

Влияние на различни норми на торене с N, P, K и Si върху развитието на царевица (съдов опит с Излужена смолница)

Мартин Ненов*, Цецка Симеонова, Люба Ненова, Илияна Герасимова, Ваня Лозанова, Ани Кацарова, Здравка Петкова, Мая Бенкова, Ирена Атанасова
Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Н. Пушкиarov”, 1080 София, ул. „Шосе Банкя”, 7

*E-mail за кореспонденция: nenov.martin@gmail.com

Резюме

Изследването е проведено в условията на съдов опит с Излужена смолница, за да се оцени ефективността на взаимодействието между различни норми на азотни, фосфорни, калиеви и силициеви торове в почвата и влиянието им върху развитието на царевица (*Zea mays* L.), средноранен хибрид – Р 8834 от група 310 по ФАО на Пионер. Опитът включва 16 варианта на торене с 3 повторения. Изследвани са няколко агрономически характеристики – височина на растенията на 30-я, 37-я и 46-я ден от началото на вегетацията и добив свежа и суха биомаса от надземната част и корените на културата при прибиране на опита.

Съгласно получените експериментални данни агрономическите характеристики са повлияни съществено от торенето. Откроява се водещата роля на азота във вариантите с висока норма азот – (N_{400} и N_{300}). Необходими са по-продължителни изследвания, за да се установи взаимното влияние на силиция и останалите макроеlementи върху изследваните параметри, което се усложнява с напредване на вегетацията.

Ключови думи: торене; азот; фосфор; калий; силиций; царевица

Effect of different fertilization norms with N, P, K and Si on the development of maize (pot experiment with Pellic Vretisol)

Martin Nenov, Tsetska Simeonova, Lyuba Nenova, Iliana Gerassimova, Vanya Lozanova, Ani Katsarova, Zdravka Petkova, Maya Benkova, Irena Atanassova

N. Poushkarov Institute of Soil Science, Agrotechnology and Plant Protection, 1080 Sofia, Shosse Bankia Str., 7

*E-mail: nenov.martin@gmail.com

Citation

Nenov, M., Simeonova, Ts., Nenova, L., Gerassimova, I., Lozanova, V., Katsarova, A., Petkova, Z., Benkova, M., & Atanassova, I. (2021). Effect of different fertilization norms with N, P, K and Si on the development of maize (pot experiment with Pellic Vretisol). *Rastenievadni nauki*, 58(5) 26-34 (Bg).

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of interaction between different norms of fertilizers: nitrogen, phosphorus, potassium and silicon on the vegetation of Maize (*Zea mays* L.), medium-early hybrid – Pioneer 8834 from FAO group 310. The experiment includes 16 variants of fertilization with 3 replications. Several agronomic characteristics were studied – plant height on the 30th, 37th and 46th day from the beginning of the vegetation and yield of fresh and dried biomass from the aboveground part and the roots of the crop at harvest.

According to the results, the agronomic characteristics were affected significantly by treatments. To sum up, the leading role of nitrogen stands out in treatments with high norm of nitrogen – (N_{400} and N_{300}). Longer studies

are needed to establish the mutual influence of silicon and other macroelements on the parameters studied, which is complicated by the progression of vegetation.

Key words: fertilization; nitrogen; phosphorus potassium and silicon; maize

ВЪВЕДЕНИЕ

България се отличава с голямо разнообразие на почвени типове и разновидности, въпреки сравнително малката си територия, което се дължи на различните релефни, климатични, растителни и геоложки условия, както и на продължителното използване на почвите. Провеждането на агрохимични изследвания с различни типове почви е от съществено значение както за постигане на висока ефективност на оползотворяване на внесените торови средства, така и за поддържане и възпроизводство на почвеното органично вещество и оттам на почвеното плодородие. Обстойното изследване ще позволи да се съставят подходящи препоръки за приложение на различни видове торове в зависимост от конкретните агроекологични условия и видове селскостопански култури. За всяка култура, включително царевица, основните макроелементи, които обикновено се изискват от растението са азот (N), фосфор (P) и след това калий (K), но има редица други елементи като магнезий (Mg), сяра (S), калций (Ca), цинк (Zn), силиций (Si) и манган (Mn), които също са необходими за оптимален растеж и висока продуктивност.

Продължават изследванията за постигане на оптимален хранителен режим на растенията чрез торене с основните хранителни елементи за компенсиране на износа им с продукцията (Zhang et al., 2007; Huang et al., 2010; Matychenkov, 2014; Traykov et al., 2017, Pencheva, 2018, Nazarkov & Nikolova, 2020, Davies et al., 2020). Все още много селскостопански производители в България акцентират главно на торенето с азот. В нашата страна използването на силициеви торове е слабо застъпено. Малобройни са научните изследвания относно взаимодействието и влиянието на силиция с другите основни макроелементи в почвата. В изследванията си някои автори (Artyszak, 2018; Epstein, 2009; Keeping & Reynolds, 2009; Meena et al., 2014; Farooq & Dietz, 2015) посочват, че използване-

то на силиций за листно подхранване намалява абиотичния и биотичния стрес при земеделските култури, като повишава тяхната устойчивост на засушаване, температурни амплитуди, засоляване на почвата, ограничава неблагоприятното въздействие от болести и вредители. Освен това силицият може да се използва в интегрираната растителна защита, а в близко бъдеще да се прилага и в биологичното земеделие. Според Hellal et al. (2012) и White et al. (2017), азотът е лимитиращ фактор за развитието на културите и за да се намали прекомерната му употреба и отрицателните последици е необходимо да се изследва връзката между Si и N. Не са много и изследванията за прилагане на норми на торене, съобразени с физикохимичните свойства на почвения тип и физиологичните изисквания на различните селскостопански култури.

Основна цел на изследването е да се изясни ролята и значението на основните за храненето на растенията макроелементи и определяне на вариантите с оптимален хранителен режим на царевицата в условията на съдов опит с Излужена смолница.

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

На 22 май 2020 година е заложен вегетационен торов опит с тест култура средноранен хибрид царевица (*Zea mays* L.) – P 8834 от група 310 по ФАО на Пионер (FAOSTAT, 2019) в съдове с вместимост 3 kg. Засети са по 7 семена на съд. На 16. 06. 2020 г. поникналите растения са проредени до 4 на съд. Опитът е заложен с почва от ОП Божурище, Софийско, неторен участък. Тя е Излужена смолница, според класификацията на почвите в България (Koinov, 1987) и се определя като Pellic Vertisol (FAO, 2015).

Използвани са следните методи за анализ: хумус – чрез окисляване при загряване по Тюрин (Koponova, 1963); pH – потенциометрично в H₂O и KCl (Arinushkina, 1962); минерален N

– метод на Бремнер и Киней (Bremner, 1965a, Bremner, 1965b); подвижни форми на фосфор и калий (P_2O_5 и K_2O) – по ацетатно-лактатния метод на П. Иванов (Ivanov, 1984). Опитът включва 16 варианти на торене с по 3 повторения. Внесените количества минерални торове са амониева селитра (34%N), троен суперфосфат (46%P), калиев сулфат (45%K) и диатомична пръст (92% SiO_2) и са представени в табл.1.

Таблица 1. Схема на опита – количество торове, активно вещество в mg/съд

Table 1. Scheme of the experiment – amount of fertilizer, active substances in mg/pot

Варианти/ Variants	Фактори/Factors				
	№	N	P	K	Si
1	0	0	0	0	0
2	0	160	140	800	800
3	400	160	140	800	800
4	200	0	140	800	800
5	200	320	140	800	800
6	200	160	0	800	800
7	200	160	280	800	800
8	200	160	140	0	800
9	200	160	140	2000	800
10	200	160	140	800	800
11	300	240	70	400	800
12	300	80	210	400	800
13	300	80	70	1200	800
14	100	240	210	400	800
15	100	240	70	1200	800
16	100	80	210	1200	800

Агрохимичната характеристика на почвата преди залагане на опита е представена в табл. 2.

Получени са данни за височина на растенията в cm на 30-я, 37-я и 46-я ден от началото на опита. Определено е количеството свежа и суха биомаса на надземната част на растенията и корените при прибиране на опита. Направена е статистическа обработка на получените резултати по метода на еднофакторния дисперсионен анализ One-way Anova, и на корелационния анализ със софтуерния продукт Statgraphics.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

От данните, представени в таблица 2 е видно, че съдържанието на общ азот в орния хоризонт на Излужена смолница е 0,139%, което я характеризира като сравнително добре запасена. Въпреки това съдържанието на минерален азот не е високо – 12,67 – 14,98 mg N в 1000 g почва. По отношение на подвижен фосфор обезпечеността е също ниска – от 0,20 до 0,34 mg P_2O_5 на 100 g почва, но е по-добре запасена с усвоим калий – до 30,11 mg K_2O на 100 g почва.

Данните за механичния състав на почвата са представени в Таблица 3. Съдържанието на скелетната фракция – частици с размер, превишаващ 1 mm е ниско – 1,3%. Ниско е и съдържанието на пясък – 10,1%. Количеството на едрия, среден и дребен прах надвишава 26%, а съдържанието на иловата фракция е много високо –

Таблица 2. Агрохимична характеристика на Излужена смолница, Божурище

Table 2. Agrochemical characteristic of Pellic Vertisol, Bozhurishte

Излужена смолница/ Pellic Vertisol	pH		$\sum N$ $NH_4 + NO_3$ mg.kg ⁻¹	Общ/ Total N %	P_2O_5 mg.100g ⁻¹	K_2O mg.100g ⁻¹	Хумус/ Humus %
	H ₂ O	KCl					
0 – 30 cm	6,2	5,4	12,67	0,139	0,20	30,11	3,02
30 – 60 cm	6,5	5,6	8,64	0,113	0,34	21,8	3,09

Таблица 3. Механичен състав на Излужена смолница, в % към въздушно сухо състояние

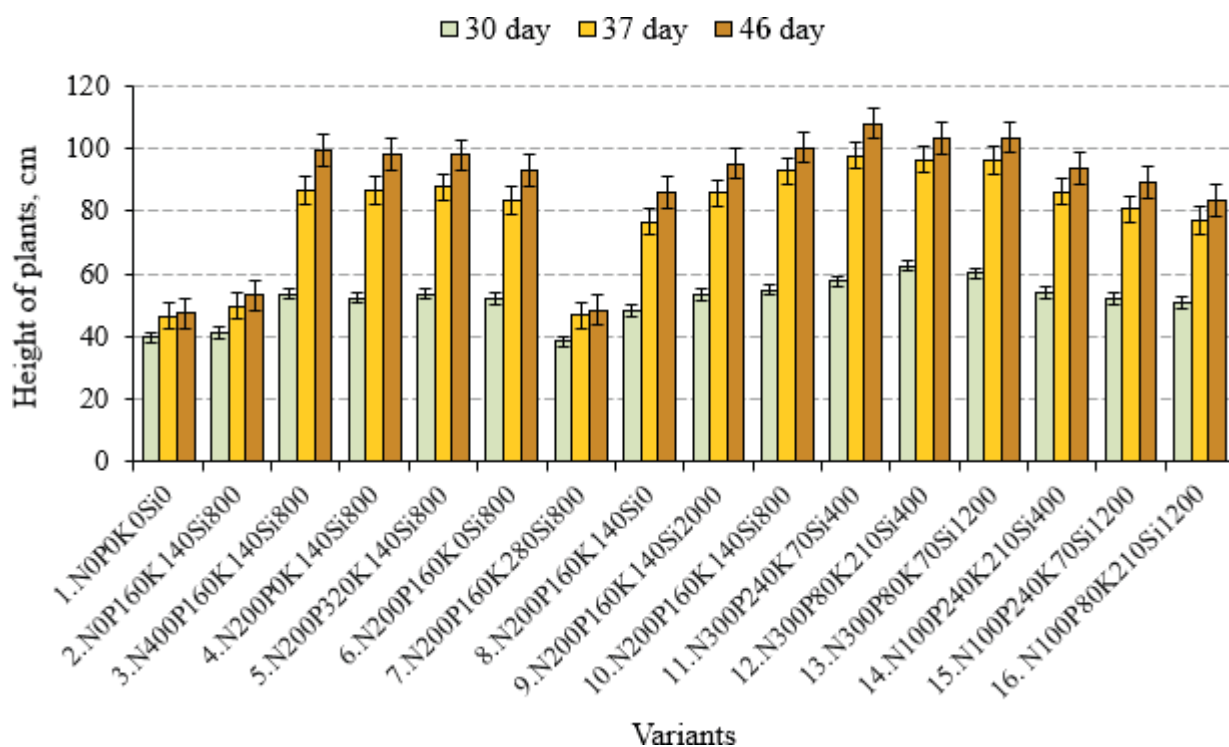
Table 3. Soil texture of Pellic Vertisol, in % to air dried status

Дълбочина/ Depth (0-30 cm)	Higroscopic moisture, %	Sum >1	1-0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	<0,001	Sum <0,01
Излужена смолница, Божурище/ Pellic Vertisol, Bozhurishte	1,30	1,3	2,9	7,2	9,8	8,8	7,7	63,3	79,8

63,3%, което ѝ придава много тежък характер. По механичен състав почвата е средно глинеста. Неблагоприятните водно-физични свойства се дължат на тежкия механичен състав и плътния строеж на почвения профил. Тя има слаба водопроницаемост и ниска порьозност. От друга страна Излужената смолница притежава агрохимически ценни свойства – добра водозадържаща и поглъщателна способност. Механичният състав, структурата и аерацията способстват за задържане на по-висок процент влага за по-дълго време. Аерацията е лоша, което се дължи на уплътняването и тежкия механичен състав. При по-продължително засушаване се спича и напуква. Относителната плътност на почвата е 2,68. Обемната плътност в сухо състояние е 1,95 – 2,0 g/cm³, а при ППВ – 1,23 – 1,25 g/cm³.

По време на вегетацията са осъществени фенологични наблюдения. Царевицата поникна на 7-8-я ден след засяването, и във фаза 4-5-и лист са установени осезаеми различия между отделните варианти. Наблюденията по време на вегетацията намират потвърждение в измерените височини на растенията на 30-я, 37-я и 46-я ден, представени на фигура 1.

Направен е еднофакторен дисперсионен анализ – One way Anova на данните за височина на растенията в трите дати на отчитане в зависимост от вариантите на торене. Установява се доказано различие между вариантите при високо ниво на достоверност $p \leq 0,01$. Разпределението им по данните на височините на царевичката на 30-я ден е в 4 хомогенни класа – А, В, С и D (табл. 4). Доказано различни помежду си са вариантите, които са в отделни хомогенни класове и нямат обща буква помежду си. С най-ниски стойности на височината са растенията в контролния вариант В1 – 52,38 cm, попадащи в хомогенен клас А. Наблюдава се, че 7 от вариантите попадат също в клас А – В8, В16, В9, В13, В10, В14 и В12. Това са варианти с приложено различно комбиниране на 4-те основни макроелементи, само във вариант В8 е изключен силицият. Можем да кажем, че в този начален етап от развитието на царевичката различните комбинации норми и торове оказват приблизително сходно действие на показателя височина на растенията. С най-висока стойност (70,67 cm) е вариант В3 ($N_{400}P_{160}K_{140}Si_{800}$) – това е вариантът с най-висока норма азот. Той попада в хомогенен клас D и е



Фигура 1. Височината на царевичните растения (cm) в съдов опит с Излужена смолница
Figure 1. Maize height (cm) in the pot experiment with Pellic Vertisol

статистически доказано различен от всички останали варианти с изключение на В4 и В5. Останалите варианти се разпределят в междинни класове и различията между тях не са доказани статистически (в клас АВ попадат варианти В15 и В2, в клас АВС – варианти В7, В11 и В6, в клас ВСД – само вариант В5 ($N_{200}, P_{320}, K_{140}, Si_{800}$) – 65,43 cm, а в клас CD – вариант В4 (табл. 4).

Дисперсионният анализ на данните за височините на царевичката е направен и за останалите 2 срока и се установяват сходни закономерности – таблици 5 и 6. Установява се нарастване в броя на хомогенните групи – на 7 във втория срок (37-я ден) и на 5 – в третия срок (46-я ден). Прави впечатление, че на 46-я ден височините при варианти В11, В12 и В13 са най-големи, като това са вариантите, при които е приложен N_{300} в различни комбинации с останалите торове, но това още веднъж потвърждава водещата роля на торенето с азот при формирането на биомасата и в случая на височината на царевичката.

Получените експериментални данни за количество свежа и суха биомаса от надземна част и корени (g/pot) при прибиране на опита са пред-

Таблица 4. Дисперсионен анализ на данните за височина на растенията (cm) по варианти – 30-ти ден, ниво на достоверност 95%, НМДР = 8,69

Table 4. Multiple Range Tests for maize height (cm) by variants – 30 day, LSD = 8.69

Варианти/ Variants	Средно/ Mean	Хомогенни групи/ Homogenous groups
1	52,38	A
8	53,40	A
16	54,08	A
9	54,17	A
13	54,81	A
10	55,00	A
14	55,18	A
12	55,84	A
15	56,80	AB
2	58,20	AB
7	59,62	ABC
11	59,92	ABC
6	60,11	ABC
5	65,40	BCD
4	67,87	CD
3	70,67	D

Таблица 5. Дисперсионен анализ на данните за височина на растенията (cm) по варианти – 37-ми ден, ниво на достоверност 95%, НМДР = 12,01

Table 5. Multiple Range Tests for maize height (cm) by Variants – 37 day, LSD = 12.01

Варианти/ Variants	Средно/ Mean	Хомогенни групи/ Homogenous groups
1	70,17	A
2	76,42	AB
9	80,83	ABC
16	83,25	BCD
15	87,75	BCDE
14	88,42	BCDEF
8	88,67	CDEFG
11	92,25	CDEFG
10	94,00	DEFG
7	95,33	EFG
13	96,67	EFG
6	97,50	EFG
12	97,58	EFG
5	98,42	EFG
3	99,92	FG
4	100,58	G

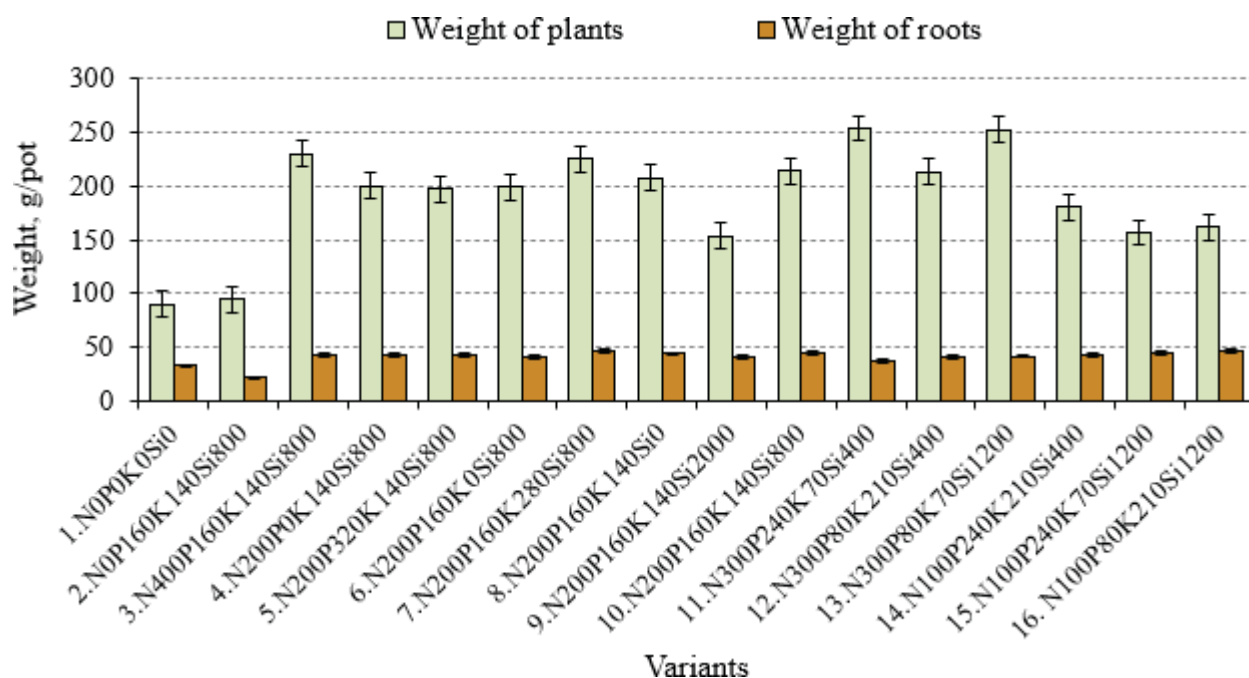
Таблица 6. Дисперсионен анализ на данните за височината на растенията (cm) по варианти, 46-ти ден, ниво на достоверност 95%, НМДР = 15,73

Table 6. Multiple Range Tests for maize height (cm) by Variants – 46 day, LSD = 15.73

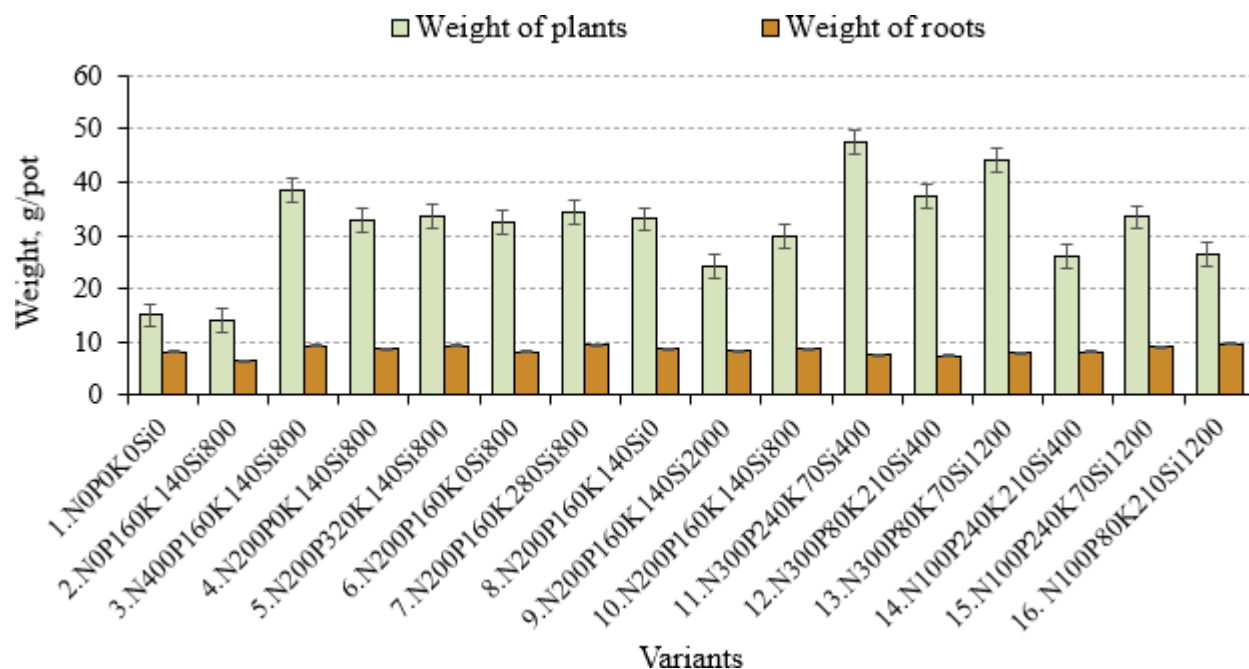
Варианти/ Variants	Средно/ Mean	Хомогенни групи/ Homogenous groups
1	75,33	A
2	80,75	AB
9	91,50	BC
16	94,17	BC
15	99,33	CD
14	99,92	CDE
8	105,83	CDEF
7	110,58	DEF
10	111,33	DEF
3	112,67	DEF
5	112,67	DEF
6	113,33	DEF
4	114,67	DEF
11	115,58	EF
12	115,83	F
13	117,00	F

ставени на фигури 2 и 3. Направена е статистическата обработка на стойностите за добива от свежа биомаса на растенията при прибиране на опита (на 46-я ден), която показва силна корелация

с данните за височина на растенията в този срок ($R = 0,866$, $p < 0,001$). Корелационна връзка се установява и между височините на растенията на 37-я ден от опита и свежата биомаса на



Фигура 2. Добив свежа биомаса от надземната част и корените на царевица (g/pot), Божурище
Figure 2. Yield of plant biomass and roots of Maize (g/pot), Bozhurishte



Фигура 3. Добив суха биомаса от надземна част и корени на царевица (g/pot), Божурище
Figure 3. Yield of dry plant biomass and roots of Maize, (g/pot), Bozhurishte

надземната част и корените при прибиране на опита ($R = 0,854$, $p < 0,001$ и $R = 0,555$, $p < 0,05$, съответно).

Еднофакторният дисперсионен анализ на данните за добив свежа надземна биомаса на царевицата води до разпределение на вариантите в 5 хомогенни класа – А, В, С, D и Е (табл. 7).

Доказано различни помежду си са вариантите, които са в отделни хомогенни класове – от А до Е. С най-ниски стойности са теглата на растенията в контролния вариант В1 – 90 g/pot, попадащ в хомогенен клас А, следван от вариант В2 – 95 g/pot, попадащ в клас АВ. Това са двата варианта без внасяне на азот – N_0 . Най-високи са добивите (230 g/pot) във вариант В3 ($N_{400}P_{160}K_{140}Si_{800}$), където е приложена най-висока норма азот (тенденцията е както и при височините), а също и във вариант В11 ($N_{300}P_{240}K_{70}Si_{400}$) – 229 g/pot. Тези два варианта попадат в хомогенен клас Е. Прави впечатление, че при вариант В9, при който е внесена най-висока норма Si_{2000} добивите свежа биомаса и височина на растенията са сравнително ниски.

Таблица 7. Multiple Range Tests на данните за тегло свежа биомаса от царевица (g/pot) при прибиране на опита 13.07.2020 г., НМДР = 71,84

Table 7. Multiple Range Tests for Weight (g/pot), 13.07.2020 by Variants, Method: 95.0 percent LSD = 71.84

Варианти/ Variants	Средно/ Mean	Хомогенни групи/ Homogenous groups
1	90,00	А
2	95,00	АВ
9	153,00	А В С
15	156,67	А В С D
16	161,33	А В С D E
14	165,00	В С D E
5	196,67	С D E
6	199,00	С D E
4	199,67	С D E
8	207,00	С D E
12	213,00	С D E
10	213,67	С D E
13	223,67	С D E
7	225,33	D E
11	229,00	E
3	230,00	E

Еднофакторният дисперсионен анализ установява, че внасянето на Si доказано повлиява височините на растенията и в трите дати на отчитане. В началния етап най-високи растения са отчетени във вариантите с норма Si_{800} , а с напредване на вегетацията най-високи са растенията във варианти Si_{400} и Si_{800} . Влиянието на Si върху добива от свежа биомаса на царевица не е статистически доказано, но се наблюдава тенденция, която показва, че внасянето на ниска доза Si_{400} е свързана с получаване на по-висока биомаса.

В изследване на Xie et al. (2014) авторите установяват, че по-ниските дози силиций имат благоприятно въздействие върху физиологичните показатели при царевицата. Както може да се види от таблица 8, всички останали варианти попадат в междинни хомогенни класове и различията между тях не са доказани статистически.

В резултат от проведения еднофакторен анализ на стойностите от височина на растенията и количество биомаса от корени и надземна част се установява водещата роля на торенето с азот в норма 400 mg/pot още на 30-я ден от началото на опита (доказаното различие между вариантите е при високо ниво на достоверност $p \leq 0,01$).

Потвърждава се, че влиянието на азота е най-силно върху изследваните показатели през първите етапи от развитието на царевицата – V6 и V8. Силицийт е допринесъл за увеличаване на височината и свежата биомаса на царевицата, като по-ефективни се оказват ниските норми Si_{400} и Si_{800} . С нарастване на азотната норма на 30-я, 37-я и 46-я ден от началото на вегетацията нарастват височината на растенията и добивът от свежа биомаса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат от проведения вегетационен торов опит с Излужена смолница е установена водещата роля на торенето с азот в норма 400 mg/pot и 300 mg/pot (установено е различие между вариантите при високо ниво на достоверност $p \leq 0,01$). Това се потвърждава от направения еднофакторен дисперсионен анализ на стойностите – височина на растенията на 30-я, 37-я и 46-я

ден и количеството биомаса корени и надземна част в последния срок на експеримента.

Установено е разпределение на вариантите първоначално в 4, после в 7 и накрая в 5 хомогенни класа – А, В, С, D, Е. Най-ниски стойности на височината имат растенията в контролния вариант В1 ($N_0P_0K_0Si_0$), следвани от вариант В2 ($N_{160}P_{140}K_{800}Si_0$). Те са в хомогенен клас А. И в трите срока най-силен прираст, а също и количество биомаса имат растенията в В3, отличаващ се по-високата норма N_{400} . Растенията във варианти В11, В12 и В13, торени с N_{300} също нарастват силно на височина и дават високи добиви. Всички останали варианти са в междинни хомогенни класове и разликите не са доказани статистически.

Установените закономерности от статистическата обработка на данните за височина на царевичата през периода на вегетацията корелират с данните за добив от свежа биомаса от надземна част на растенията ($R = 0,866$ на 37-я ден и $R = 0,854$, на 46-я ден, $p < 0,001$) и на корените ($R = 0,555$ на 37-я ден, $p < 0,05$) в зависимост от вариантите на торене. Потвърждава се, че влиянието на азота е най-силно върху изследваните показатели през първите етапи от развитието на царевичата – V6 и V8. Необходимо са по-продължителни изследвания, за да се установи взаимното влияние на силиция и останалите макроеlementи върху изследваните параметри, което се усложнява с напредване на вегетацията, както се отчита от изследването.

Благодарности

Авторите изказват благодарност на проф. Александър Садовски за съдействието при статистическия анализ на експерименталните данни. Публикацията е резултат от работата по Проект КП-06-ПН 36/15 от 17.12.2019 г., финансиран от Фонд Научни изследвания.

ЛИТЕРАТУРА

- Arinushkina, E. V.** (1962). Guide for chemical analysis of soils. Moscow State University Press. Moscow. 490 (Ru).
- Arkadiusz, A.** (2018). Effect of Silicon Fertilization on Crop Yield Quantity and Quality - A Literature Review in Europe, *Plants* 2018, 7(3), 54. <https://doi.org/10.3390/plants7030054>
- Bremner, J. M.** (1965a). Organic Nitrogen in Soils. *Agron.*, 10, pp. 93-149.
- Bremner, J. M.** (1965b). Inorganic Forms of Nitrogen. In: Black C. A. et al., (Eds.). *Methods of Soil Analysis, Part 2, Agronomy Monograph No. 9, ASA and SSSA, Madison*, pp. 1179-1237.
- Davies, B., Coulter, J. A. & Pagliari, P. H.** (2020). Timing and rate of nitrogen fertilization influence maize yield and nitrogen use efficiency. *PLoS ONE* 15(5): e0233674. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233674>
- Epstein, E.** (2009). Silicon: Its manifold roles in plants. *Annals of Applied Biology* 155 (2), pp.155-160.
- FAO.** (2015). World reference base for soil resources 2014. FAO, Rome, pp. 203. <http://www.fao.org/3/i3794en/i3794en.pdf>
- FAOSTAT.** (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Farooq, M. A. & Dietz, K. J.** (2015). Silicon as Versatile Player in Plant and Human Biology: Overlooked and Poorly Understood. *Frontiers in Plant Science* 6, pp. 1-14.
- Keeping, M. G. & Reynolds, O. L.** (2009). Silicon in agriculture: New insights, new significance and growing application. *Annals of Applied Biology*, 155(2), pp. 153-154. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00358.x>
- Koinov, V.** 1987. Correlation between the soils of Bulgaria and the soils distinguished by the major soil classification systems in the world. *Soil Science, Agrochemistry and Plant Protection*, 22(5), pp. 5-13 (Bg).
- Kononova, M. M.** (1963). Soil organic matter. Its nature, properties and methods of study. M., AN SSSR, 314 (Ru).
- Hellal, F. A., Zeweny, R. M., & Yassen, A. A.** (2012). Evaluation of nitrogen and silicon application for enhancing yield production and nutrient uptake by wheat in clay soil. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(2), pp. 686-692.
- Huang, S., Zhang, W., Yu X., & Huang, Q.** (2010). Effects of long-term fertilization on corn productivity and its sustainability in an Ultisol of southern China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 138 (1–2), pp. 44-50.
- Ivanov, P.** (1984). New Acetate-lactate Method for Determination of Available Forms of P and K in Soil. *Soil Science and Agrochemistry*, 19 (4), pp. 88-98 (Bg).
- Matychenkov, I. V.** (2014). Mutual influence of silicon, phosphorus and nitrogen fertilizers in the soil-plant system. Diss. Cand. Biol. Sci., Moscow, 136 (Ru). <https://istina.msu.ru/dissertations/8469972>
- Meena, V. D., Dotaniya, M. L., Coumar, V., Rajendiran, S., Kundu, S. & Rao, A. S.** (2014). A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences* 84, pp. 505-518.
- Nazarkov, M., & Nikolova, D.** (2020). Dynamics of accumulation of absolutely dry biomass in maize. *Bulgar-*

ian Journal of Soil Science Agrochemistry and Ecology, 54(4), pp. 72-81 (Bg).

Pencheva, A. (2018). Analysis of some quantitative traits of local maize populations. *Bulgarian Journal of Crop Science*, 55(5), pp. 16–21 (Bg).

Traykov, N., Toncheva, R., & Dimitrov, I. (2017) Investigation of the productivity of maize depending on agro-ecological conditions and applied agrotechnics. *Bulgarian Journal of Soil Science Agrochemistry and Ecology*, 51(1), pp. 12-24 (Bg).

White, B., Tubana, B. S., Babu, T., Mascagni, H. Jr., Agostinho, F., Datnoff, L. E., & Harrison, S. (2017).

Effect of silicate slag application on wheat grown under two nitrogen rates. *Plants (Basel)*, 6(4), 47. <https://doi.org/10.3390/plants6040047>

Xie, Z., Song, F., Xu, H., Shao, H., & Song, R. (2014). Effects of Silicon on Photosynthetic Characteristics of Maize (*Zea mays* L.) on Alluvial Soil. *Scientific World Journal*. Article ID 718716. <https://doi.org/10.1155/2014/718716>

Zhang, K., Greenwood, D. J., White, P. J., & Burns, I. G. (2007). A dynamic model for the combined effects of N, P and K fertilizers on yield and mineral composition; description and experimental test. *Plant Soil*, 298, pp. 81-98.