control variant. The degree of phytotoxicity is additionally assessed by analysis of the yield and its structural elements with maize line LRL101.

The insertion of herbicides from the classes triketones and triazolopyrimidine sulfonamide to the growth technology of the maize extends the abilities for effective suppression of one-year and multi-year weed from *Poaceae* family.

This is due to the fact that these herbicides can be applied through the vegetation period of the culture. On the other hand, the insertion and the intensive usage of herbicides from the pointed classes led to increased sensitivity on line LRL101. Stefanovic et

повишаване на чувствителността на линия LRL101. Stefanovic et al. (2008) установяват различия в устойчивостта към никосулфурон между отделни инбредни линии и отбелязват, че метаболизмът на хербицида протича значително по-бързо при устойчивите в сравнение с чувствителните линии на царевица.

Резултатите от други изследвания показват, че разликите в ензимната активност вероятно представляват основен фактор за по-голяма толерантност на хибридите към никосулфурон (Simić et al., 2022; Simić et al., 2025). Толерантността към трикетоните и триазолпиримидинсулфонамидните хербициди не винаги е пряка функция на растителния метаболизъм, като и други физиологични или биохимични фактори могат да допринасят за наблюдаваната селективност (Brankov et al., 2021). Разликите между третираните варианти са определени чрез измерване на различни параметри на растеж (Таблица 3).

Дължината на кочана (cm) е важен морфологичен показател, който оказва съществено влияние върху добива при царевицата. С увеличаването на дължината на кочана нараства и броят на зърната в него, което води до по-висок добив. Получените данни показват, че всички приложени третирания за борба с плевелите са оказали положителен ефект върху този показател. Най-голяма дължина на кочана е отчетена при варианта с двукратно прилагане на Аденго 465 СК, в сравнение с останалите третирания. Този вариант е последван от варианта с Лаудис ОД (15.46 cm), докато най-малка дължина на кочана е наблюдавана при контролния вариант (12.97 cm).

Навременното приложение на хербицидите осигурява ефективен контрол на плевелната растителност и съкращава периода на конкуренция

al. (2008) identify differences in nicosulfuron resistance between individual inbred lines and note that herbicide metabolism occurs significantly faster in resistant lines than in sensitive maize lines.

Results from other studies indicate that differences in enzyme activity are likely a major factor in the greater tolerance of hybrids to nicosulfuron (Simić et al., 2022; Simić et al., 2025).

Tolerance to triketone and triazolopyrimidine sulfonamide herbicides is not always a direct function of plant metabolism, as other physiological or biochemical factors may contribute to the observed selectivity (Brankov et al., 2021).

The differences between the treated variants were determined by measuring various growth parameters (Table 3).

The length of the ear (cm) is an important morphological indicator that has a significant impact on maize yield. As the length of the ear increases, the number of grains does also increase in it, which leads to a higher yield.

The data obtained show that all weed control treatments had a positive effect on this indicator. The longest ear length was recorded in the variant with two applications of Adengo 465 SC, compared to the other treatments.

This variant was followed by the variant with Laudis OD (15.46 cm), while the shortest ear length was observed in the control variant (12.97 cm).

Timely application of herbicides ensures effective weed control and shortens the period of competition between weeds and crops.

между плевелите и културните растения. Това позволява на царевичните растения да натрупват повече фотосинтетични пигменти, използвайки оптимално наличните хранителни вещества. Получените по-високи стойности на този показател са статистически значими при  $\alpha=0.001$  за вариантите с Аденго 465 СК и Лаудис ОД, както и при  $\alpha=0.05$  за варианта с Хемнико 25 СК. Тези резултати съответстват на данните, представени от Singh and Singh (2003) и Stefanovic et al. (2004), които също установяват по-голяма дължина на кочана при третираните варианти в сравнение с контролните.

Броят на редовете в кочана влияе пряко върху неговото тегло и оказва положително въздействие върху общия добив. Според получените резултати, максималният брой редове в кочана (14.93) е отчетен при вариантите с двукратно прилагане на Аденго 465 СК и еднократно на Хемнико 25 СК, чиито стойностите са статистически равни с тези на контролата. Останалите варианти показват по-малък брой редове в кочана, но с по-високи стойности в сравнение с контролния вариант (14.06).

Наблюденията върху този показател потвърждават, че прилагането на ефективни практики за борба с плевелите допринася за формиране на по-голям брой редове в кочана и съответно за повишаване на добива. Тези резултати са в съответствие с докладваните от Singh et al. (1985) и Sulewska et al. (2006), които съобщават, че хербицидното третиране на царевичните растения води до увеличаване на броя на редовете в кочана.

Масата на един кочан е важен показател, който има съществено значение за определяне на добива при царевичната. Максималната стойност на този показател (26.30 g) е отчетена

This allows corn plants to accumulate more photosynthetic pigments, making optimal use of available nutrients.

The higher values obtained for this indicator are statistically significant at  $\alpha=0.001$  for the variants with Adengo 465 SC and Laudis OD, as well as at  $\alpha=0.05$  for the variant with Hemniko 25 SC.

These results correspond to the data presented by Singh and Singh (2003) and Stefanovic et al. (2004), who also found greater ear length in the treated variants compared to the controls.

The number of rows in the ear directly affects its weight and has a positive effect on the overall yield. According to the results obtained, the maximum number of rows in the ear (14.93) was recorded in the variants with two applications of Adengo 465 SC and one application of Hemniko 25 SC, whose values are statistically equal to those of the control.

The other variants show a smaller number of rows in the ear, but with higher values compared to the control variant (14.06).

Observations on this indicator confirm that the application of effective weed control practices contributes to the formation of a greater number of rows in the ear and, accordingly, to an increase in yield.

These results are consistent with those reported by Singh et al. (1985) and Sulewska et al. (2006), who report that herbicide treatment of maize plants leads to an increase in the number of rows in the ear.

The weight of an ear is an important indicator that is essential for determining the maize yield. The maximum value of this indicator (26.30 g) was recorded in the variant with two

при варианта с двукратно прилагане на Лаудис ОД, като резултатът е статистически значим при  $\alpha = 0.001$ . При останалите варианти са наблюдавани близки стойности, които обаче са по-високи от тези на контролния вариант (17.17 g), но без статистическа значимост.

Подобни резултати са докладвани и от Tahir et al. (2009) и Mehmeti et al. (2012), които установяват, че третирането на царевичните линии с хербициди води до повишаване на масата на кочана.

Показателят брой зърна в един ред е важен фактор при формирането на добива от царевица. Данните, представени в таблица 3, показват, че всички приложени хербициди са повлияли положително върху този показател.

Най-висока средна стойност (34.17) е отчетена при варианта с двойното прилагане на вегетационния хербицид Лаудис ОД, като разликата е статистически доказана при ниво на значимост  $\alpha = 0.001$ . При останалите варианти стойностите са близки до тези на контролния вариант и не показват статистически значими различия.

Повишеният брой зърна в един ред може да се обясни с по-ниската заплевеленост на посева, което води до по-добри условия за фотосинтеза и натрупване на биомаса, благоприятстващи растежа и развитието на растенията. Подобни резултати съобщават Tanveer et al. (1999), които установяват, че третиранията за контрол на плевелите значително увеличават броя на зърната в един ред.

Друг показател, характеризиращ добива от царевица, е масата на зърната в един кочан. Най-висока стойност на този показател (147.17 g) е отчетена при варианта с двукратно прилагане на Лаудис ОД, като разликата е статистически значима

applications of Laudis OD, and the result is statistically significant at  $\alpha = 0.001$ .

The other variants showed similar values, which were higher than those of the control variant (17.17 g), but without statistical significance.

Similar results have been reported by Tahir et al. (2009) and Mehmeti et al. (2012), who found that treating maize lines with herbicides leads to an increase in ear weight.

The indicator number of grains in a row is an important factor in forming the maize yield.

The presented data in Table 3 shows that all herbicides applied had a positive effect on this indicator.

The highest average value (34.17) was recorded for the variant with double application of the vegetative herbicide Laudis OD, with the difference being statistically proven at a significance level of  $\alpha = 0.001$ . In the other variants, the values are close to those of the control variant and do not show statistically significant differences.

The increased number of grains per row can be explained by the lower weed infestation of the crop, which leads to better conditions for photosynthesis and biomass accumulation, favoring plant growth and development.

Similar results are reported by Tanveer et al. (1999), who found that weed control treatments significantly increased the number of grains per row.

Another indicator characterizing maize yield is the weight of the grains in one ear. The highest value of this indicator (147.17 g) was recorded in the variant with two applications of Laudis OD, with the difference being statistically significant at a level of  $\alpha = 0.001$ . For the

при ниво на  $\alpha = 0.001$ . При останалите варианти получените стойности са съпоставими с данните, докладвани от Hussain et al. (1998) и Tanveer et al. (1999). Тези автори също установяват, че масата на зърната в кочана е по-висока при вариантите с прилагане на хербициди в сравнение с контролата, което потвърждава тенденцията, наблюдавана в настоящото изследване.

other variants, the values obtained are comparable to the data reported by Hussain et al. (1998) and Tanveer et al. (1999).

These authors also found that the weight of the grains in the ear was higher in the variants with herbicide application compared to the control, which confirms the trend observed in the present study.

**Таблица 3 Структурни елементи на добива на царевична линия LRL101, третирана с Аденго 465СК, Лаудис ОД и Хемнико 25СК, приложени еднократно и двукратно, средно за 2018-2020 г.**

**Table 3. Yield components of maize line LRL101 treated with Adengo 465SC, Laudis OD, and Hemnyco 25SC, applied once and twice, average for 2018–2020**

| Показатели / Indicators                                       | Еднократно приложение / Single application | Двукратно приложение / Double application | Контрола / Control |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------|
| Аденго 465СК / Adengo 465SC                                   |                                            |                                           |                    |
| Дължина на кочана / Ear length, cm                            | 14.33 n.s.                                 | 16.40 ***                                 | 12.97              |
| Брой редове в кочана / Number of rows per ear                 | 14.73 n.s.                                 | 14.93 n.s.                                | 14.06              |
| Маса на един кочан / Weight of one ear, g                     | 21.37 n.s.                                 | 21.13 n.s.                                | 17.17              |
| Маса на зърната в един кочан / Weight of grains in one ear, g | 117.53 n.s.                                | 142.93 n.s.                               | 111.57             |
| Брой зърна в 1 ред / Number of grains in 1 row                | 30.47 n.s.                                 | 31.76 n.s.                                | 26.03              |
| Лаудис ОД / Laudis OD                                         |                                            |                                           |                    |
| Дължина на кочана / Ear length, cm                            | 14.03 n.s.                                 | 15.46 ***                                 | 12.97              |
| Брой редове в кочана / Number of rows per ear                 | 13.80 n.s.                                 | 14.33 n.s.                                | 14.06              |
| Маса на един кочан / Weight of one ear, g                     | 17.80 n.s.                                 | 26.30 ***                                 | 17.17              |
| Маса на зърната в един кочан / Weight of grains in one ear, g | 119.54 n.s.                                | 147.17 ***                                | 111.57             |
| Брой зърна в 1 ред / Number of grains in 1 row                | 27.40 n.s.                                 | 34.17 ***                                 | 26.03              |
| Хемнико 25СК / Hemnyco 25SC                                   |                                            |                                           |                    |
| Дължина на кочана / Ear length, cm                            | 14.50 *                                    | 14.67 *                                   | 12.97              |
| Брой редове в кочана / Number of rows per ear                 | 14.93 n.s.                                 | 13.87 n.s.                                | 14.06              |
| Маса на един кочан / Weight of one ear, g                     | 20.83 n.s.                                 | 20.60 n.s.                                | 17.17              |
| Маса на зърната в един кочан / Weight of grains in one ear, g | 127.80 n.s.                                | 126.50 n.s.                               | 111.57             |
| Брой зърна в 1 ред / Number of grains in 1 row                | 27.07 n.s.                                 | 29.17 n.s.                                | 26.03              |

**Легенда:** Достоверност на разликите: при  $\alpha = 0.05$  (\*);  $\alpha = 0.01$  (\*\*) и  $\alpha = 0.001$  (\*\*\*), n.s. – няма доказаност

Legend: Statistical significance of differences:  $p < 0.05$  (\*);  $p < 0.01$  (\*\*);  $p < 0.001$  (\*\*\*); n.s. – not significant.

Благоприятните климатични условия през пролетно-летния период са основен фактор, който стимулира интензивното развитие на плевелната растителност.

Средно за периода на изследването (2018–2020 г.) третирането на растенията от линия LRL101 с хербицидите Аденго 465 СК и Хемнико 25 СК (приложени еднократно и двукратно) оказва положително въздействие върху плътността на растенията и добива от зърно (Таблица 4). В сравнение с контролния вариант са отчетени статистически значими различия в полза на третираните варианти. Най-висок добив –  $5690 \text{ kg ha}^{-1}$  – е получен при двойното приложение на Хемнико 25 СК, следван от варианта с еднократно приложение на Аденго 465 СК ( $5360 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Увеличението спрямо контролата е съответно 24% и 17%.

При останалите варианти са отчетени стойности приблизително с 13% по-високи от тези на контролата, но разликите не са статистически доказани.

Повишеният добив може да се обясни с по-ниската степен на заплевеляване, което намалява конкуренцията между културните растения и плевелите за влага, светлина и хранителни вещества. Подобна зависимост е установена и от Toloraya et al. (2001) и Stefanovic et al. (2004), които съобщават за повишаване на добива от зърно при ефективен контрол на плевелната растителност чрез използване на различни хербициди и агротехнически практики.

The favorable climatic conditions during the spring and summer are a major factor stimulating the intensive development of weed vegetation.

On average for the study period (2018–2020), treating plants from line LRL101 with the herbicides Adengo 465 SC and Hemniko 25 SC (applied once and twice) had a positive effect on plant density and grain yield (Table 4).

Compared to the control variant, statistically significant differences were reported in favor of the treated variants. The highest yield –  $5690 \text{ kg ha}^{-1}$  – was obtained with the double application of Hemniko 25 SC, followed by the variant with a single application of Adengo 465 SC ( $5360 \text{ kg ha}^{-1}$ ). The increase compared to the control is 24% and 17%, respectively.

The other variants showed values approximately 13% higher than those of the control, but the differences were not statistically significant.

The increased yield can be explained by the lower degree of weed infestation, which reduces competition between crops and weeds for moisture, light, and nutrients.

A similar relationship was also found by Toloraya et al. (2001) and Stefanovic et al. (2004), who reported an increase in grain yield with effective weed control using various herbicides and agronomic practices.

**Таблица 4. Добив зърно от царевична линия LRL101 (kg ha<sup>-1</sup>), по години и средно за периода 2018 – 2020 г.**

**Table 4. Grain yield of maize line LRL101 (kg ha<sup>-1</sup>) by year and average for the period 2018–2020**

| Вариант / Variant                         | Добив зърно / Grain yield, kg ha <sup>-1</sup> |         |        |        |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------|---------|--------|--------|
|                                           | 2018                                           | 2019    | 2020   | Средно |
| Еднократно приложени / Single application |                                                |         |        |        |
| Контрола / Control                        | 5530 ab                                        | 2550 ab | 4660 a | 4580 a |
| Аденго 465СК / Adengo 465SC               | 7890 b                                         | 2680 a  | 5510 a | 5360 a |
| Лаудис ОД / Laudis OD                     | 5380 ab                                        | 3420 ab | 6390 a | 5060 a |
| Хемнико 25СК / Hemnyco 25SC               | 5610 ab                                        | 4050 ab | 5270 a | 4930 a |
| Двукратно приложени / Double application  |                                                |         |        |        |
| Контрола / Control                        | 5530 ab                                        | 2550 ab | 4660 a | 4580 a |
| Аденго 465СК / Adengo 465SC               | 5110 a                                         | 3810 ab | 5180 a | 4700 a |
| Лаудис ОД / Laudis OD                     | 6170 ab                                        | 3710 ab | 5210 a | 5030 a |
| Хемнико 25СК / Hemnyco 25SC               | 5870 ab                                        | 5300 b  | 5880 a | 5690 a |

Средните стойности с една и съща буква не се различават статистически една от друга според теста на Дънкан, при  $P \leq 0.05$ .

Mean values with the same letter are not statistically different from each other according to Duncan's test, at  $P \leq 0.05$ .

От проведения двуфакторен дисперсионен анализ, целящ да определи степента на влияние на изследваните фактори, е установено, че както годината (Y), така и приложението на хербицидите (B) оказват влияние върху добива от зърно – съответно 125.723% и 0.703%. По-силно изразено е въздействието на фактора година (Y), чиято значимост е доказана при ниво на  $\alpha=0.001$ , докато факторът хербициди (B) има по-слабо, но статистически достоверно влияние при ниво на  $\alpha=0.05$ .

Тези резултати показват, че климатичните условия през различните години са решаващ фактор за формирането на добива от зърно, докато ефектът от прилагането на хербициди е по-слабо изразен, макар и статистически значим (Таблица 5).

The two-factor analysis of variance, aimed at determining the degree of influence of the factors studied, found that both the year (Y) and the application of herbicides (B) have an impact on grain yield – 125.723% and 0.703%, respectively.

The impact of the year factor (Y) is more pronounced, with significance proven at a level of  $\alpha=0.001$ , while the herbicide factor (B) has a weaker but statistically significant impact at a level of  $\alpha=0.05$ .

These results show that climatic conditions in different years are a decisive factor in grain yield formation, while the effect of herbicide application is less pronounced, although statistically significant (Table 5).

**Таблица 5. Резултати от двуфакторен дисперсионен анализ за силата на влияние (%) на изследваните фактори върху проучваните признаци**  
**Table 5. Analysis of two-factors results for the influence strength (%) of the studied factors on the investigated traits**

| Източник на вариация / Source of variation | Добив / Yield | Доказаност / Evidence |
|--------------------------------------------|---------------|-----------------------|
| Година / Year (Y)                          | 125.723       | ***                   |
| Хербициди / Herbicides (B)                 | 0.703         | *                     |
| Year x XHerbicides (YxB)                   | 0.888         | n.s.                  |
| Error                                      | 6.173         | -                     |

Значими при:  $\alpha=0.01$  (\*\*\*);  $\alpha=0.1$  (\*\*);  $\alpha=0.5$  (\*) and n.s. – няма доказаност  
 Significant at:  $\alpha=0.01$  (\*\*\*);  $\alpha=0.1$  (\*\*);  $\alpha=0.5$  (\*) and n.s. – no evidence

## ИЗВОДИ

Царевичната линия LRL101 проявява добра толерантност към приложените вегетационни хербициди Аденго 465 СК, Лаудис ОД и Хемнико 25 СК. Наблюдаваните симптоми на фитотоксичност (оценени с бал 2 по скалата на EWRS) са слабо изразени и преходни, като растенията се възстановяват напълно до 40-ия ден след третирането.

Приложените хербициди не оказват трайно негативно влияние върху морфологичните характеристики и общия хабитус на растенията във фаза пълна зрялост, което потвърждава тяхната селективност към линията LRL101.

Структурните елементи на добива (дължина на кочана, брой редове, маса на кочана, маса и брой зърна) се повлияват положително от прилагането на хербицидите, особено при двукратни третирания. Най-високи стойности по тези показатели са отчетени при вариантите с Аденго 465 СК и Лаудис ОД, като ефектът е статистически значим ( $\alpha \leq 0.001$ ).

Добивът от зърно при третираните варианти превишава контролната стойност, като най-висок резултат ( $5690 \text{ kg ha}^{-1}$ ) е отчетен при двойното приложение на Хемнико 25 СК. Това представлява увеличение с 24% спрямо контролата.

Климатичните условия по години

## CONCLUSIONS

The maize line LRL101 exhibited good tolerance to the applied vegetation herbicides Adengo 465 SC, Laudis OD, and Hemnyco 25 SC.

The observed phytotoxicity symptoms (rated as score 2 on the EWRS scale) were mild and transient, with plants fully recovering by the 40th day after treatment.

The applied herbicides did not exert any lasting negative effects on the morphological characteristics or the overall habitus of plants at full maturity, confirming their selectivity towards maize line LRL101.

Yield components such as ear length, number of rows per ear, ear weight, grain weight per ear, and number of grains per row were positively affected by herbicide application, particularly under double treatments. The highest values were recorded in the Adengo 465 SC and Laudis OD variants, with statistically significant differences at ( $\alpha \leq 0.001$ ).

Grain yield in treated variants exceeded that of the control, with the highest yield ( $5690 \text{ kg ha}^{-1}$ ) obtained under double application of Hemnyco 25 SC, representing an increase of 24% compared to the control.

Climatic conditions across years

оказват доминиращо влияние върху добива, докато ефектът от хербицидните третираня е по-слабо изразен, но статистически достоверен. Това подчертава необходимостта от съобразяване на хербицидната стратегия с конкретните агроклиматични условия.

Въз основа на резултатите може да се заключи, че включването на хербициди от класовете трикетони и триазолпиримидинсулфонамиди в технологията на отглеждане на царевицата е ефективен и селективен подход за управление на заплевеляването, който не нарушава физиологичната устойчивост и добивния потенциал на чувствителни линии като LRL101.

Интегрираният подход за борба с плевелите, съчетаващ химични, агротехнически и екологично устойчиви практики, е ключов за постигане на висока и стабилна продуктивност, както и за опазване на агроекосистемното равновесие при отглеждането на царевица.

had a dominant effect on yield formation, whereas the influence of herbicide treatments was less pronounced but statistically significant.

This highlights the importance of aligning herbicide strategies with prevailing agroclimatic conditions.

Based on the obtained results, it can be concluded that the integration of herbicides belonging to the triketone and triazolopyrimidinesulfonamide classes into maize cultivation technologies provides efficient and selective weed management without impairing the physiological tolerance or yield potential of sensitive lines such as LRL101.

An integrated weed management approach, combining chemical, agronomic, and environmentally sustainable practices, is essential for achieving high and stable productivity while maintaining agroecosystem balance in maize production systems.

#### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. **Abit, M., K. Al-Khatib, R. Currie, P. Stahlman, P. Geier, B. Gordon and D. Regehr**, 2010. Effect of postemergence mesotrione application timing on grain sorghum. *Weed Technology*, 24 (2), 85-90.
2. **Brankov, M., M. Simić and V. Dragičević**, 2021. The influence of maize – winter wheat rotation and pre-emergence herbicides on weeds and maize productivity. *Crop Protection*, 143, 105558.
3. **Dimitrova, M., D. Dimova, I. Zhalnov, P. Zorovski, I. Zheliazkov, E. Valcheva and R. Popova**, 2013<sup>b</sup>. The influence of new herbicides on the growth and the some structural elements of the yield of fodder maize. In: International Conference – Bucharest, LVI, 226-229.
4. **Dimitrova, M., I. Zhalnov, I. Zheliazkov and D. Stoychev**, 2013<sup>a</sup>. Efficiency and selectivity of new herbicides on fodder maize, *Agrolife Scientific Journal*, 2 (1), 47-50.
5. **Ganeva, Z.**, 2016. Discovering statistics using IBM SPSS Statistics. *Elestra*, Sofia, 265-427 p. (Bg).
6. **Gerasimova, N.**, 2013. Influence of vegetation herbicides on the productivity of corn (*Zea mays* L.). In: Scientific works of Ruse University, 52 (1.1), pp. 52-56.
7. **Gharde, Y., P. Singh, R. Dubey and P. Gupta**, 2018. Assessment of yield and economic losses in agriculture due to weeds in India. *Crop Protection*, 107, 12-

18.

8. **Hussain, M., E. Jamshaid and K. Akhtar**, 1998. Response of maize CV. "Golden" to different doses of some pre-emergence herbicides. *Journal of animal and plant Sciences*, 8, 41-42.

9. **Kazandjiev, V.**, 2008. Climate change, agroclimatic resources and determination of non-beneficial areas in Bulgaria, *Sirius, V. Tamovo*, 139-154 p.

10. **Knezevic, S. Z., I. Elezovic, A. Datta, S. Vrbnicanin, D. Glamoclija, M. Simic and G. Malidza**, 2013. Delay in the critical time for weed removal in imidazolinone-resistant sunflower (*Helianthus annuus*) caused by application of pre-emergence herbicide. *International Journal of Pest Management*, 59 (3), 229-235.

11. **Mehmeti, A., A. Demaj, I. Demelezi and H. Rudari**, 2012. Effect of post-emergence herbicides on weeds and yield of maize. *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 18 (1), 27-37.

12. **Pallett, K., S. Cramp, J. Little, P. Veerasekaran, A. Crudace and A. Slater**, 2001. Isoxaflutole: the background to its discovery and the basis of its herbicidal properties. *Pest Management Science*, 57 (2), 133-142.

13. **Paltineanu, C., N. Tanasescu, E. Chitu and I. Mihailescu**, 2007. Relationships Between the De Martonne Aridity Index and Water Requirements of Some Representative Crops, *International Agrophysics*, 21 (1), 81-93.

14. **Popov, A., K. Pavlov and P. Popov**, 1966. Plant growing: Technical crops, volume III Zemizdat, Sofia, 449-462 p. (Bg).

15. **Shanin, Y.**, 1977. Methodology of Polish Experience. In: Block Method. Zemizdat, Sofia, 65-73 p. (Bg).

16. **Simić, M., V. Dragičević, A. Tataridas, T. Krachunova, J. Srdić, I. Gazoulis and M. Brankov**, 2025. Integrated effects of crop rotation and different herbicide rates in maize (*Zea mays* L.) production in central Serbia. *Crop Protection*, 187, 106913

17. **Simić, M., V. Dragičević, M. Brankov, M. Tolimir and Ž. Jovanović**, 2022. Improving weed control in maize by combined application of crop rotation and herbicides. In: Proceedings of the XXVII Conference on Biotechnology with International Participation, 24 - 26 March, Čačak, Serbia (Abstracts).

18. **Singh, A. and P. Singh**, 2003. Effect of different weed control methods on growth and yield of rabisown hybrid maize cv. Hybrid 4640. *Journal of Living World*, 10, 12-15.

19. **Singh, R., K. Venugopal, R. Gupta and G. Singh**, 1985. Crop weed competition in maize and its control in Sikkim. In: Ann. Conn. Of Indian society of weed Sci., Sikkim, India (Abstracts).

20. **Stefanovic, L. and M. Simic**, 2008. Weed suppression in maize production- Effects of post-emergence herbicides. *Acta Biologica Iugoslavica Serija G, Acta herbologica*, 17, 57-65.

21. **Stefanovic, L., M. Milivojevic, I. Husic, M. Simic and Z. Hojka**, 2004. Selectivity of the sulfonilurea herbicide group in the crop of comercial KL-maize inbred lines. *Herbologia*, 5, 53-63.

22. **Sulewska, H., W. Koizara and K. Panasiewicz**, 2006. Efficiency of herbicides treatment Chwastox Turbo 340 SL and Dual 960 EC in maize grain weed control. *Progress in Plant Protection*, 46, 240-242.

23. **Tahir, M., M. Javed, A. Tanveer, M. Nadeem, A. Wasaya, S. Bukhari and J. Rehman**, 2009. Effect of different herbicides on weeds, growth and yield of spring planted maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, 7 (2), 168-174.

24. **Tanveer, A., M. Ayub, M. Ali., R. Ahmed and M. Ayub**, 1999. Weed crop competition in maize in relation to row spacing and duration. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2, 363-364.
25. **Toloraya, T., P. Malakanova and M. Akhtyrtsev**, 2001. Effectiveness of dates, methods and dozes of applying Zinc Sulphate and its combination with the selective herbicides (Titus) in maize sowings. *Kukuruza-ISerge*, 2, 5-7.