

<https://doi.org/10.61308/HCFJ8247>

Установяване ефекта на различни варианти на минерално торене върху някои физиологични показатели при царевицата

Гергана Иванова-Ковачева^{1*}, Илиана Иванова¹, Николай Ковачев², Галин Гинчев¹, Любомир Иванов¹

¹ИЗС «Образцов чифлик» – Русе, Селскостопанска академия - София

²Русенски университет «Ангел Кънчев»

*E-mail: gi_kovacheva@abv.bg

Гергана Иванова-Ковачева ORCID: 0000-0002-3169-7248

Галин Гинчев ORCID: 0009-0008-9006-8063

Любомир Иванов ORCID: 0000-0002-5134-8424

Резюме: Изследването, целящо установяване ефекта на различни варианти минерално торене върху съдържанието на фотосинтетични пигменти и устойчивостта на екологичен стрес при царевица, хибрид Рс 464, обхваща 16-та ротация (от 2018 до 2022 г.) на стационарен торов опит (СТО), разположен в Опитното поле на ИЗС „Образцов чифлик“, Русе. Проследено е въздействието на внасяните минерални торове върху устойчивостта на царевицата на екологичен стрес и динамиката в съдържанието на фотосинтетични пигменти по време на вегетацията на културата. По-ниска устойчивост на високи температури е установена при вариантите с включено азотно торене – измерената електропроводимост на листни мембрани на вариантите с комбинирано азотно-фосфорно ($N_{15}P_{12}$) и азотно-калиево ($N_{15}K_7$) торене е съответно $65.46 \mu S cm^{-1}$ и $61.08 \mu S cm^{-1}$ при $58.52 \mu S cm^{-1}$ за контролния, ненаторяван, вариант. Устойчивост на атмосферното засушаване е установена при вариантите с комбинирано фосфорно-калиево ($P_{12}K_7$) – $52.62 \mu S cm^{-1}$ и със самостоятелното калиево торене (K_7) – $54.18 \mu S cm^{-1}$. В листата на царевицата от варианта със самостоятелно азотно (N_{15}) торене е установено най-високо съдържание на хлорофили (C_{a+b} , $0.176 mg g^{-1}$), а най-ниското (C_{a+b} , $0.094 mg g^{-1}$) – при самостоятелното калиево (K_7) торене. Различните варианти на торене на царевицата не предизвикват съществени изменения в процентното съдържание на каротиноиди.

Ключови думи: екологичен стрес; засушаване; минерални торове; фотосинтетични пигменти; хлорофил; каротеноиди.

Determining the effect of different variants of mineral fertilizer on some physiological indicators in maize

Gergana Ivanova-Kovacheva^{1*}, Iliana Ivanova¹, Nikolay Kovachev², Galin Ginchev¹, Lyubomir Ivanov¹

¹Agricultural Academy, IASS “Obraztsov chiflik” – Rousse, Bulgaria

²“Angel Kanchev” University of Rousse, Bulgaria

*E-mail: gi_kovacheva@abv.bg

Gergana Ivanova-Kovacheva ORCID: 0000-0002-3169-7248

Galina Ginchev ORCID: 0009-0008-9006-8063

Lyubomir Ivanov ORCID: 0000-0002-5134-8424

Citation: Ivanova-Kovacheva, G., Ivanova, I., Kovachev, N., Ginchev, G., & Ivanov, L. (2025). Determining the effect of different variants of mineral fertilizer on some physiological indicators in maize. *Bulgarian Journal of Crop Science*, 62(3) 30-41 (Bg).

Abstract: The study, aimed at establishing the effect of different mineral fertilization options on the content of photosynthetic pigments and resistance to environmental stress in maize, hybrid Pc 464, covers the 16th rotation (from 2018 to 2022) of the Longstanding Stationary Fertilizer Experiment (LSFE), located in the Experimental Field of IASS „Obraztsov chiflik“, Rousse. The impact of applied mineral fertilizers on the resistance of maize to environmental stress and the dynamics in the content of photosynthetic pigments during the growing season was monitored. Lower resistance to high temperatures was found in the variants with nitrogen fertilization – the measured electrical conductivity of leaf membranes of the variants with combined nitrogen-potassium ($N_{15}K_7$) and nitrogen- phosphorus ($N_{15}P_{12}$) fertilization was $65.46 \mu S cm^{-1}$ and $61.08 \mu S cm^{-1}$ respectively with $58.52 \mu S cm^{-1}$ for the unfertilized variant used as control. Resistant to atmospheric drought were found to be the variants with combined phosphorus-potassium ($P_{12}K_7$) – $52.62 \mu S cm^{-1}$ and with potassium fertilization (K_7) – $54.18 \mu S cm^{-1}$. The highest content of chlorophylls (Ca+b $0.176 mg g^{-1}$) was found in the leaves of the maize plants from the variant with c nitrogen fertilization (N_{15}). The lowest chlorophyll content (Ca+b $0.094 mg g^{-1}$) was found in the variant with potassium (K_7) fertilization. The different variants of fertilization in maize did not cause significant changes in the percentage content of carotenoids.

Key words: environmental stress; drought; maize; mineral fertilizers; photosynthetic pigments; chlorophyll; carotenoids.

ВЪВЕДЕНИЕ

Екстремалните метеорологични явления предизвикват различни по характер и интензивност щети във всички аспекти на селското стопанство през последните години. Изключително високите температури и продължителните безвалежни периоди стават все по-често явление в Североизточна България. Това се отразява върху равновесието на естествените и антропогенни екосистеми, в това число, и не на последно място, и добивите от полските култури.

Климатични модели, разработени през последните години, прогнозираят, че в близко бъдеще в много региони на света ще настъпват засушавания и/или резки повишавания на температурите с различна продължителност. Това поставя подпомагането растежа и развитието на растенията в условията на абиотичен и биологичен стрес и получаването на по-високи добиви сред основните предизвикателства пред селското стопанство (Reynolds et al., 2011).

Според Nenova (2008), след почвено-климатичните условия, торенето е сред едни от най-значимите фактори, влияещи върху продуктивността на земеделските култури. Това го прави предмет на многобройни научни из-

следвания като особено ценна информация може да бъде получена при изследвания, провеждани в рамките на многогодишни стационарни торови опити (Panayotova, 2007).

Азотът (N) е четвъртият най-често срещан химичен елемент в растителните тъкани. Той е ключов компонент на ензимите и структурните протеини, нуклеиновите киселини, пигментите и широк набор от вторични метаболити. Всички растения използват азота под формата на NO_3^- и NH_4^+ . Той е елементът с най-голямо значение за растежа и развитието на растенията, който чувствително подобрява и увеличава добива и неговото качество в следствие на критичната му роля за нормалното протичане на биохимичните и физиологични процеси (Amancio & Stulen, 2005). Ако достъпът на растението до азот бъде прекратен, продължителността на живота му няма да бъде засегната пряко, но в рамките на само няколко дни растежът ще стане невъзможен (Leghari et al., 2016).

Фосфорът (P) е друг макроелемент с ключово значение за растежа и развитието на растенията. Той е част от структурата на много ензими и протеини, влиза в състава на ДНК и РНК и играе ключова роля в асимилирането на слънчевата енергия и превръщането ѝ в полезни органични съединения. Фосфорът

е жизненоважен компонент на аденозинтрифосфата (АТФ), който се образува по време на фотосинтеза, и участва активно в енергийния обмен. Фосфорът повишава устойчивостта на растенията и регулира физиологичния отговор към абиотичен стрес – високи температури, соленост, суша, преовлажняване, високи нива на CO_2 и токсичното действие на тежките метали (Hawkesford et al., 2012; Lambers, 2022; Khan et al., 2023).

Калият (K) е сред елементите от особено голямо значение за нормалното протичане на голям брой физиологични процеси, за растежа на земеделските култури, за качеството и количеството на добивите, както и за устойчивостта на културите на стрес (Zörb et al., 2014). Той има важна роля в ограничаването на загубата на вода от растенията при високи температури на атмосферния въздух и в условия на суша. По литературни данни, при растения в условия на засушаване, интензивността на фотосинтезата е пряко свързана с нивата на калия (Chaerle et al., 2007).

Яркозеленият на цвят хлорофил е най-широко разпространеният в природата естествен пигмент, който може да бъде открит във всички фотосинтезиращи организми. Той има ключова роля в протичането на процеса на фотосинтеза, който позволява на растенията да абсорбират енергия от слънчевата светлина (Hörtensteiner & Kräutler, 2011, Filimon et al., 2016).

Хлорофилите на висшите растения, папрати, мъхове и зелени водорасли, както и на прокариотния организъм *Prochloron*, се състоят от хлорофил *a* като основен пигмент и хлорофил *b* като допълнителен пигмент. Двете разновидности на хлорофила са част от структурата на фотосинтетичните мембрани и съотношението между тях (*a/b*) обикновено се движи в границите между 3 и 1 (Valladares & Niinemets, 2008; Tran, 2018).

Каротиноидите се срещат във всички висши растения и в много видове микроорганизми. В тази група влизат над 600 вещества, производни на изопрена, с тъмночервен до жълт цвят. Каротиноидите на функционални-

те хлоропласти включват β -каротин, лутеин, виолаксантин и неоксантин. Те изпълняват две основни роли в растенията: 1/ спомагателни пигменти – като такива, каротиноидите участват в изграждането на фотосистемите и участват в поглъщането на светлината в тази част на спектъра (400 – 500 nm), в която ефективността на хлорофила е по-ниска; 2/ предпазват молекулите на хлорофила от фотоокисление (Britton, 2008; Belous, 2018).

Целта на настоящето изследване е да бъде проучено влиянието на различни варианти на торене с азот, фосфор и калий върху количественото съдържание на фотосинтетични пигменти в листата на царевица, хибрид Рс 464 и да бъде проследено влиянието на продължителното минерално торене върху устойчивостта ѝ към екологичен стрес (атмосферно засушаване).

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

Климатична и почвена характеристика на опитното поле

Изследването обхваща четиригодишния период на 16-та ротация (от октомври 2018 до юни 2022 г.) на стационарен торов опит, разположен в Опитното поле на ИЗС „Образцов чифлик“, гр. Русе, България. Северният климатичен район на Дунавската хълмиста равнина, в който попада Образцов чифлик (152 м н.в., 43°48' северна ширина, 26°02' източна дължина), се характеризира с най-голяма средна годишна температурна амплитуда за България – от 24,5 до 26,0 °C. Най-ниските минимални температури тук достигат до –25 °C през месеците януари и февруари, а при по-интензивните летни затопляния се отчитат максимални температури до 42 – 43 °C. Режимът на валежите има подчертано континентален характер с максимум през юни и минимум през февруари. Поради характера на разпределението им в Образцов чифлик (те са най-често проливни, прекъсвани от продължителни безвалежни периоди) през лятото настъпват засушливи периоди. Сравнител-

но силно и продължително е засушаването не само през август, но и през по-голямата част от септември и дори началото на октомври (Lingova, 1965).

При почвено проучване, извършено през 1980 г., е установено, че стационарният торов опит е разположен върху средно песъчливо-глинест оподзолен чернозем, неерозиран и слабо ерозиран (Kostov, 1981). Съвременната класификация на почвите в България определя тези почви като лесивирани (*Luvic*) или деградирани (Teoharov et al., 2014). Вследствие на многогодишното еднотипно торене на опитните парцели са настъпили трайни изменения в киселинността на почвата и съдържанието на хумус при различните варианти. Киселинността на почвата (pH) варира от 5.25 при парцелите с азотно-калиево торене до 5.74 при тези на контролата, при която не се внасят торове. В парцелите на контролата е установено и най-ниското съдържание на хумус (1.67%), а най-високото (2.65%) – при варианта с пълно минерално торене ($N_{15}P_{12}K_7$).

Постановка на опита

Стационарният торов опит (СТО) е заложен през 1912 г. на площ от 10 дка по осморната схема на Жорж Вил, в две повторения с опитна парцела от 100 м² и реколтна парцела 60 м². Изследването е прекъснато през 1942 г. и е възстановено през есента на 1958 г. с четириполно плодосменно сеитбообръщение пшеница-царевица за зърно-ечемик-полски фасул (Ermolaev, 1965).

Изпитват се 7 варианта на торене със самостоятелно и комбинирано внасяне на макроелементите азот, фосфор и калий. Осмият вариант е неторена контрола ($N_0P_0K_0$). Азотните торове, внасяни при отделните култури, са в количество както следва: при пшеница и царевица – 15 kg da⁻¹ а.в. (N_{15}); при ечемик – 10 kg da⁻¹ а.в. (N_{10}) и при полски фасул – 5 kg da⁻¹ а.в. (N_5). Количеството на внасяните фосфорни и калиеви торове е еднакво и за четирите култури в сеитбообращението – 12 kg da⁻¹ а.в. под формата на P_2O_5 и 7 kg da⁻¹ а.в. под формата на K_2O . Фосфорните (P_{12}) и кали-

еви (K_7) торове се внасят еднократно, преди основната обработка на почвата, а азотният – еднократно след поникването на културите.

Характеристика на хибрида

Шестнадесетата, след възстановяването на СТО през 1958 г., ротация на четириполното сеитбообръщение включва обикновена пшеница, сорт „Дунавия”, зимен ечемик, сорт „Ахат”, полски фасул, сорт „Образцов чифлик 12” и царевица, хибрид Рс 464.

Пристис (Рс 464) е средноранен хибрид (ФАО 470) със зърно от типа жълт конски зъб. Средната височина на растенията е 180 cm, а първият кочан се залага на 91 cm от повърхността на почвата. Листата са тъмнозелени, свилата – жълта, метлицата е зелена с жълти прашници, а вретеното на кочана е червено. При неполивни условия на 100 растения се формират 120 кочана със средна дължина 22 cm.

Хибридът се отличава с много добра устойчивост към полягане и към икономически важните болести по царевицата.

При извеждането на опита се спазва възприетата за Североизточна България агротехника за отглеждане на царевицата. Получените данни са обработени статистически с програмата Statistika 13 на TIBCO Software.

Вземане на пробите и извършване на анализите

- За определяне на електропроводимост на листни мембрани е отбрана средна проба от здрави, с нормален тургор и без следи от повреди, листа на 10 случайно избрани растения във всяка от опитните парцелки. Листата са поставени в чисти съдове и пренесени в лаборатория за анализ. Свежите листа са измивани добре, изплакнати с дейонизирана вода и след подсушаването им от тях е отбрана средна проба за измерване на електропроводимостта на листни мембрани (Pavlova et al., 2005; Pavlova & Dochev, 2010). Измерването на електропроводимостта на листни мембрани е извършвано с настолен лабораторен кондуктометър COND 51 след двучасово инкубиране на пробите в термостат, при температура 42°C.

- Екстракция и определяне съдържанието на фотосинтетични пигменти

Извличането на съдържащите се в листата фотосинтетични пигменти е извършено под вакуум, като за разтворител е използван 80 %-ен разтвор на ацетон. Проба от получения извлек се разрежда с чист 80 % ацетон, след което се фотометрира.

Количественото определяне на пигментите е извършено с помощта на спектрофотометър DR 3900 на HACH LANGE, Германия. Поглъщането на светлината в получения извлек е измерено при три дължини на вълната: 663 nm и 644 nm, съответно за хлорофил *a* и *b*, и 440 nm за каротиноидите с празна проба от чист, 80 % разтвор на ацетон за контрола.

Съдържанието на пигментите е изчислено по Berova et al. (2007) в mg g⁻¹ свежа растителна маса, като са взети предвид концентрацията на пигментите, обемът на сумарния извлек, масата на листната проба и степента на разреждане.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

Кратка метеорологична характеристика

Пролетта на стопанската 2019 г. се характеризира с температурни суми и валежи близки

до климатичната норма за района (Таблица 1). Температурата и количествата на падналите през месеците април и май валежи са близки до нормалното, докато месец юни може да бъде определен като горещ и влажен с температурна сума от 672.6°C, превишаваща значително нормата от 604.0°C, и 129.1 mm сумарно количество на падналите валежи при норма от 82.1 mm. Валежите, паднали през месеците юли и август са разпределени неравномерно в рамките на 12 дни като общото им количество достига едва 30 mm, почти четири пъти по-малко от многогодишната норма от 115.3 mm. По отношение на температурната сума за периода съществени отклонения не се наблюдават.

Температурната сума за периода април – юни през 2020 и 2021 година е близка до нормалната за района на Образцов чифлик с изключение на месец април 2021 г., който може да бъде определен като хладен, с температурна сума 287.4°C при норма от 341.9°C и валежи, превишаващи слабо нормата от 66.5 mm. Настъпването на репродуктивната фаза в развитието на царевицата през юли е съпроводено с продължително засушаване. Сумарното количество валежи през последните два месеца от вегетацията на културата е съответно 21.6 mm за 2020 и 29.4 mm за 2021 година при

Таблица 1. Климатична характеристика пролет-лято за периода 2019-2022 г.

Table 1. Climatic characteristic spring-summer from 2019 to 2022

Година/Year	Температурна сума/Temperature sum, °C					Валежи/Precipitation, mm				
	IV	V	VI	VII	VIII	IV	V	VI	VII	VIII
2019	340,6	527,1	672,6	711,7	757,6	56,0	70,4	129,1	19,5	10,5
2020	366,9	511,6	616,9	746,0	785,5	13,6	67,1	126,0	1,1	20,5
2021	287,4	521,5	599,4	763,5	739,5	45,6	73,5	121,0	1,0	28,4
2022	339,7	542,0	639,4	766,8	771,3	74,9	18,0	73,0	11,6	71,0
Климатична норма/Climate norm*	341,9	509,5	604,0	699,1	739,8	50,6	66,5	82,1	65,9	49,4

* Климатичната норма за района е формирана въз основа на многогодишни данни, получени от метеорологична клетка, разположена в Образцов чифлик в началото на 20 век/ The climatic norm for the region was formed based on multi-year data obtained from a meteorological cell located in Obratzov chiflik at the beginning of the 20th century

норма от 115.3 mm. Засушаването, настъпило през втората и третата година от 16-та ротация на ТТО е съпроводено със значително покачване на среднодневните температури. Температурната сума, отчетена през месец юли 2020 г., превишава нормата от 699.1°C с 46.9°C, а през 2021 година – с 66.4°C.

Температурите, измерени през август 2021 година, са близки до многогодишната норма за района на Образцов чифлик (739.8°C). През останалите 3 години от периода на проучването температурната сума за месеца превишава нормата, съответно със 17.8°C през 2019 г., с 31.5°C през 2022 г. и 45.7°C през 2020 г. На фона на по-високите от обичайното за района температури, отчетените валежни количества са значително под нормата за месеца от 49.4 mm. Изключение е август 2022 г. с валежи от 71.0 mm, разпределени в 4 валежни дни.

В заключение може да се каже, че стопанските години от 2019 до 2022 г. се характеризират с топла пролет и горещо лято с неравномерно разпределени валежи и продължителни периоди на засушаване през летните месеци.

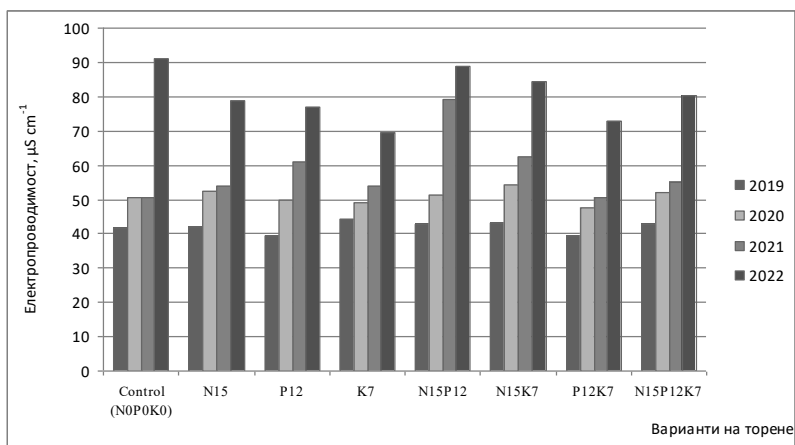
Електропроводимост на листни мембрани

Според Pavlova et al. (2005; 2010), измерването на електропроводимостта на клетъчните мембрани на листата по време на активната

вегетация на растенията може да бъде използвано като индикатор за устойчивостта на атмосферна суша. Фигура 1 представя отчетените стойности на електропроводимостта на листни мембрани при царевица хибрид Рс 464, средно за периода на 16-тата ротация на СТО. Вижда се, че най-ниските измерени стойности варират значително между отделните варианти през четирите години на изследването – от 39.36 $\mu\text{S cm}^{-1}$ при варианта със самостоятелно фосфорно (P_{12}) и комбинирано фосфор-калиево (P_{12}K_7) торене през 2019 г. до 69.38 $\mu\text{S cm}^{-1}$ при самостоятелното калиево торене (K_7) през 2022 г.

Широк диапазон на отчетените стойности се наблюдава и по отношение на максималната електропроводимост на листни мембрани – от 43.10 $\mu\text{S cm}^{-1}$ през 2019 г. при вариантите с комбинирано азотно-калиево (N_{15}K_7) и самостоятелно калиево (K_7) торене до 91.17 $\mu\text{S cm}^{-1}$, отчетени при контролния, не наторяван вариант през последната година на ротацията.

Слаба устойчивост на атмосферно засушаване е установена при всички варианти с пълно минерално торене ($\text{N}_{15}\text{P}_{12}\text{K}_7$) като стойностите варират в широки граници – от 42.74 $\mu\text{S cm}^{-1}$ през 2019 г. до 80.15 $\mu\text{S cm}^{-1}$ през 2022 г. По-голяма чувствителност към висока температура и ниска влажност на атмосферния въздух показват и останалите варианти с включено азотно торене.



Фигура 1. Електропроводимост на листни мембрани при царевица, средно за 16-та ротация на СТО
Figure 1. Electrical conductivity of leaf membranes in maize, average for the 16th LSFE rotation

Прави впечатление, че стойностите на електропроводимостта на листни мембрани, отчетени през 2022 година са значително по-високи от тези през 2019 – 2021 година. С оглед на равните други условия, при които е извеждан експериментът, това може да бъде отдадено на по-малкото, в сравнение с предходните години, количество валежи (73 mm), паднали през месец юни, когато царевицата е във финалните етапи на вегетационното си развитие (фаза 11 лист – начало на изметляване).

Обобщените резултати от извършените измервания (Таблица 2) показват, че измиването на електролити през клетъчните мембрани на листата при вариантите с комбинирано азотно-фосфорно ($N_{15}P_{12}$) и азотно-калиево ($N_{15}K_7$) торене е по-голямо, в сравнение с ненагоряваната контрола ($N_0P_0K_0$). При тези два варианта са отчетени най-високите стойности на електропроводимост на листните мембрани, средно за периода на изследването – $65.46 \mu S cm^{-1}$ и $61.08 \mu S cm^{-1}$ при $58.52 \mu S cm^{-1}$ за контролата. Най-слабо измиване на електролити (най-висока устойчивост на атмосферно засушаване) е установено при варианта с комбинирано фосфор-калиево торене ($P_{12}K_7$) – $52.62 \mu S cm^{-1}$. Като устойчив се доказва и вариантът със самостоятелно калиево (K_7) торене, при който отчетената електропроводимост на листните мембрани е $54.18 \mu S cm^{-1}$.

Извършената статистическа обработка на получените през четиригодишния период на изследването данни установява, че стойностите на коефициента на вариация (CV, %) при различните варианти на торене на царевицата лежат в много широки граници – от 20.16% при самостоятелното калиево торене (K_7) до 37.86 % при контролата ($N_0P_0K_0$) и 33.64 % при комбинираното азотно-фосфорно торене ($N_{15}P_{12}$). Независимо от това, стойностите на коефициента на вариация при различните варианти на минерално торене показват задоволителна еднородност на данните по години. Нееднородност на извадката, т.е. стойности на CV над 30%, е установена при контролата (37.86 %) и варианта с комбинирано азотно-фосфорно торене (33.64%). Най-ниски стойности на коефициента на вариация са отчетени при варианта със самостоятелно калиево торене (20.16 %), следван от тези с комбинирано фосфор-калиево (27.15 %), самостоятелно азотно (27.64 %) и пълно минерално торене (27.9 %).

Най-ниска статистическа грешка (SE, %) е изчислена при варианта със самостоятелно калиево торене – 5.46 %. Получените стойности от 11.07 % за контролата и 11.01 % за варианта с комбинирано азотно-фосфорно торене попадат извън границите, в които получените данни биха могли да бъдат приети

Таблица 2. Статистически обработени данни за електропроводимост на листни мембрани при царевица, 16^{-та} ротация на СТО

Table 2. Statistically processed data for electrical conductance of leaf membranes in maize, 16th LSFE rotation

Варианти/Variants	Електропроводимост на листни мембрани / Electrical conductivity of leaf membranes, $\mu S cm^{-1}$		
	$\bar{x}$	CV, %	SE, %
Control ($N_0P_0K_0$)	58.52	37.86	11.08
N_{15}	56.80	27.64	7.85
P_{12}	56.78	28.27	8.03
K_7	54.18	20.16	5.46
$N_{15}P_{12}$	65.46	33.64	11.01
$N_{15}K_7$	61.08	28.45	8.69
$P_{12}K_7$	52.62	27.15	7.14
$N_{15}P_{12}K_7$	57.41	27.90	8.01

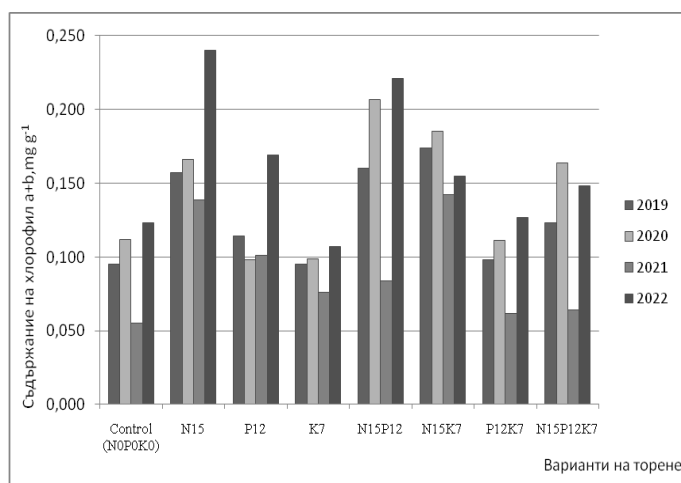
за статистически достоверни. Отклонението от средните стойности на параметъра за останалите варианти лежи в сравнително тесни граници, при които статистическата грешка е от 7.14 % при варианта с комбинирано фосфорно-калиево ($P_{12}K_7$) до 8.69% при този с азотно-калиево ($N_{15}K_7$) торене.

Съдържание на фотосинтетични пигменти

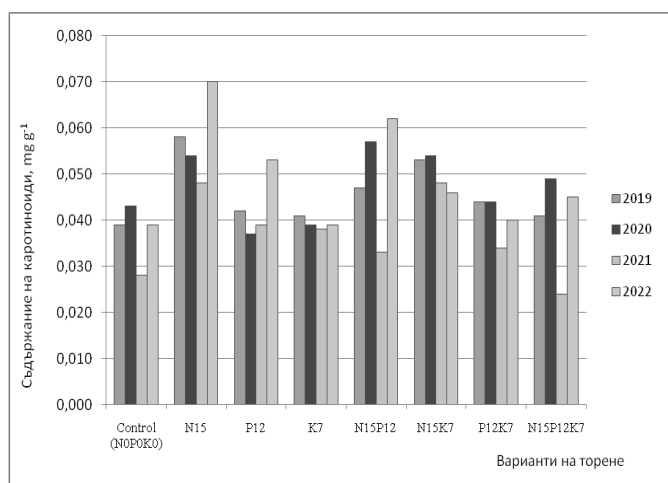
При повечето видове растения съдържанието на фотосинтетични пигменти в листата предоставя важна информация за тяхното физиологично състояние и дава важна инфор-

мация за устойчивостта им на стрес (Sims & Gamon, 2002).

Според Belous et al. (2018) количественият и качествен състав на пигментите и измененията в съотношението им в листата са важни характеристики на физиологичното състояние на растенията като цяло и на фотосинтетичния апарат в частност, включително адаптивните реакции при излагане на стресови условия. Авторите установяват, че общото количество на фотосинтетични пигменти варира значително в зависимост от динамиката на натрупването им и местоположението на растенията. До подобни заключения стигат



Фигура 2. Съдържание на хлорофил a+b при царевица, 16^{-та} ротация на СТО
Figure 2. Chlorophyll a+b content of maize, 16th LSFE rotation



Фигура 3. Съдържание на каротиноиди при царевица, 16^{-та} ротация на СТО
Figure 3. Carotenoid content of maize, 16th LSFE rotation

и Plieva & Vasileva (2016), чиито изследвания потвърждават тезата, че съдържанието на пластидни пигменти се променя под влияние на различни фактори.

Данните за изменението в съдържанието на фотосинтетични пигменти (хлорофили и каротиноиди), получени през четиригодишния период, обхващащ 16-та ротация на СТО са представени на Фигура 2 и Фигура 3.

Вижда се, че сумарното съдържание на хлорофили (Chl_{a+b}) и каротиноиди в листата на изследваните растения варира значително между различните варианти на торене и по години. Най-слаби отклонения в стойностите на параметрите в рамките на изследвания период има при вариантите със самостоятелно калиево (K_7) и комбинирано азотно-калиево (N_{15}K_7) торене.

Най-ниско съдържание на хлорофили (Chl_{a+b}) през 2019 г. е установено при неторената контрола ($\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$) и при варианта с калиево торене (K_7) – 0.095 mg g^{-1} , следван от този с комбинирано фосфор-калиево (P_{12}K_7) торене с 0.098 mg g^{-1} . Количеството на хлорофили в растенията с включено азотно торене е значително по-високо. Максимални стойности са отчетени при варианта с комбинирано азотно-калиево торене (0.174 mg g^{-1}), следван от тези с комбинирано азотно-фосфорно ($\text{N}_{15}\text{P}_{12}$) и самостоятелно азотно (N_{15}) торене, съответно 0.160 mg g^{-1} и 0.158 mg g^{-1} .

По отношение съдържанието на каротиноиди се наблюдава същата тенденция – най-ниски стойности са отчетени при контролата (0.039 mg g^{-1}) и при вариантите със самостоятелно калиево (0.041 mg g^{-1}) и фосфорно (0.042 mg g^{-1}) торене, но за разлика от хлорофилите, най-високо съдържание на каротиноиди е отчетено при варианта със самостоятелно азотно торене (0.058 mg g^{-1}).

През втората година от 16-та ротация на СТО съдържанието на хлорофил $a+b$ варира от 0.098 mg g^{-1} и 0.099 mg g^{-1} при самостоятелното фосфорно (P_{12}) и калиево (K_7) торене до 0.207 mg g^{-1} на варианта с комбинирано азотно-фосфорно ($\text{N}_{15}\text{P}_{12}$) и 0.185 mg g^{-1} при азотно-калиево (N_{15}K_7) торене. Подобно разпре-

деление се наблюдава и по отношение на каротиноидите – най-ниско съдържание на тези пигменти е отчетено при вариантите със самостоятелно фосфорно и калиево торене, съответно 0.037 mg g^{-1} и 0.039 mg g^{-1} , а най-високо – при комбинацията на тези макроелементи с азот (0.057 mg g^{-1} за $\text{N}_{15}\text{P}_{12}$ и 0.054 mg g^{-1} за N_{15}K_7) и при самостоятелното азотно торене.

Анализът на данните от 2021 г. показва висока степен на сходство на показателя съдържание на фотосинтетични пигменти с тези, получени през 2019 г. Най-ниски стойности на хлорофили са отчетени при ненаторяваната контрола (0.055 mg g^{-1}), а най-високи – при комбинираното азотно-калиево торене (0.142 mg g^{-1}), следвано от варианта със самостоятелно азотно торене (0.139 mg g^{-1}). Съдържанието на каротиноиди варира от 0.024 mg g^{-1} и 0.028 mg g^{-1} , съответно при пълно минерално торене ($\text{N}_{15}\text{P}_{12}\text{K}_7$) и при неторената контрола ($\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$) до 0.048 mg g^{-1} на вариантите с комбинирано азотно-калиево (N_{15}K_7) и самостоятелно азотно (N_{15}) торене.

Вариантът със самостоятелно калиево торене (K_7) и контролата ($\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$) са с най-ниско съдържание на фотосинтетични пигменти през последната година на 16-та ротация на СТО. Отчетените количества са както следва: хлорофил $a+b$ съответно 0.107 mg g^{-1} и 0.123 mg g^{-1} и каротиноиди – 0.039 mg g^{-1} . С най-високо съдържание на хлорофили се отличава вариантът със самостоятелно азотно торене (0.240 mg g^{-1}), следван от този с комбинирано азотно-калиево торене (N_{15}K_7) с 0.221 mg g^{-1} , а на каротиноиди – вариантите със самостоятелно азотно (N_{15}) и комбинирано азотно-фосфорно ($\text{N}_{15}\text{P}_{12}$) торене, съответно с 0.070 mg g^{-1} и 0.062 mg g^{-1} .

В Таблица 3 са представени резултатите от статистическата обработка на получените данни, средно за периода на изпитване. Вижда се, че съдържанието на фотосинтетични пигменти между отделните варианти на торене на царевицата варира, в по-широки граници по отношение на хлорофилите и в значително по-тесни – при каротиноидите. Най-ниски количества на хлорофил $a+b$ (Chl_{a+b}) са устано-

вени при варианта с калиево торене (0.094 mg g^{-1}) и при контролата (0.096 mg g^{-1}). При растения със самостоятелно азотно (N_{15}) и комбинирано азотно-фосфорно ($N_{15}P_{12}$) и азотно-калиево ($N_{15}K_7$) торене е отчетено най-високо съдържание на хлорофили, а именно 0.176 mg g^{-1} , 0.168 mg g^{-1} и 0.164 mg g^{-1} .

По отношение на каротиноидите (Car.), най-ниско съдържание на тази група пигменти, средно за 16^{-та} ротация на СТО, е отчетено при контролата (0.037 mg g^{-1}), следвана от варианта с пълно минерално (0.040 mg g^{-1}) и с комбинирано фосфорно-калиево торене (0.041 mg g^{-1}). При самостоятелното азотно торене (N_{15}) е установено най-високото съдържание на каротиноиди в листата на царевицата – 0.058 mg g^{-1} .

Статистическата обработка на получените за четиригодишния период на изследването данни установява, че стойностите на коефициента на вариация (CV %) при различните варианти на торене лежат в широки граници и за двете групи пластидни пигменти.

Коефициентът на вариация на данните за съдържанието на хлорофили при различни варианти на подхранване на царевицата обхваща интервала от 11.71% за комбинираното азотно-калиево ($N_{15}K_7$) до 36.77% за комбинираното азотно-фосфорно ($N_{15}P_{12}$) торене. Ана-

лизът на получените резултати показва статистическа нееднородност на извадката за три от изследваните варианти – стойности на CV над 30% – при комбинирано азотно-фосфорно (36.77%) и при пълно минерално (35.17%) торене и при контролата (30.98%).

Стойностите на CV на данните, получени при определяне съдържанието на жълто-червени фотосинтетични пигменти в листата на царевицата, показват по-малка дисперсия на резултатите, в сравнение с тази при хлорофилите. Най-ниски стойности са изчислени при варианта с калиево торене (3.21%), следван от този с азотно-калиево торене (7.69%). При останалите варианти е налице относителна еднородност на работната извадка, като най-големи отклонения спрямо средните стойности на съдържанието на каротиноиди се наблюдава при варианта с пълно минерално торене (27.66%).

Получените стойности на стандартната грешка (SE %) от 0.001% при определяне съдържанието на каротиноиди на варианта със самостоятелно калиево (K_7) торене до 0.031%, при определяне съдържанието на хлорофили в листата на растенията с азотно-фосфорно торене ($N_{15}P_{12}$) са индикатор за високата степен на статистическа достоверност на получените данни.

Таблица 3. Съдържание на фотосинтетични пигменти при царевица, 16^{-та} ротация на СТО
Table 3. Content of photosynthetic pigments in maize, 16th LSFE rotation

Варианти/Variants	Хлорофил a+b/Chlorophyll a+b, mg g^{-1}		Каротиноиди/Carotenoids, mg g^{-1}		Chl.a/b	Chl.a+b/Car.
	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	CV, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	CV, %		
Control ($N_0P_0K_0$)	0.096 ± 0.015	30.98	0.037 ± 0.003	17.31	3.28	2.59
N_{15}	0.176 ± 0.022	25.32	0.058 ± 0.005	16.16	3.47	3.03
P_{12}	0.121 ± 0.017	27.44	0.043 ± 0.004	16.69	3.82	2.81
K_7	0.094 ± 0.007	13.95	0.039 ± 0.001	3.21	3.71	2.41
$N_{15}P_{12}$	0.168 ± 0.031	36.77	0.050 ± 0.006	25.71	3.28	3.36
$N_{15}K_7$	0.164 ± 0.010	11.71	0.050 ± 0.002	7.69	3.40	3.28
$P_{12}K_7$	0.100 ± 0.014	27.81	0.041 ± 0.002	11.67	3.85	2.44
$N_{15}P_{12}K_7$	0.125 ± 0.022	35.17	0.040 ± 0.005	27.66	3.38	3.13

Редица научни изследвания съобщават за връзка между съотношението на хлорофил а към хлорофил b (Chl a/b) и на хлорофил a+b към каротиноиди (Chl a+b/Car) и физиологичния статус на растенията (Petkova & Poryazov, 2007). По-ниската стойност на съотношението зелени/жълти пигменти се свързва с повишаване на защитата срещу фотоокисление на хлорофила (Gilmore & Govindjee, 1999; Velinova & Glushkova, 2011).

С оглед на това, може да се каже, че значителни отклонения в съотношението на хлорофил а към хлорофил b при различните варианти на торене на царевицата не се наблюдават. Най-ниските стойности (Chl.a/b = 3,28) са установени при контролата ($N_0P_0K_0$) и при варианта с комбинирано азотно-фосфорно ($N_{15}P_{12}$) торене, а най-високи (Chl.a/b = 3,85) – при комбинираното фосфор-калиево ($P_{12}K_7$) торене.

Съотношението на общото количество зелени към жълти пластидни пигменти е в границите от 2.41 при самостоятелното калиево (K_7) до 3.36 при комбинирано азотно-фосфорно ($N_{15}P_{12}$) торене. Прави впечатление фактът, че при вариантите с участието на макроелементите калий и фосфор и комбинацията между тях е установено най-високото съотношение на хлорофил a/b и най-ниското на Chl. a+b/Car.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Най-висока устойчивост на атмосферно засушаване за царевица хибрид Рс 464 е установена при вариантите с комбинирано фосфор-калиево ($P_{12}K_7$) торене – $52.62 \mu S \text{ cm}^{-1}$. Най-слабо устойчиви са вариантите с комбинирано азотно-фосфорно ($N_{15}P_{12}$) и азотно-калиево ($N_{15}K_7$) торене, съответно $65.46 \mu S \text{ cm}^{-1}$ и $61.08 \mu S \text{ cm}^{-1}$ при $58.52 \mu S \text{ cm}^{-1}$ за контролата.

Сумарното съдържание на хлорофили (Chl.a+b) в листата на царевицата варира значително по години и между различните варианти на торене.

Най-ниски количества на хлорофил a+b (Chl. a+b) са установени при варианта с калиево торене (0.094 mg g^{-1}) и при контролата (0.096 mg g^{-1}). При растенията със самостоятелно азотно (N_{15}) торене е отчетено най-голямо съдържание на хлорофили (0.176 mg g^{-1}).

Най-ниско съдържание на каротиноиди (Car.), средно за 16-та ротация на СТО, е отчетено при контролата (0.037 mg g^{-1}). При самостоятелното азотно торене (N_{15}) е установено най-високото съдържание на Car. в листата на царевицата – 0.058 mg g^{-1} .

Не се отчитат съществени отклонения в съотношението на хлорофил а към хлорофил b при различните варианти на торене на царевицата.

При вариантите, торени с макроелементите калий и фосфор и с комбинацията между тях, е установено най-високото съотношение на хлорофил a/b и най-ниското на Chl.a+b/Car.

Благодарности

Статията е докладвана на юбилейната научна сесия „Устойчиво и конкурентноспособно земеделие в условията на глобални климатични промени“, проведена през 2024 година в Института по царевицата – Кнежа, България.

ЛИТЕРАТУРА

- Amancio, S., & Stulen, I. (2005). Nitrogen Acquisition and Assimilation in Higher Plants. New York, USA: Springer.
- Belous, O., Klemeshova, K., & Malyarovskaya, V. (2018). Photosynthetic Pigments of Subtropical Plants. In: Photosynthesis: From Its Evolution to Future Improvements in Photosynthetic Efficiency Using Nanomaterials (García Cañedo, J. C., and Lizárraga, G. L. L., eds). IntechOpen. pp. 31-52. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75193>.
- Berova, M., Stoeva, N., Vasilev, A., & Zlatev, Z. (2007) Practicum of Plant Physiology. Academic Publishing House of the Agricultural University. Plovdiv (Bg).
- Britton, G. (2008). Functions of intact carotenoids. In Britton, G., Liaaen-Jensen, S. & Pfander, H. (eds). Carotenoids, vol. IV: Natural Functions. Birkhäuser Verlag, Basel. pp. 189 – 211.

- Chaerle L., Leinonen, I., Jones H. G., & Van der Straeten D.** (2007). Monitoring and screening plant populations with combined thermal and chlorophyll fluorescence imaging. *J. Exp. Bot.*, 58, 773-84.
- Ermolaev, I.** (1965). Fertilization. In: 60 years of Agricultural Research Institute "Obraztsov Chiflik" Rouse. BAS, Sofia, Bulgaria, pp. 241-253.
- Filimon, R. V., Rotaru, L., & Filimon, R. M.** (2016). Quantitative Investigation of Leaf Photosynthetic Pigments during Annual Biological Cycle of *Vitis vinifera* L. Table Grape Cultivars. *South African Journal for Enology and Viticulture*. Volume 37, No 1.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Möller, I. S., & White, P.** (2012). Functions of Macronutrients. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, 135-189. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384905-2.00006-6>.
- Hörtensteiner, S., & Kräutler B.** (2011). Chlorophyll breakdown in higher plants. *Biochim. Biophys. Acta* 1807, 977-988.
- Ilieva, A., & Vasileva, V.** (2016). Plastid pigments content and nitrogen in dry mass yield in some mixtures. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*, Vol. 19, Issue 1. 61-77.
- Gilmore, A., & Govindjee, M.** (1999). How higher plant respond to excess light: energy dissipation in photosystem II. In: Concepts in photobiology: photosynthesis and photomorphogenesis (Singhal, G. S. G. Renger, S. K. Sopory, K. D. Irrgang, Govindjee, eds). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 513-518.
- Khan, F., Siddique, A.B., Shabala, S., Zhou, M., & Zhao, C.** (2023). Phosphorus Plays Key Roles in Regulating Plants' Physiological Responses to Abiotic Stresses. *Plants*, 12, 2861. <https://doi.org/10.3390/plants12152861>.
- Kostov, L.** (1981). Soil characteristics for the lands of the SA "Obraztsov Chiflik", Rouse. Sofia, IPPD "N. Poushkarov".
- Lambers, H.** (2022). Phosphorus Acquisition and Utilization in Plants. *Annu Rev Plant Biol.*, 73, 17-42. doi: 10.1146/annurev-arplant-102720-125738. Epub 2021 Dec 15. PMID: 34910587.
- Leghari, S. J., Wahocho, N. A., Laghari, G. M., HafeezLaghari, A., MustafaBhabhan, G., HussainTalpur, K., ... & Lashari, A. A.** (2016). Role of nitrogen for plant growth and development: A review. *Advances in Environmental Biology*, 10(9), 209-219.
- Lingova, S.** (1965). The climate of Obraztsov Chiflik. In: 60 years of Agricultural Research Institute "Obraztsov Chiflik" Rouse. BAS, Sofia, Bulgaria, pp. 39-47.
- Nenova, L.** (2008). Productivity of field crops in 4-pole crop rotation, depending on the system mineral fertilization under conditions of stationary fertilizing experiment at the IASS "Obraztsov chiflik", Rouse. *Rouse University Scientific Works*, Vol. 47, Series 1.1. 28-31.
- Panayotova, G.** (2007). Effect of 40-year fertilization on the nutrient level of leached vertisols and the productivity of cotton-durum wheat crop rotation. *Field Crops Studies*, Vol. IV-2. 251-260.
- Pavlova, S., Dochev, V., & Todorov, I.** (2005). Comparative evaluation of lines of common wheat (*Triticum aestivum* L.) according to some physiological parameters. *Izvestia na Sayuza na uchenite*, 3 (5), 28-31.
- Pavlova, S., & Dochev, V.** (2010). Physiological reaction of regional varieties common wheat under conditions of ecological stress. *Banat's Journal of Biotechnology*, I (2). 27-32.
- Petkova, V., & Poryazov, I.** (2007). Results from application of organic regulator and stimulator Humustim in garden bean and Brussels cabbage. *Humustim-gift of nature*, 119-125.
- Reynolds, M., Bonnett, D., Chapman, S. C., Furbank, R. T., Manès, Y., Mather, D. E., & Parry, M. A.** (2011). Raising yield potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies. *Journal of experimental botany*, 62(2), 439-452.
- Sims, D. A., & Gamon, J. A.** (2002). Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sens. Environ.*, 81(2-3), 337-354.
- Teoharov, M., T. Shishkov, B. Hristov, E. Filcheva, R. Ilieva, I. Lubenova, I. Kirilov, G. Dimitrov, V. Krasteva, B. Georgiev, M. Banov, P. Ivanov, M. Hristova, & Z. Mitreva.** (2014). Chernozems in Bulgaria – Systematic, Specific Features and Problems. *Soil Science Agrochemistry and Ecology*, Vol. XLVIII, № 3-4. 3-9.
- Tran, T. T.** (2018). The Effect of Light Exposure on the Total Chlorophyll Content, Chl a/b Ratio, and Car/chl Ratio in the Barks of *Fraxinus latifolia* Seedlings. *University Honors Theses*. Paper 575. <https://doi.org/10.15760/honors.583>
- Valladares, F., & Niinemets, Ü.** (2008). Shade Tolerance, a Key Plant Feature of Complex Nature and Consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39(1), 237-257.
- Velinova, K., & Glushkova, M.** (2011). Content of Photosynthetic Pigments, Total Protein and Free Proline in the Assimilation Apparatus of European Chestnut (*Castanea Sativa* Mill.) Populations. *Forest Science*, Vol. 1-2.
- Zörb, Ch., Senbayram, M., & Peiter, E.** (2014). Potassium in agriculture – Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*. Vol. 171, Issue 9. 656-669.