Journal of Mountain Agriculture on the Balkans, 2018, 21 (1), 296-305 ISSN 1311-0489 (Print)
Research Institute of Mountain Stockbreeding and Agriculture, Troyan ISSN 2367-8364 (Online)

Параметри на връзката „Добив - Напоителна норма" при домати, оранжерийно производство

Антония Стоянова[1]*, Николай Вълчев[1], Радост Петрова[2]

[1]Аграрен факултет, Тракийски университет, 6000 Стара Загора, България
[2]Аграрен университет, 4000 Пловдив, България

Parameters of the relation "Yield - Irrigation depth" in tomatoes, greenhouse production

Antoniya Stoyanova[1]*, Nikolai Valchev[1], Radost Petrova[2]

[1]Faculty of Agriculture, Trakia University, 6000 Stara Zagora, Bulgaria
[2]Agricultural University, 4000 Plovdiv, Bulgaria

**E-mail: toni_1219@abv.bg*

Received: 10.04.2018 *Accepted:* 20.04.2018 *Published:* 20.08.2018

РЕЗЮМЕ

Експерименталният полски опит е изведен през периода 2016-2017 г. в неотопляема полиетиленова оранжерия. Обект на изследването са домати, сорт „Вителио". За определяне на параметрите на зависимостта „Добив – Напоителна норма", са използвани следните варианти: 1. напояване с 50% от оптималната поливна норма, 2. напояване с 75% от оптималната поливна норма, 3. напояване с 100% от оптималната поливна норма (оптимален вариант). Връзката „Добив – Напоителна норма" при домати, оранжерийно производство, може да бъде изразена чрез квадратно уравнение ($Y = ax^2+bx$) като средно за експерименталния период има вида: $Y = 2,786x - 1,780x^2$. От биологическа гледна точка, степенната формула отразява по-коректно изменението на добива при прилагане на различен поливен режим (при $R^2 = 0,995$). Средно за разглеждания период зависимостта се представя с уравнение от вида: Y = 1 – (1 – x) 2,9. Отклонението на опитно установените спрямо

SUMMARY

The experimental field experience was brought out during the period 2016-2017 in an unheated polyethylene greenhouse. The subject of the study is tomato, variety "Vitelio". To determine the parameters of the "Yield – Irrigation depth" dependence, were used the following options: 1. Irrigation with 50% of the optimal irrigation rate, 2. Irrigation with 75% of the optimal irrigation rate, 3. Irrigation with 100% of the optimal irrigation rate (optimal option). The relation "Yield – Irrigation depth" in tomatoes, greenhouse production can be expressed by square equation ($Y = ax^2 + bx$) as the average for the experimental period is the following: $Y = 2,786x - 1,780x^2$. From a biological point of view, the step formula reflects more accurately the change in yield when applying a different irrigation regime ($R^2 = 0.995$). Average for the period under consideration, the dependence is represented by the equation of the type: Y = 1 - (1 - x) 2,9. The deviation of the experimentally determined from the calculated yields is

изчислените добиви е от -3,4% до +2,1%, т.е. в диапазона -2453 до+ kg/da.

Ключови думи: домати, напоителна норма, добив, връзка

from -3.4% to + 2.1%, i.e. in the range -2453 to + 212 kg/da.

Key words: tomatoes, irrigation depth, yield, relation

УВОД

Зеленчукопроизводството е един от най-интензивните сектори на развитие на растениевъдството. Интензификацията на оранжерийното производство налага използването на значителни количества минерални торове с оглед увеличаване на добивите, но много често неправилната им употреба нанася сериозни щети както на отглежданата култура, така и на околната среда. Капковото напояване е водоспетяваща и високоефективна технология, която отговаря на съвременните изисквания за развитие на екологосъобразно земеделие. При капковото напояване поливните норми могат да бъдат регулирани, ограничава се навлажняваната площ и намалява на изпарението от почвената повърхност.

Възможността за подаване на торовете едновременно с поливната вода позволява да се осигури подходящ хранителен режим на растенията през различните фази от развитието им и по-добро разпределение на хранителните елементи, намаляване на разходите на труд и намаляване на количеството на торовете (Petkov et al., 2013). Изследване влиянието на подхранването с азотен тор, внесен с поливната вода, установява, че намаляване на нормите с 18,75% не намалява количеството и качеството на добивите и повишава ефективността на използваемост на подадената вода за напояване (Zugui et al., 2003; Zhanguo, 2008).

При създалата се конюнктура на пазара за производство на екологически чиста продукция с възможно най-ниска себестойност, се налага търсенето на взаимовръзката вода-добив-торене на икономически изгодното ниво, а не на биологически оптималното et al. (Varlev et al., 1994). Публикувани са множество резултати за взаимодействие на факторите вода и торене и комплексното им влияние върху качествените показатели на домати (Favati et al., 2009; Ozbahce et al., 2010; Kuşçu et al., 2014; Zhang et al.,

INTRODUCTION

Vegetable production is one of the most intense sectors of plant growing. Increasing greenhouse production requires the use of significant quantities of mineral fertilizers to increase yields, but often their misuse causes serious damage to both culture and the environment.

Drip irrigation is a water-saving and highly efficient technology that meets today's requirements for the development of environmentally-friendly farming. In drip irrigation the irrigation regulations can be adjusted, the wetted area is limited and the evaporation decreases from the soil surface.

The ability to feed fertilizers at the same time as irrigation water allows for proper nutrition of plants during the different phases of their development and better distribution of nutrients, reduction of labour costs and reduction of the amount of fertilizers (Petkov et al., 2013). Investigation of the influence of nitrogen fertilizer feed with irrigated water found that a 18.75% reduction in yields did not reduce the quantity and quality of the yields and increased the efficiency of water use for irrigation (Zugui et al., 2003; Zhanguo, 2008).

In the current situation in the market for production of ecologically clean products with the lowest possible cost, it is necessary to seek the interconnection of water-extraction-fertilization at the economically advantageous level rather than the biologically optimal one (Varlev et al., 1994). Multiple results have been published on the interaction of water and fertilization factors and their complex influence on the quality of tomato indicators (Favati et al., 2009; Ozbahce et al., 2010; Kuşçu et al., 2014; Zhang et al., 2017). Екологичнят риск при фактора торене и ролята на поливната вода, като екологичен фактор са в основата на настоящото екологично проучване.

С настоящето изследване се цели установяване параметрите на връзката „допълнителен добив-напоителна норма" при домати, оранжерийно производство. Проучването на тези зависимости дават възможности за намаляване количеството на прилаганите торове чрез оптимизиране на поливния режим с оглед получаване на екологично чиста продукция.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

Експерименталният полски опит е изведен през периода 2016-2017 г. в неотопляема полиетиленова оранжерия. Обект на изследването са домати, сорт „Вителио". Опитът е залаган по метода на дългите парцели, на равна повърхност по схема 110+50+35, с големината на реколтната парцелка 10 m^2.

За определяне на параметрите на зависимостта „добив – напоителна норма", са използвани следните варианти:

1. Напояване с 50% от оптималната поливна норма
2. Напояване с 75% от оптималната поливна норма
3. Напояване с 100% от оптималната поливна норма (оптимален вариант)

Напояването е извършвано посредством изградена за целта капкова инсталация. Поливните крила са с вградени през 0,2 m капкопускатели с дебит 2 l/h. Поддържана е предполивна влажност 90 % ППВ, като поливната норма е изчислена за активен почвен слой 0-30 cm.

Параметрите на връзката „Добив – Напоителна норма" са установени по метода на най-малките квадрати като са приложени следните формули: 1) регресионно уравнение: $Y = ax^2 + bx$, където Y – относителният допълнителен добив при реализиране на съответната относителна напоителна норма (x); 2) степенна формула на Davidov (1994): $Y = 1 – (1 – x)^n$, където: x – съотношение между реализираната намалена и максималната напоителна норма (M/M_o); n – степенен показател.

Установяването на връзката между напоителна норма и добива се извършва

2017). The environmental risk of the fertilizing factor and the role of irrigation water as an environmental factor are at the base of this environmental study.

This study aims to establish the parameters of the relation "extra yield-irrigation norm" in tomatoes, greenhouse production. The study of these dependencies gives opportunities to reduce the amount of fertilizer applied by optimizing the irrigation regime in order to obtain ecologically clean products.

MATERIAL AND METHODS

The experimental field trial was brought out during the period 2016-2017 in an unheated polyethylene greenhouse. The subject of the study is tomato, variety "Vitelio". The experiment is based on the long plot method, on a flat surface 110 + 50 + 35 with the size of the plot of 10 m^2.

To determine the parameters of the "yield – irrigation rate" dependence, were used the following options:

1. Irrigation with 50% of the optimal irrigation rate
2. Irrigation with 75% of the optimal irrigation rate
3. Irrigation with 100% of the optimal irrigation rate (optimal option)

Irrigation was carried out using a built-in drip plant. The floating wings have built-in 0,2 m drippers with a flow rate of 2 l/h. Prepared humidity is maintained at 90% PC, with the irrigation rate calculated for an active soil layer of 0-30 cm.

The parameters of the relation "Yield – Irrigation rate" have been identified by the method of least squares by applying the following formulas: 1) regression equation: $Y = ax^2 + bx$, where Y – relative additional yield in the realization of the relative irrigation rate (x); 2) Grades formula of Davidov (1994): $Y = 1 - (1 - x)^n$, where: x – ratio between the reduced and the maximum irrigation rate (M / Mo); n - step indicator.

Establishing the connection between the irrigation depth and the yield is посредством компютърни програми, съответно при уравнение 1 – Microsoft Excel – 2003, а при формула 2 – специализираната програма YIELD (Davidov, 1992).

performed by means of computer programs, respectively in equation 1 – Microsoft Excel – 2003, and in the case of the formula 2 – the specialized program YIELD (Davidov, 1992).

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Влияние при формиране на напоителната норма оказват поддържаната предполивна влажност, дълбочината на активния почвен слой, микроклимата в неотопляемата полиетиленова оранжерия и периода на отглеждане на културата.

Поливна норма при вариант 3 е 15 mm, изчислена за навлажняване на 30 cm почвен слой. През 2016 година са подадени 33 поливки, с размер на оптималната напоителната норма 495 mm (вар. 3). През втората година същата е 405 mm, реализирана чрез 27 поливки.

Данните относно големината на напоителните норма и получения добив по варианти, години и средно за периода са представени в Таблица 1. Въз основа на съответните им относителни стойности са изчислени параметрите на търсената зависимост.

RESULTS AND DISCUSSION

Influence in the formation of the irrigation norm is provided by the preserved humidity, the depth of the active soil layer, the microclimate in the unheated polythene greenhouse and the growing period of the crop.

The irrigation depth for Variant 3 is 15 mm, calculated for wetting a 30 cm soil layer. In 2003, 33 irrigations were dispatched, with an optimum Irrigation depth of 495 mm (var. 3). In the second year the same was 405 mm, realized through 27 watering.

The data on the size of the irrigation depth and the yield obtained by variants, years and averages for the period are presented in Table 1. Based on their respective relative values, the parameters of the dependency sought are calculated.

Таблица 1. Изходни данни за установяване на зависимостта „Добив–Напоителна норма“
Table 1. Source data for calculating of “Yield – Irrigation depth” relationship

Година Year	Вариант Variant		M (mm)	M_i/M_o	Добив /Yield kg/da	$\Delta Y/\Delta Y_o$
2016	1	50% от максималната норма (m) irrigation with 50% of m	247,5	0,50	7848	0,955
	2	75% от максималната норма (m) irrigation with 75% of m	369,6	0,75	10504	1,278
	3	100% от максималната норма (m) irrigation with 100% of m	495,0	1,00	8220	1,000
2017	1	50% от максималната норма (m) irrigation with 50% of m	202,4	0,50	9540	0,920
	2	75% от максималната норма (m) irrigation with 75% of m	302,4	0,75	10030	0,968
	3	100% от максималната норма (m) irrigation with 100% of m	405,0	1,00	10365	1,000
Средно average	1	50% от максималната норма (m) irrigation with 50% of m	225,0	0,50	8694	0,936
	3	75% от максималната норма (m) irrigation with 75% of m	336,0	0,75	10267	1,105
	4	100% от максималната норма (m) irrigation with 100% of m	450,0	1,00	9293	1,000

M – напоителна норма/ irrigation depth; M_i/M_o – относителна напоителна норма/ relative irrigation depth; $\Delta Y/\Delta Y_o$ – относителен допълнителен добив/ additional relative yield

Връзка „Добив – Напоителна норма“ чрез квадратно уравнение от вида:

Relation "**Yield **- Irrigation** depth**" through a square equation of the type:

$$Y = ax^2+bx$$

На Фигура 1 са представени нагледно получените резултати чрез регресионен анализ на експерименталните данни (от Таблица 1), а в Таблица 2 параметрите на разглежданата зависимост. През двете опитни години, квадратното уравнение от вида $Y=ax^2 + bx$ представя разглежданата връзка като изпъкнала парабола.

Независимо, че изведените регресионни уравнения имат високи стойности на коефициента на детерминация R^2 (съответно 0,978 и 0,992), изчислените добиви се отклоняват от опитно установените (Таблица 2). Според кривата, валидна за 2016 г., максимален относителен добив (1,0) се отчита при норма 47% m, което не кореспондира с биологията на културата.

Опитните данни през втората година се осредняват при R^2 = 0,992. Според кривата относителен добив 1,0 се достига при 68%m, като в диапазона 70-90% m, същият е с около 3% по-висок от този при реализиране на 100% m.

Кривите апроксимиращи общо всички експериментални точки и осреднените за целия период, са отново параболи. Двете са близки по ход, но с различен коефициент на детерминация (R^2 е съответно 0,969 и 0,999).

От анализа на експерименталните данни може да се направи извода, че при условия на недостигащи водни ресурси, успешно може да се приложи редуциране на поливните норми с 25%. Прилагането на вариант 75% m стабилизира добива, като при по-богат поливен режим не се гарантира допълнителното му увеличение.

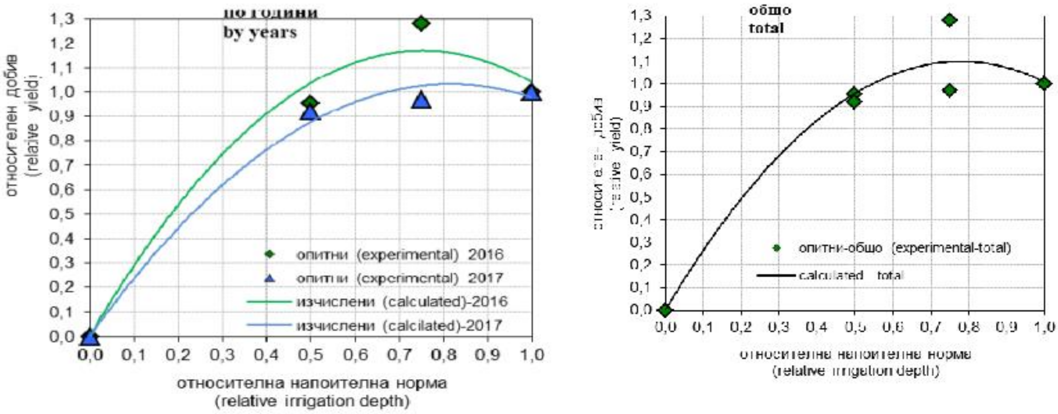
Figure 1 shows the results obtained by regression analysis of the experimental data (Table 1) and in Table 2 parameters of the considered dependence. In the two experimental years, the square equation of the type $Y = ax^2 + bx$ represents the considered connection as a convex parabola.

Although the deduced regression equations have high values of the determination coefficient R^2 (0,978 and 0.992, respectively), the calculated yields deviate from the experimentally determined (Table 2). According to the curve valid for 2016, the maximum yield (1,0) is reported at a rate of 47% m, which does not correspond to the biology of the culture.

Experimental data in the second year is averaged at R^2 = 0.992. According to the curve, the relative yield 1,0 is reached at 68% m, in the range of 70-90% m, it is about 3% higher than at 100% m.

The curves approximating the total data points and averaged for the entire period are parabolas again. Both are similar in turn but with a different determination coefficient (R^2 is 0,969 and 0,999, respectively).

From the analysis of the experimental data it can be concluded that under conditions of insufficient water resources, a reduction of the irrigation norms can be successfully implemented by 25%. The application of a 75% m option stabilizes the yield, and in the case of a richer irrigation regime it is not guaranteed to increase it further.



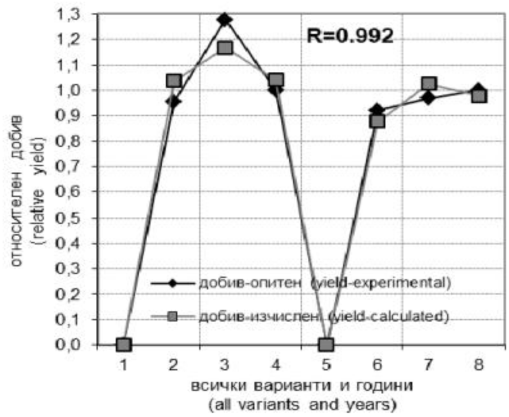
Фиг. 1. Връзка „Добив–Напоителна норма“ по години и общо, по уравнение $Y=ax^2+bx$
Fig. 1. “Yield – Irrigation depth” relation by years and total, using equation $Y=ax^2 + bx$

Таблица 2. Параметри на зависимостта „Добив – Напоителна норма“
Table 2. Parameters of relation “ Yield – Irrigation depth”

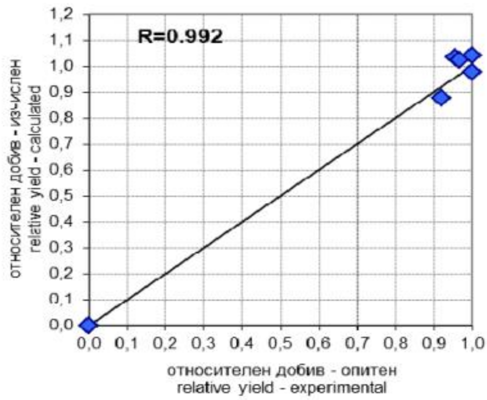
Година Year	Формула / Equation				
	Equation (1)		Equation (2)		
	$Y = ax^2 + bx$	R^2	$Y = 1 – (1 – x)^n$	n	R
2016	$Y = -2,066x^2 + 3,107x$	0,978	$Y = 1 – (1 – x)^{2,8}$	2,8	0,975
2017	$Y = -1,553x^2 + 2,531x$	0,992	$Y = 1 – (1 – x)^{3,2}$	3,2	0,999
Средно / Average	$Y = -1,780x^2 + 2,786x$	0,999	$Y = 1 – (1 – x)^{2,9}$	2,9	0,995
Общо / Total	$Y = -1,809x^2 + 2,819x$	0,969			

В правоъгълна квадратна система са съпоставени опитните и изчислените добиви при изпитаните варианти по години (Фигура 2), а на Фигура 3 онагледена връзката между тях. Въпреки високата корелация (R = 0,992) между опитно установения добив и съответните им изчислени стойности, относителните отклонения между тях варират в границите от -8,6% до +8,6%. В абсолютна стойност се равнява на допълнителен добив в диапазона – 902 kg/da до + 676 kg/da (Таблица 3).

In a rectangular square system, the experimental and calculated yields of the tested variants are compared in years (Figure 2), and Figure 3 illustrates the relation between them. Despite the high correlation (R = 0,992) between the experimentally determined yield and their respective calculated values, the relative deviations between them ranged from -8,6% to +8,6%. In absolute terms, it is equivalent to an extra yield in the range of 902 kg/da to + 676 kg/da (Table 3).



Фиг. 2. Относителни добиви – опитни и изчислени по уравнението: $Y = ax^2 + bx$
Fig. 2. Additional yield – experimental and calculated by equation: $Y = ax^2 + bx$



Фиг. 3. Връзка между опитни и изчислени добиви по уравнението: $Y = ax^2 + bx$
Fig. 3. Relationship between experimental and calculated yield by formula $Y = ax^2 + bx$

Таблица 3. Вариране на изчислените добиви спрямо опитно установените
Table 3. Variation of the calculated yield compared with experimentally established

Вариант variant	year	Формула / Equation				year	Формула / Equation			
		$Y = ax^2 + bx$		$Y = 1 – (1 – x)^n$			$Y = ax^2 + bx$		$Y = 1 – (1 – x)^n$	
		±kg/da	± %	±kg/da	± %		±kg/da	± %	±kg/da	± %
50% m	2016	676	8,6	-808	-10,3	2017	-447	-4,7	-303	-3,2
75% m		- 902	-8,6	-2453	-23,4		591	5,9	212	2,1
100% m		337	4,1	0	0,0		-228	-2,2	0	0,0
R		0,992		0,977			0,992		0,977	

Връзка „Добив – Напоителна норма“ по формулата:

Relation "Yield - Irrigation depth" by the formula:

$$Y = 1 - (1-x)^n$$

Връзката „Добив – Напоителна норма“ е определена по формулата на Давидов, като за целта опитните данни от Таблица 1 са обработени със специализирана компютърна програма.

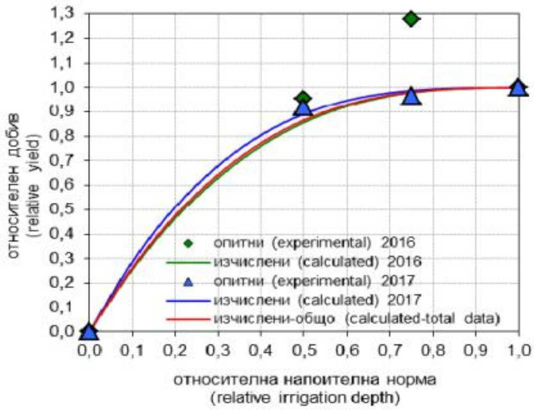
Резултатите от направения анализ, представени графически на Фигура 4 по категоричен начин показват предимството на променящия се степенен показател. По този начин се увеличава точността на апроксимация и изменението на допълнителния добив е в границите от 0 до 1. Изразяването на зависимостта по формулата на Давидов удовлетворява изискванията

The relationship "Yield – Irrigation depth" is determined by the formula of Davidov, for which purpose the experimental data from Table 1 are processed with a specialized computer program.

The results of the analysis presented graphically in Figure 4 clearly show the advantage of the variable step indicator.

This increases the accuracy of approximation and the change of the extra yield is in the range from 0 to 1. The expression of the dependence on the Davidov‘s formula satisfies the за точност от математическа гледна точка и отговаря на биологичните особености на доматите по отношение на фактор вода и реакцията на културата при прилагане на нарушен поливен режим.

mathematical accuracy requirements and meets the biological characteristics of the tomatoes in relation to the water factor and the reaction of the culture when applying an irrigated irrigation regime.



Фиг. 4. "Добив-напоителна норма" (по години)
Fig. 4. "Yield-irrigation depth" (by years)

През двете опитни години, експерименталните точки са осреднени от изпъкнали параболи при степенен показател съответно n = 2,8 и n = 3,2. Стойността на коефициента на апроксимация R през двете години е висока – 0,975 и 0,999. Кривите, характеризиращи опитните години, се припокриват в диапазона 0,7-1,0, като максимален относителен допълнителен добив се получава при реализиране на 80% от поливната норма. Според така представената връзка, редуциране на нормата с 25%, би довело до незначително намаляване на добива от около 2%.

Осреднените опитни точки се апроксимират от една обща крива при n = 2,9 и много висок коефициент на корелация (R = 0,995). При тази крива максимален добив се достига в диапазона 80-100% m, а при норма 65% m, добива е 95% от максималния.

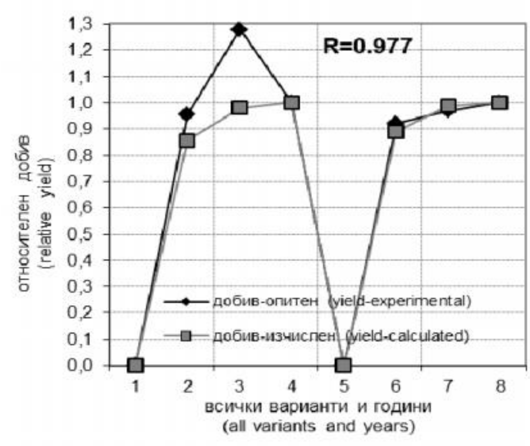
Параметрите на връзката „Добив – напоителна норма“, определени по степенната формула на Давидов са

During the two experimental years, the experimental points were averaged by convex parabols with a score of n = 2,8 and n = 3,2 respectively. The value of the approximation coefficient R over the two years is high – 0,975 and 0,999. The curves characterizing the experimental years overlap in the range of 0,7-1,0, as with maximum relative extra yield being obtained when 80% of the irrigation rate is realized. According to the link presented, a 25% reduction in the norm would lead to a marginal reduction in yield of about 2%.

The averaged test points are approximated by a common curve at n = 2,9 and a very high correlation coefficient (R = 0,995). At this curve, maximum yield is reached in the 80-100% range, and at 65% m, yields 95% of the maximum.

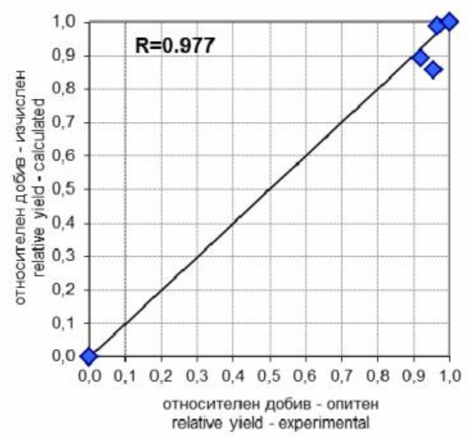
The parameters of the relation "Yield – Irrigation depth", determined by Davidov’s formula, are presented in Table представени в Таблица 2, а на Фигури 5 са нанесени съответно опитните и изчислените добиви по години и средно за периода. На Фигура 6 е представена връзката между опитно определените и изчислени добиви при коефициент на корелация R = 0,977.

2, and Figures 5 are respectively the experimental and calculated yields by year and average over the period. Figure 6 shows the relation between the experimentally determined and calculated yields at a correlation coefficient R = 0,977.



Фиг. 5. Опитни и изчислени относителни добиви по години ($Y = 1 - (1 - x)^n$)

Fig. 5. Experimental and calculated additional yield for all years (by equation: $Y = 1 - (1 - x)^n$)



Фиг. 6. Връзка между опитни и изчислени добиви по формула $Y = 1 - (1 - x)^n$ при R=0.977

Fig. 6. Relation between experimental and calculated yield by formula $Y = 1 - (1 - x)^n$

Точността на апроксимация при формулата на Давидов е по-ниска в сравнение с тази при регресионния анализ. Както бе отбелязано по-горе, тя отразява по-добре реакцията на културата от биологична гледна точка при прилагането на различен поливен режим. Коефициентът на корелация е R = 0,977, а опитно установените допълнителни добиви се отклоняват от изчислените в диапазона -2453 до +212 kg/da. В относителни стойности отклонението е в граници от -23,4% до +2,1% (Таблица3).

The accuracy of approximation in the Davidov’s formula is lower than in the regression analysis. As noted above, it better reflects the culture’s response from a biological point of view when applying a different irrigation regime. The correlation coefficient is R = 0,977, and the experimentally determined extra yields deviate from the range -2453 to +212 kg/da. In relative values, the deviation ranges from -23,4% to + 2,1% (Table 3).

ИЗВОДИ

Връзката „Добив – Напоителна норма“ при домати, оранжерийно производство, може да бъде изразена чрез квадратно уравнение ($Y = ax^2 + bx$) като средно за експерименталния период има вида: $Y = 2,786x - 1,780x^2$.

Графически е представена от

CONCLUSIONS

The relation "Yield – Irrigation depth" in tomatoes, greenhouse production can be expressed by square equation ($Y = ax^2 + bx$) as the average for the experimental period is the following: $Y = 2,786x - 1,780x^2$.

Graphically, it is represented by

изпъкнала парабола при R^2 = 0,999. Отклонението на опитно установените спрямо изчислените допълнителни добиви е от -8,6% до +8,6%. В абсолютна стойност се равнява на добив в диапазона – 902 kg/da до + 676 kg/da.

От биологическа гледна точка, степенната формула отразява по-коректно изменението на добива при прилагане на различен поливен режим (при R^2= 0,995). Средно за разглеждания период зависимостта се представя с уравнение от вида: $Y = 1 – (1 – x)^{2,9}$. Отклонението на опитно установените спрямо изчислените добиви е от -3,4% до +2,1%, т.е. в диапазона -2453 до +212 kg/da.

convex parabola at R^2 = 0,999. The deviation of the experimentally determined from the calculated extra yields is from -8,6% to +8,6%. In absolute terms, it is equivalent to yield ranging from 902 kg/da to + 676 kg/da.

From a biological point of view, the step formula reflects more accurately the change in yield when applying a different irrigation regime (R^2 = 0,995). Average for the period under consideration, the dependence is represented by the equation of the type: $Y = 1 - (1 - x)^{2,9}$. The deviation of the experimentally determined from the calculated yields is from -3,4% to +2,1%, i.e. in the range -2453 to +212 kg/da.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. **Davidov, D.**, 1994. On the Grounds of the Relationship “Yield – Water”. 17th European Regional Conference on Irrigation and Drenage ICID – CIID, Varna, Bulgaria, vol. 1, 251-253 (Bg).

2. **Favati, F., S. Lovelli, F. Galgano, V. Miccolis, T. Tommaso and V. Candido**, 2009. Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling. *Scientia Horticulturae*, 122(4), 562-571.

3. **Kuşçu, H., A. Turhan and A. Demir**, 2014. The response of processing tomato to deficit irrigation at various phenological stages in a sub-humid environment. *Agricultural Water Management*, Vol. 133, February 2014, 92-103.

4. **Ozbahce, A. and A. Tari**, 2010. Effects of different emitter space and water stress on yield and quality of processing tomato under semi-arid climate conditions. *Agricultural Water Management*, 97(9), 1405-1410.

5. **Petkov, P., I. Varlev and K. Karaivanov**, 2013. Determination of economic optimal dimensioning norm and economic effect of drip irrigation of vegetables. *Waterworks*. 5-6.13_s4.pdf.

6. **Varlev, I., N. Kolev, I. Kirkova**, 1994. “Yield – Water” Relationship and their Chages during Individual Climatic Years. 17th European Regional Conference on Irrigation and Drenage ICID – CIID, Varna, R 1, 46 (Bg).

7. **Zhang, H., Y. Xiong, G. Huang, X. Xu and G. Huang**, 2017. Effects of water stress on processing tomatoes yield, quality and water use efficiency with plastic mulched drip irrigation in sandy soil of the Hetao Irrigation District. *Agricultural Water Management*, Vol. 179, 1 January 2017, 205-214.

8. **Zhanguo, Li**, 2008. Effect of Nitrogenous Fertilizer on Cherry Tomato in Drip Irrigation. *Journal of Changjiang Vegetables*, 12.

9. **Zugui, L., D. Aiwang, W. Haiqing, Z. Jiyang and W. Guangxing**, 2003. Impacts of Water-and-Fertilizer Allocation on Tomato Yield and Water Use Efficiency in Drip Irrigation Greenhouse. *China Rural Water and Hydropower*, 01
http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-ZNSD200301004.htm

Journal of Mountain Agriculture on the Balkans, 2018, 21 (1), 306-316 ISSN 1311-0489 (Print)
Research Institute of Mountain Stockbreeding and Agriculture, Troyan ISSN 2367-8364 (Online)

Влияние на капковото напояване върху добива и ефективността на използване на водата за домати, отглеждани в неотопляема оранжерия

Галина Патаманска*, Елена Грънчарова, Георги Костадинов, Антоанета Гигова

Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията, 1331 София, България

Effect of drip irrigation on the yield and water use efficiency for tomatoes grown in unheated greenhouse

Galina Patamanska*, Elena Grancharova, Georgi Kostadinov, Antoaneta Gigova

[1]*Institute of Soil Science, Agrotechnologies and plant Protection, 1331 Sofia, Bulgaria*

**E-mail: patamanska_g@yahoo.com*

Received: 17.04.2018 *Accepted:* 03.05.2018 *Published:* 20.08.2018

РЕЗЮМЕ

Целта на това изследване е да се проучи влиянието на прилагане на капково напояване с различни поливни норми върху добива от оранжерийни домати и ефективността на използване на водата. През 2017 г е проведен експеримент по метода с дългите парцелки с домати сорт *Solanum lycopersicum 'Big Beef',* отглеждани при капково напояване и мулчиране в неотопляема полиетиленова оранжерия на канелена горска почва на опитно поле Челопечене на Института по почвозна-ние, агротехнологии и защита на расте-нията „Никола Пушкаров“ - гр. София. Изпитани са следните четири варианта: Т1 – оптимално напояване с 100% поливна норма за поддържане на 90% ППВ, Т2 – напояване с 60% от оптималната полив-на норма, Т3 – напояване с 80% от опти-малната поливна норма, Т4 – напояване с 100% поливна норма, определена по изпарител клас А. Времето на поливките е определяно чрез наблюдаване на

SUMMARY

This study aims at investigating the effect of application of drip irrigation at different irrigation rates on the yield of greenhouse tomatoes and the water use efficiency. In 2017 an experiment is conducted by the method with long plots on drip irrigated tomato (*Solanum lycopersicum 'Big Beef'*) grown in unheated plastic greenhouse under mulch in Haplic chromic luvi soil in the Chelopechene experimental field of the Institute of soil science, agrotechnologies and plant protection in town of Sofia. Four different rates of drip irrigation have been served as treatment: T1 – optimal irrigation in pre-irrigation soil moisture 85-90% of the field capacity, T2 – irrigation with 60% of optimal irrigation rate, T3 – irrigation with 80% of optimal irrigation rate, T4 – irrigation with 100% pan evaporation-based irrigation rate. Irrigation time is determined by soil moisture monitoring taking soil samples in почвената влажност чрез вземане на почвени проби в 3 повторения. За периода на вегетацията е определена 10-дневната сумарна и сезонната евапотранспирация. Определен е добивът и ефективността на използване на водата за напояване по варианти. Най-висок добив е получен при вариант T1 – 79.59 t/ha. Близък до него добивът при вариант T4 – 71.05 t/ha. Резултатите също показват, че ефективността на използване на водата при капково напояване на домати се влияе от намаляването на поливната норма. Най-висока е тя при варианта T2 с най-ниската поливна норма – 25 kg/m^3. Въз основа на експерименталните резултати е определена оптимална напоителна норма 488 mm и ефективност на използването на водата при оптимално напояване – 24.5 kg/m^3.

Ключови думи: домати, оранжерия, капково напояване, евапотранспирация, добив, ефективност на използване на водата

3 replicates. For the vegetation period, 10-day summary and seasonal evapotranspiration are determined. The yield and water use efficiency are determined per treatments. The highest yield is obtained in treatment T1 – 79.59 t/ha. The yield in treatment T4 is close – 71.05 t/ha.

The results also show that the water use efficiency of drip-irrigated tomato is influenced by reducing the amount of water applied. It is highest in T2 treatment with the lowest irrigation rate – 25 kg/m^3. Based on the experimental results an optimal irrigation rate of 488 mm and a water productivity of optimal irrigation of tomato is determined – 24.5 kg/m^3.

Key words: tomato, greenhouse, drip irrigation, evapotranspiration, yield, water use efficiency

УВОД

В последните години се наблюдава тенденция за увеличаване на площите с оранжерийно отглеждани зеленчуци както в световен мащаб (O'Connor and Mehta, 2016), така и в България (MAFF, 2017). Благодарение на високата интензивност на производство, оранжерийното производство осигурява 15-17% от общо произведените зеленчуци в страната, като делът на оранжерийно отгледаните домати е почти 50% от общото производство на зеленчуковата култура. Отглеждане на домати в неотопляеми оранжерии, покрити с полиетиленово фолио се прилага все повече вместо ранното полско производство.

Доматите са влаголюбиви растения и напояването е фактор, който повлиява съществено добива. При оранжерийното отглеждане за доставянето на необходимата вода за напояване се разчита единствено на напоителната система, поради което въпросите, свързани с ефективното й използване са от особено значение. То може да се постигне с прилагане на водоспестяващи методи за

INTRODUCTION

In recent years there has been a tendency to increase the area of greenhouse-grown vegetables both globally (O'Connor and Mehta, 2016) and in Bulgaria (MAFF, 2017). As a result of the high intensity, greenhouse production provides 15-17% of the total vegetable production in the country, with the proportion of greenhouse tomato accounting for almost 50% of the total vegetable crop production. Cultivation of tomato in unheated plastic greenhouses is increasingly being applied instead of early field production.

Tomato is a high water demanding crop and irrigation is a factor significantly influenced the yield. In greenhouse cultivation only the irrigation system is relied on to supply the needed water for irrigation, so the issues related to effective water use are of particular importance.

It can be achieved by applying water-saving irrigation methods and irrigation напояване и планиране на напояването. Предпочитан метод е капковото напояване, което позволява водата да се подава директно до кореновата система и да се полива при по-ниски поливни норми. Друг начин, който може да допринесе за пестенето на вода, е дефицитното напояване (Kirda et al., 2004). Прилагането на стратегии за дефицитно напояване на домати може значително да допринесе за спестяване на вода за напояване (Zegbe-Domínguez et al., 2003).

Целта на това изследване е да се проучи влиянието на прилагане на капково напояване с различни поливни норми върху добива от оранжерийни домати и ефективността на използване на водата за напояване.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

През 2017 г. на територията на опитното поле „Челопечене“ на ИПАЗР „Н.Пушкаров“ е проведен опит с домати, отглеждани в оранжерия. Опитното поле е част от Софийското поле, разположено на 550 m надморска височина. Климатът е континентален със студена зима. Почвата на опитния участък е канелена горска, излужена и може да бъде определена като средно до силно водопропусклива със средна филтрационна способност. Оранжерията е неотопляема полиетиленова с размери 7.9 x 53 m и обща площ 420 m^2.

Температурата и относителна влажност в оранжерията се измерват с термометър-хигрометър TFA 45.2000 ежедневно в 8, 13 и 16 часа. Изпарението се измерва също ежедневно в 8 сутринта със стандартен изпарител клас А, поставен в средата на оранжерията.

Обект на изследването са домати (*Solanum lycopersicum “Big Beef”*). Този сорт е високопродуктивен и устойчив на болести.

Проведен е еднофакторен експеримент с фактор на опита – напояване. Изпитват се следните варианти:

T1 – Напояване с 100% поливна норма с поддържане на предполивна

planning. Drip irrigation is a preferred method, which allows the water to be applied directly to the root system and to be irrigated at lower irrigation rates. Another way to save water is so-called deficit irrigation (Kirda et al., 2004). The application of deficit irrigation strategies to tomato may greatly contribute to save irrigation water (Zegbe-Domìnguez et al., 2003).

This study aims at investigating the effect of application of drip irrigation at different irrigation rates on the yield of greenhouse tomatoes and the irrigation water use efficiency.

MATERIAL AND METHODS

In 2017 an experiment is conducted on greenhouse tomato in the Chelopechene experimental field of the Institute of soil science, Agrotechnologies and Plant protection in town of Sofia. Experimental field is a part of the Sofia Field, located at 550 m above sea level. The climate is continental characterized by cold winter. The type of the soil of the experimental site is Chromic Luvisol and can be defined as moderate to strong water-permeable with an average filtration capacity. The greenhouse is unheated plastic with dimensions of 7.9 x 53 m and a total area of 420 m^2.

The temperature and relative humidity in the greenhouse are measured with a thermometer-hygrometer TFA 45.2000 daily at 8, 13 and 16 hours. Evaporation is also measured daily at 8 am using standard pan class A placed in the middle of the greenhouse.

The subject of the study is tomato (*Solanum lycopersicum “Big Beef”*). This variety is highly productive and resistant to diseases.

An one-factor experiment is conducted with an experimental factor – irrigation. The following treatments are tested:

T1 – Optimal irrigation in pre-irrigation soil moisture 85-90% of the field влажност 90% ППВ – максимално (оптимално) напояване;

T2 – Напояване с 60%от оптималната поливна норма;

T3 – Напояване с 80% от оптималната поливна норма;

T4 – Напояване с 100% поливна норма, определена по изпарител клас A.

Схемата на опита е по метода с дълги парцелки в 4 повторения. Големината на опитната парцелка е 18 m^2 и се състои от два реда домати.

Времето на поливките е определяно чрез наблюдаване на почвената влажност за активния почвен слой до 40 cm дълбочина за варианти T1 и T4. Почвените проби са вземани през 10 cm до дълбочина 40 cm в три повторения и се обработвани по тегловно-термостатен метод. Поливки са провеждани при понижаване на почвената влажност под оптималната, която за конкретния експеримент е приета 90% ППВ.

Определяне на поливната норма се извършва по формулата (Dzhuninski, 1980):

capacity (FC) – maximum (optimal) irrigation;

T2 – Irrigation with 60% of optimal irrigation rate;

T3 – Irrigation with 80% of optimal irrigation rate;

T4 – Irrigation with 100% evapotranspiration-based irrigation rate.

Experimental treatments are arranged according to the method with long plots in 4 replications. Each plot has a surface of 18 m^2 and consisted of twin rows.

The irrigation time is determined by monitoring the soil moisture dynamics for the active soil layer to the depth 40 cm for treatment T1. The soil samples are taken in triplicates at 10 cm increments and are processed by a weight-thermostatic method. Water applications are performed in case of lowering the soil moisture below the optimum, which for the present experiment is accepted 90% FC.

The irrigation application rate is calculated using the formula (Dzhuninski, 1980):

$$m = 10H\alpha(\beta_{ппв} - \beta_{дгов})k$$

където: m е поливната норма (mm), H е дълбочината на активния почвен слой (m), α е обемната плътност на почвата (g/cm^3), $\beta_{ППВ}$ е пределната полска влагоемност на почвата (тегловни %), $\beta_{дгов}$ е долната граница на оптималната влагообезпеченост (тегловни %) и k е коефициент, отразяващ съотношението между намокрената площ от системата за капково напояване и засадената площ на оранжерията В случая той е приет, равен на 0.67.

Количеството вода за напояване, определено въз основа на измереното изпарение от изпарител клас A, се изчислява по уравнението (Doorenbos and Pruitt, 1977):

where: m is irrigation rate (mm), H is the root zone depth (m), α is bulk density of the soil (g/cm^3); β_{FC} is the gravimetric field capacity (%), β_C is the current gravimetric soil moisture (%) and k is a factor, representing the ratio between the area wetted from the drip irrigation system and the planted area of the greenhouse. In this case it is assumed equal to 0.67.

Irrigation water amount to be applied based on the evaporation data of a pan class A is calculated using the equation (Doorenbos and Pruitt, 1977):

$$I_r = k_c\, k_{pan}\, E_{pan}$$

където: Ir е количеството вода за напояване (mm), E_{pan} е изпарението (mm), k_{pan} е коефициент на изпарителя и k_c е биофизичен коефициент на културата.

Коефициентът на изпарителя се изчислява по формулата (Allen et al., 1998):

where: I_r is irrigation water amount (mm), E_{pan} is evaporation (mm), k_{pan} is pan coefficient and k_c is crop coefficient.

Pan coefficient is calculated using the formula (Allen et al., 1998):

$$K_{pan}=0.61 + 0.00341RH - 0.000162u_2RH - 0.00000959u_2F + 0.00327u_2 \ln(F) - 0.00289u_2 \ln(86.4u_2) - 0.0106 \ln(86.4u_2) \ln(F) + 0.00063 \ln(86.4u^2) (\ln(F))^2$$

където: RH е относителна влажност на въздуха (%), F е дължина на буферната зона (m), u_2 е скорост на вятъра на 2 m височина, m/s.

Стойностите на биофизичния коефициент за различните фенофази на развитие на доматите са определени по литературни данни.

Поливките се осъществяват със система за капково напояване, състояща се от команден възел и две батерии с по две поливни крила на леха, разположени до двата реда домати. Поливните крила са с вградени през 60 cm капкообразуватели с дебит 1.5 l/h. Обемът на подаваната поливна вода към батериите се контролира с водомери, монтирани на главните тръбопроводи. За допълнително намаляване на загубите на вода се прилага мулчиране. Използвано е черно полиетиленово мулчиращо фолио +UV 15 mic/1.20 m.

Евапотранспирацията на доматите за всеки ден от вегетационния период се определя по формулата:

where: RH is relative humidity (%), F is the buffer zone (m), u_2 is wind speed at 2 m height, m/s.

The values of the crop coefficient for the various phenoses of the tomato development are selected according to literary data.

Irrigation is performed with a drip irrigation system, comprising a command unit and two batteries with two watering wings of next to the two rows of tomato.

The watering wings are simple 1.5 l/h dripper lines with a 60 cm emitters spacing. The volume of water supplied to the batteries is controlled by water meters mounted on the main pipelines.

To further reducing water losses, mulching is applied. Black polyethylene mulch (+ UV 15 mic/1.20 m) is used.

Evapotranspiration of tomato for each day of the vegetation period is determined by the formula:

$$ET= k_c E_{0pan},$$

където: ET е евапотранспирация (mm/day), ET_{opan} е еталонната евапотранспирация, определя по метода с изпарител (mm/day).

Ежедневните стойности на еталоннатата евапотранспирация се изчисляват чрез умножаване на измереното изпарение с коефициента на изпарителя (Allen et al., 1998):

where: ET is evapotranspiration (mm/day); ET_{opan} is the reference evapotranspiration, which is determined by the pan evaporation method (mm/day).

Daily reference evapotranspiration ET_{opan} is calculated by multiplying the measured evaporation by the pan coefficient (Allen et al., 1998):

$$ET_{0pan}=k_{pan} E_{pan}$$

Относителният добив се изчислява по формулата:

The relative yield is calculated by the formula:

$$y = Y*100/Y_{max}$$

където: y е относителен добив (%); Y е добив (кg/ha), Y_{max} е максималния добив при оптимално навлажняване на почвата.

where: y is a relative yield (%), Y is yield (kg/ha), Y_{max} is the maximum yield at optimal wetting of the soil.

Ефективността на използване на водата за напояване се определя като (Sinclair et al., 1984):

The irrigation water use efficiency is defined as (Sinclair et al., 1984):

$$IWUE=Y/W$$

където: IWUE е ефективност на използване на водата за напояване (kg/m$^{3)}$, W е консумиран обем вода за напояване (m^3/ha).

where: IWUE e irrigation water use efficiency (kg/m$^{3)}$, W is consumed water volume for irrigation (m^3/ha).

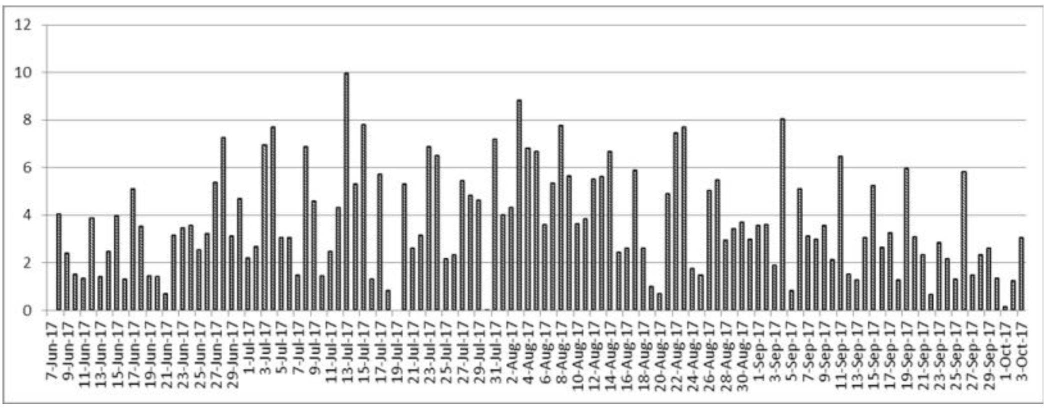
РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

На базата на събраните ежедневни данни за микроклимата в оранжерията и за изпарението в периода на вегетация е определена еталонната евапотранспирация и ежедневната евапотранспирация на доматите (Фигура 1). От тази фигура се вижда, че ежедневните стойности на ET флуктуират от 0.67 mm до 10 mm до началото на плодоотдаването (17.07.2017 г.). През периода на плодоотдаване евапотранспирацията на доматите нараства, като след беритба тя спада. Най-високи стойности на евапотранспирацията се наблюдават в началото на август, след което тя намалява до края на вегетационния период. Средната стойност на евапотранспирацията на доматите е 3.7 mm/day. На Фигура 2 е показана десетдневната сумарна евапотранспирация. Сезонната евапотранспирация е 437 mm.

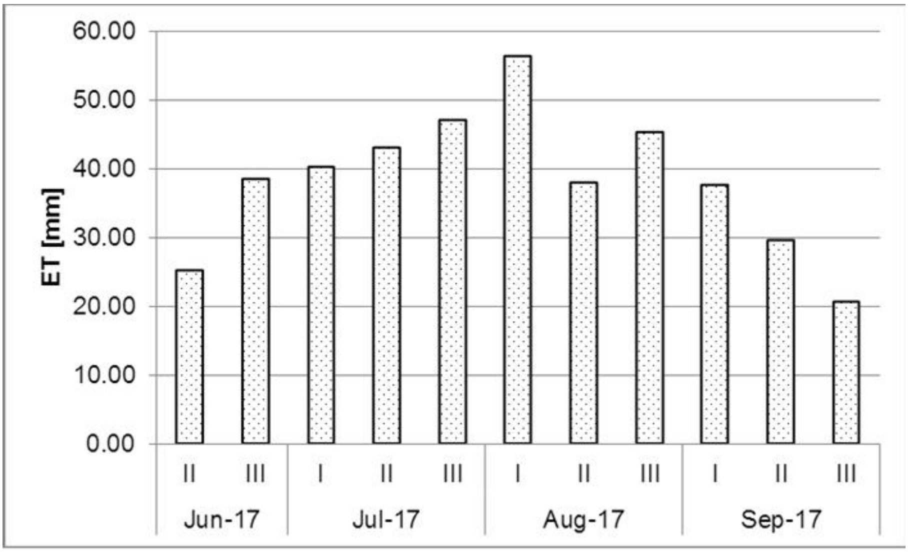
RESULTS AND DISCUSSION

Based on collected daily data on the greenhouse microclimate and evaporation over the vegetation period the reference pan evapotranspiration and daily evapotranspiration of tomato are determined (Figure 1). From this figure it can be seen that the daily values of ET fluctuate from 0.67 mm to 10 mm to the beginning of the fruit stage (17.07.2017). During the fruit stage, the evapotranspiration of tomato is increasing and after harvesting, it decreases.

The highest rates of evapotranspiration occur in early August, after which it decreased until the end of the growing season. The mean value of tomato evapotranspiration is 3.7 mm/day. Figure 2 shows the ten-day summary evapotranspiration. The seasonal evapotranspiration is 437 mm.



Фиг. 1. Ежедневна евапотранспирация в mm
Fig. 1. Daily evapotranspiration in mm



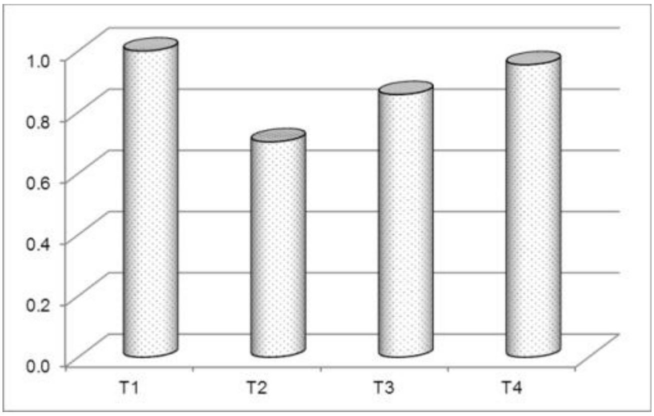
Фиг. 2. Десетдневна сумарна евапотранспирация
Fig. 2. Ten-day summary evapotranspiration

Заложените четири варианта са напоявани с различен процент от оптималната поливна норма. Проведени са двадесет и шест поливки с честота 3-7 дена, в зависимост от стадия на развитие на доматите. Експериментални резултати за добива и ефективността на използване на водата за напояване от домати, показващи влиянието на напояването с различни поливни норми, са дадени в Таблица 1. Относителната напоителна норма и относителният добив по варианти са показани на Фигура 3 и Фигура 4. Нарастването на водните обеми, подавани за напояване като цяло резултира в получаването на по-висок добив от домати. Най-висок е той при оптималния вариант Т1 и варианта Т4, при който поливната норма се определя по евапотранспирацията. Добивът, получен при вариант Т1 е 79.59 t/ha, а при вариант Т4 – 71.05 t/ha, който е с 11 % по-нисък от оптималния. Прилагането на поливната норма, намалена с 20% и 40 % спрямо оптималната, води до намаляването на добива. Получените добиви за вариантите Т3 и Т2 са по-ниски от оптималния съответно с 15 % и 18%. Тези резултати показват, че доматите използват по-добре по-малките водни количества, подавани за напояване.

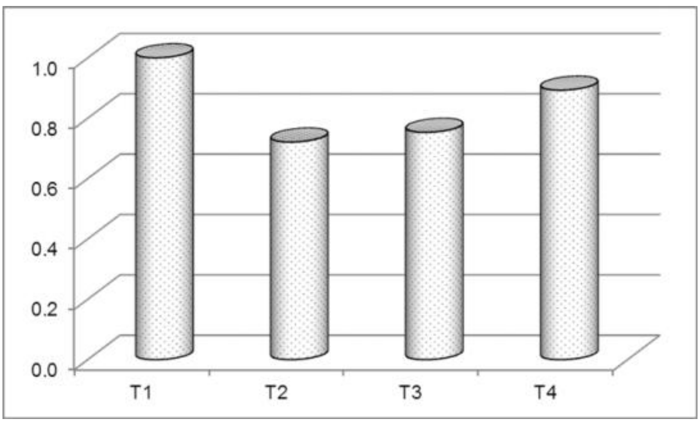
The four treatments were irrigated with different percentages of optimal irrigation rate. Twenty-six irrigations were carrying out at a frequency of 3-7 depending on the stage of tomato development. Experimental results for the yield and irrigation water use efficiency of tomatoes showing the influence of irrigation with different irrigation rates are given in Table 1. Relative irrigation rate and the relative yield per treatment are graphically represented in Figure 3 and Figure 4. The increase of the water volume for irrigation generally results in obtaining a higher yield of tomatoes. It is the highest in the optimal treatment T1 and treatment T4, in which the irrigation rate is determined by evapotranspiration. The yield obtained in variant T1 is 79.59 t/ha and in variant T4 – 71.05 t/ha, which is 11% lower than the optimum. The application of the irrigation rate, reduced by 20% and 40% compared to the optimal, leads to a reduction in yield. The yields obtained in the treatments T3 and T2 are lower than the optimal by 15% and 18%, respectively. The results show that tomatoes use better the smaller water quantities supplied for irrigation.

Таблица 1. Добив и ефективност на водата за напояване на домати в зависимост от нивото на напояване
Table 1. Total yield and irrigation water use efficiency (IWUE) of tomato as affected by irrigation level

Вариант Treatment	Добив Yield	Консумирано водно количество Consumed water volume	Ефективност на използване на водата за напояване IWUE
	t ha^{-1}	m^3 ha^{-1}	kg m^{-3}
T1	79.59	3252.40	24.47
T2	57.38	2287.12	25.09
T3	59.93	2789.90	21.48
T4	71.05	3106.56	22.87



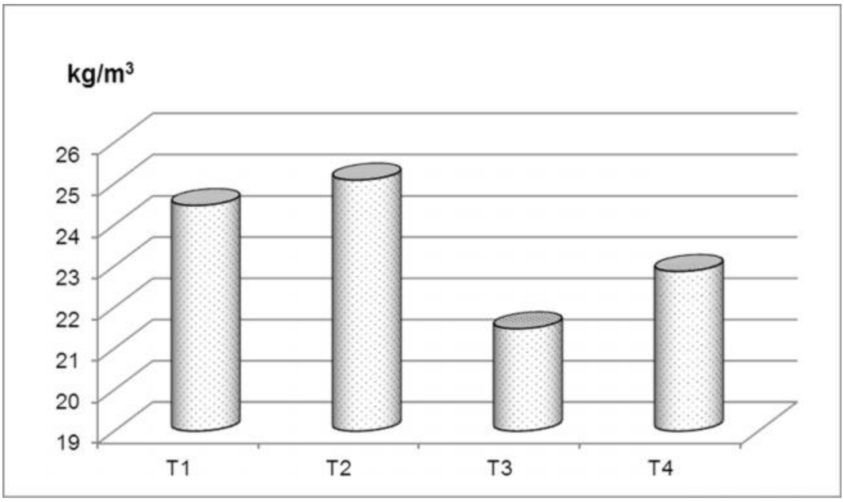
Фиг. 3. Относителна напоителна норма по варианти
Fig. 3. Relative irrigation rate per treatment



Фиг. 4. Относителен добив по варианти
Fig. 4. Relative yield per treatment

На базата на получените резултати за добива и консумирания обем вода за напояване е определена и ефективността на използване на водата за напояване по варианти (Фигура 5). Най-висока е тя при вариант Т2, при който се подава най-ниска поливна норма – 25 kg/m^3. Този резултат се получава в следствие на това, че намалението на добива на домати е в по-ниска степен от намалението на количеството на вода, подавана за напояване им. В случая при намаление на поливната норма с 40 %, добивът намалява с 18 % спрямо оптималния.

Based on the results obtained for the yield and the consumed water volume for irrigation, the irrigation water use efficiency per treatment was determined (Figure 5). It is the highest in treatment T2, where the lowest irrigation rate is applied – 25 kg/m^3. This result is obtained due to the fact that the decrease in the yield of tomatoes is in a lower degree of reduction of the amount of water supplied for irrigation. In this case, with a reduction of the irrigation rate by 40%, the yield was decreased by 18% compared to the optimal.



Фиг. 5. Ефективност на използване на водата за напояване по варианти
Fig. 5. Irrigation water use efficiency per treatment

ИЗВОДИ

Резултатите от проведения експеримент показват, че количеството на водата, подадена за напояване влияе значи-телно на добива от домати, отглеждани в оранжерия. Най-подходящ за доброто развитие на растенията и за получаване на висок добив е оптималният поливния режим с100% поливна норма (вариант Т1), при който се поддържа висока почвена влажност над 85% от ППВ. Близък до него по резултати е този, осъществен при вариант Т4, при който поливната норма се определя по данни за евапотранспирацията, определена чрез изпарител.

CONCLUSIONS

The experimental results have shown that the amount of water supplied for irrigation significantly influence the yield of tomato cultivated in a greenhouse.

The optimal irrigation with a 100% irrigation rate (treatment T1) is best for good plant development and obtaining high yield.

Close to it in performance is the treatment T4, in which the irrigation rate is determined according to the pan evapotranspiration.

Експерименталните резултати показват също, че ефективността на използване на водата при капково напояване на оранжерииийни домати се влияе от размера на поливната норма. Получената най-висока ефективност на използване на водата при варианта Т2 с най-ниската поливна норма показва, че дефицитното напояване може да бъде прилагано за пестене на вода. Този резултат потвърждава известния от предишни изследвания на други автори положителен ефект на дефицитното напояване върху ефективността на използване на вода за напояване на доматите (Chen et al., 2013).

Въз основа на експерименталните резултати за отглеждането на домати в полиетиленова оранжерия при капково напояване е определена оптимална напоителна норма 488 mm при ефективност на използването на водата за напояване – 24.5 kg/m^3.

Experimental results have also shown that the water use efficiency in drip irrigation of greenhouse tomato was influenced by the size of the irrigation rate. The highest water use efficiency obtained in the treatment T2 with the lowest irrigation rate shows that deficit irrigation is applicable for water saving.

The result is in agreement with previous studies of other researchers claimed positive effect of deficit irrigation on irrigation water use efficiency (Chen et al., 2013).

Based on the experimental results for drip irrigated tomato cultivated in the plastic greenhouse, an optimum irrigation rate of 488 mm is determined with a water use efficiency of 24.5 kg/m^3.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящата разработка се основава на изследвания, финансирани от Фонд "Научни изследвания" на Министерството на образованието и науката по двустранно сътрудничество между България и Китай, на тема: „Напояване, базирано на евапотранспирацията, за устойчиво земеделие: Оценка на потребностите от вода за напояване на оранжерийно отглеждани земеделски култури“.

ACKNOWLEDGEMENTS

The present work is based on researches that are funded from the Bulgarian National Science Fund of the Ministry of Education and Science under a bilateral cooperation project between Bulgaria and China, on topic: Evapotranspiration-Based Irrigation for Sustainable Agriculture: Estimation of Irrigation Water Requirements of Greenhouse Plants.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. **Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith**, 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome.
2. **Chen, J., S. Kang, T. Du, R. Qiu, P. Guo and R. Chen**, 2013. Quantitative response of greenhouse tomato yield and quality to water deficit at different growth stages. *Agricultural Water Management*, 129, 152-162.
3. **Doorenbos, A. J. and W.O. Pruitt**, 1977. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 24. FAO, Rome.
4. **Dzhuninski, B.**, 1980. Irrigation Systems. Tehnika, Sofia (Bg).
5. **Kirda, C., M Cetin., Y. Dasgan, S. Topcu, H. Kaman, B. Ekici, M. R. Derici and A. I. Ozguven**, 2004. Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 69, 191-201.

6. MAFF, 2017. Annual report on the situation and development of agriculture (Bg).
7. **O'Connor, N. and K. Mehta**, 2016. Modes of greenhouse water savings. *Procedia Engineering* 159, 259-266.
8. **Sinclair T., R., C. B. Tanner and J. M. Bennett**, 1984. Water-Use Efficiency in Crop Production. *BioScience,* 34(1), 36-40.
9. **Zegbe-Domìnguez, J.A., Behboudian M.H., Lang A. and B.E Clothier**, 2003. Deficit irrigation and partial rootzone drying maintain dry mass and enhance fruit quality in 'Petopride' processing tomato (Licopersicum esculentum, Mill). *Sci. Hortic*, 98 (4), 505-510.

Journal of Mountain Agriculture on the Balkans, 2018, 21 (1), 317-325 ISSN 1311-0489 (Print)
Research Institute of Mountain Stockbreeding and Agriculture, Troyan ISSN 2367-8364 (Online)

Изменение на почвената реакция при фертигация на зеленчукови култури при алувиална почва

Веселин Кутев[1]*, Наталия Колева[1], Милен Венелинов[1], Нанси Иванова[1], Марина Стоянова[2], Евлоги Марков[2]

[1]*Лесотехнически университет, 1797 София, България*
[2]*Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Н. Пушкаров“, 1331 София, България*

Change in the soil reaction at fertigation of vegetable crops on Alluvial soil

Vesselin Koutev[1]*, Natalia Koleva[1], Milen Venelinov[1], Nancy Ivanova[1], Marina Stoyanova[2], Evlogi Markov[2]

[1]*University of Forestry, 1797 Sofia, Bulgaria*
[2]*Institute of Soil Science, Agrotechnologies and Plant Protection "N. Pushkarov", 1331 Sofia, Bulgaria*

**E-mail: koutev@yahoo.com*

Received: 20.04.2018 *Accepted:* 25.04.2018 *Published:* 20.08.2018

РЕЗЮМЕ

Една от съществените причини за намаляване на ефективното плодородие на някои обработваеми площи у нас е вкисляването им до степен, вредна за растенията. Първостепенна причина, с най-значимо влияние, за вкисляване на обработваемите почви е системната употреба на минерални торове. При зеленчуковите култури, напояването и високите добиви изискват големи количества торове, което води до вкисляване.

Изследванията са проведени на Алувиална почва със среден механичен състав със зеле и тиквички. Торовете са внесени с капковото напояване на три фона: Контрол, Оборски тор и Компост. Органичните торове са внесени еднократно съответно: Оборски тор 4.4 t/da и Компост 2.1 t/da. Тези количества са изравнени по азота и съответстват на 34 kg азот на декар. По нитратната

SUMMARY

One of the major reasons for reducing the effective fertility of some arable land in Bulgaria is soil acidification to a level harmful to plants. A primary cause, with the most significant involvement in the acidification of arable soils, is the systemic use of fertilizers. For vegetable crops growing, irrigation and high yields require large amounts of fertilizers, which provokes acidification.

Studies were carried out on medium textured Alluvial soil with cabbage and zucchini. The fertilizers were applied with the drip irrigation of the following backgrounds: Control, Manure and Compost. Organic fertilizers were applied once: Manure 44 t ha and Compost 21 t/ha. These quantities are leveled on nitrogen and correspond to 340 kg of nitrogen per hectare. Under the EU

директива на ЕС, това е разрешеното количество за две години. По време на вегетацията на зелето и тиквичките са внесени по 20 kg азот под формата на амониева селитра.

Изменението на почвената реакция при торенето с органични торове и при фертигация показва, че фертигацията предизвиква слабо вкисляване. Това се дължи на преноса на лесно разтворими нитрати по почвения профил. Вариантът с оборски тор придава на почвата по-голяма буферност и при него вкисляването не е толкова забележимо, както при контролния вариант и компоста. При нашите изследвания не се получи силно изменение на почвената реакция. Въпреки това на места тя премина границата от pH=5.5. При по-лека почва и при по-интензивно торене почвената реакция ще слезе под тази граница, а това означава намаляване подвижността на фосфора.

Цел: Да се проследи изменението на почвената реакция при фертигация на фон органично торене

Ключови думи: фертигация, оборски тор, компост, тиквички, зеле, вкисляване на почвата

nitrate directive, this is the authorized quantity for two years. During the vegetation of cabbage and courgettes 200 kg of nitrogen per hectare in the form of ammonium nitrate was applied.

The change in soil response in fertilization with organic fertilizers at fertigation indicates that fertigation causes poor acidification. Which is due to the transfer of easily soluble nitrates to the soil profile. The manure treatment makes soil more buffering, and acidification is not as noticeable as the control treatment and the compost which is imported at a double lower dose as organic. In our studies there was no strong change in the soil reaction. However, in some places it passed the limit of pH=5.5. With lighter soil and more intense fertilization, the soil reaction will go below this limit, and this means reducing the mobility of the phosphorus.

Aim: To study the change of soil response in the fertilization of organic fertilizer background

Key words: fertigation, manure, compost, courgettes, cabbage, soil acidification

УВОД

Една от съществените причини за намаляване на ефективното плодородие на някои обработваеми площи у нас е вкисляването им до степен, вредна за растенията. Първостепенна причина, за вкисляване на обработваемите почви е системната употреба на вкисляващи почвата минерални торове. Многобройни изследвания, проведени в страната показват, че най-силно се вкисляват почвите след употребата на високи дози азотни минерални торове съдържащи N в амониева форма (Gorbanov, 2005). Небалансираното торене с такива торове осигурява условия за продължителен контакт с твърдата фаза на почвата на силни минерални киселини. Това води до директно отрицателно влияние върху растенията и протичане на деградациони процеси в киселинния комплекс. При зеленчуковите култури, напояването и високите добиви изискват големи коли-

INTRODUCTION

One of the major reasons for reducing the effective fertility of some arable land in Bulgaria is acidification to an extent harmful to plants. A primary cause, with the most significant involvement in the acidification of arable soils, is the systemic use of soil-acidifying fertilizers. Numerous studies carried out in the country show that soils get most acidic after the application of high doses of nitrogen fertilizers containing N in ammonia form (Gorbanov, 2005). Unbalanced fertilization with such fertilizers provides conditions for prolonged contact with the solid phase of the soil with strong mineral acids. This leads to a direct negative influence on the plants and the degradation processes in the acid complex. During vegetable crops growing with irrigation and obtained high yields require large amounts of fertilizers чества торове (Shaban et al., 2014).

Обезпокоителен е фактът, че процеси на вредно вкисляване се развиват не само в слабобуферни, генетично кисели почви, но и в почви със слабо кисела и неутрална реакция (Borisov, Markov, 2006). Познаването на формите и природата на почвената киселинност ни дава възможност да използваме най-рационално минералните торове, в т. ч. и калциевите, без да се влошават свойствата на почвата (Gorbanov et al., 2005).

Изменението на почвената реакция влияе върху усвоимостта на хранителните елементи от растенията. Интензивното внасяне на един хранителен елемент изменя почвената реакция и може да блокира усвояването на друг или да подобри храненето на растенията.

Feigin et al. (1982) показват в свои изследвания, че фертигацията (съвместното поливане и внасяне на разтворени в поливната вода торове) е най-ефективния метод на внасяне на торове в почвата. Капковото напояване печели всеки ден нови привърженици, като ефективен метод на фертигация, защото може да се контролира времето и количеството на използваните торове. По този начин да се постигне най-пълното задоволяване на земеделските култури с вода и хранителни елементи на всеки етап от тяхното развитие (Bar-Yosef, Sheikhoslami, 1976; Bar-Yosef, 1977; Papadopoulos, 1985; 1988; Mmolawa and Or, 2000).

Интензивното използване на торове при фертигацията на зеленчуци обаче, може да доведе да вкисляване на почвите.

Цел: Да се проследи изменението на почвената реакция при фертигация на фон органично торене

(Shaban et al., 2014).

Disturbing is the fact that processes of harmful acidification are developing not only in low buffer, genetically acidic soils but also in soils with a weak acidic and neutral reaction (Borisov, Markov, 2006). Knowledge of the forms and the nature of soil acidity allows us to use the most rational mineral fertilizers, including calcium, without worsening soil properties (Gorbanov et al., 2005).

The change in the soil reaction affects the availability of the nutrients for the plants. The intense application of a nutrient modifies the soil response and can block the absorption of another or improve the nutrition of the plants.

Feigin et al. (1982) have shown in their research that fertigation (co-irrigation and use of fertilizer dissolved in irrigation water) is the most effective method of applying fertilizers into the soil. Drip irrigation benefits new enthusiasts every day as an effective fertilization method because it can control the time and amount of fertilizer used. In this way to achieve the fullest satisfaction of agricultural crops with water and nutrients at each stage of their development (Bar-Yosef, Sheikhoslami, 1976; Bar-Yosef, 1977; Papadopoulos, 1985; 1988; Mmolawa and Or, 2000).

However, the intensive use of fertilizers in fertigation of vegetables can lead to acidification of soils.

Aim: To track the change of soil reaction in the fertilization of organic fertilizer background

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

Изследванията са проведени на алувиална почва (Почвен архив на ИПАЗР „Н.Пушкаров“). По механичен състав почвата е леко песъчливо-глинеста, преобладаваща фракция е дребният пясък – 23.3%. Значително участие има фракцията на едрия чакъл –

MATERIAL AND METHODS

Investigations were carried out on Alluvial soil (Soil Record Archives of ISSAPP N. Poushkarov). The texture of the soil is slightly sandy-clayey, the predominant fraction is the small sand – 23.3%. Significant participation is the fraction of the gravel – 37.2%. It contains

37.2%. Съдържа голям процент едрочастични материали. По съдържание на хумус почвата е слабохумусна. По отношение на запасеност с общ азот е много слабо запасена. Почвата е слабо кисела и слабо запасена с фосфор и калий.

Изведен е полски торов опит с опитна култура зеле за първата година на изследванията и тиквички през втората. Основните парцелки са по 60 m^2 и са със следните фонови варианти: Контрол, Оборски тор и Компост

Всяка от парцелките е с капково напояване. Върху 30 m^2 от всяка е внасяна амониева селитра с помощта на капковото напояване – фертигация.

Органичните торове са внесени еднократно съответно: Оборски тор 4.4 $t.da^{-1}$ и 265 kg за 60 m^2 и Компост 2.1 $t.da^{-1}$ и 123 kg за 60 m^2. Тези количества са изравнени по азота и съответстват на 34 kg азот на декар. По Нитратната директива на ЕС, това е разрешеното количество за две години (Таблица 1). По време на вегетацията на зелето и тиквичките са внесени по 20 kg азот под формата на амониева селитра. Почвената реакция е определена в извлеци на вода и калиев хлорид.

a large percentage of large particles. Soil humus content is poor. In terms of total nitrogen supply, it is very poorly present. The soil is slightly acidic and with poor phosphorus and potassium reserves.

Field fertilizer experiments with cabbage were carried out for the first year of research and courgettes in the second. The main parcels are 60 m^2 and have the following background options: Control, Manure and Compost.

Each of the parcels is irrigated with drip irrigation. On 30 m^2 of each ammonium nitrate is applied by means of drip irrigation – fertigation.

Organic fertilizers were applied once, respectively: Manure 44 $t.ha^{-1}$ and 265 kg for 60 m2 and Compost 21 $t.ha^{-1}$ and 123 kg for 60 m^2. These quantities are equalized to nitrogen and correspond to 340 kg of nitrogen per hectare. Under the EU Nitrate Directive, this is the authorized quantity for two years (Table 1). During the vegetation of cabbage and courgettes, 200 $kg.ha^{-1}$ of nitrogen were applied in the form of ammonium nitrate. The soil reaction is determined in the extracts of water and potassium chloride.

Таблица 1. Съдържание на общ N, P и K в органичните торове без сушене
Table 1. Content of total N, P, K in organic fertilisers (not dried)

Вариант / Treatment	N, %	P, %	K, %
Оборски тор / Manure	0,77	0,29	0,85
Компост / Compost	1,65	0,14	2,88

Метод за определяне на pH на почви във воден извлек и извлек на 1M KCl - NF ISO 10390 (1994)

Method for determination of pH of soils in water extraction and extraction of 1M KCl - NF ISO 10390 (1994)

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Опитът със зеле е заложен съобразно получени резултати у нас (Dinev and Mitova, 2012, Mitova and Dinev, 2012) Изменението на почвената реакция при торенето с органични торове и при фертигация показва, че фертигацията предизвиква слабо вкисляване. Това се дължи на преноса на лесно разтворими

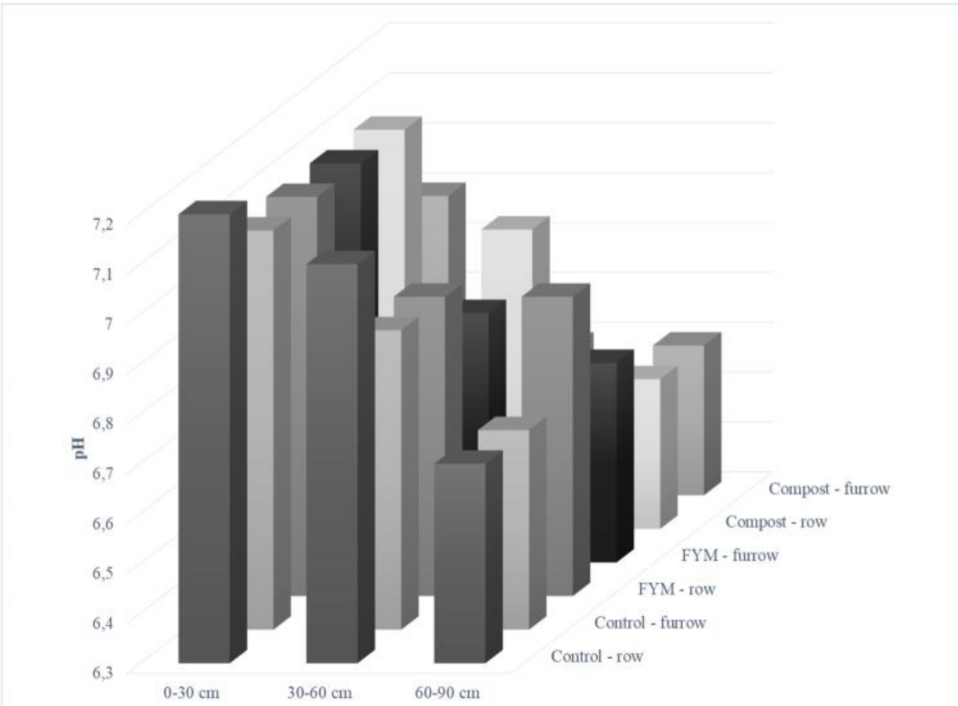
RESULTS AND DISCUSSION

The trial with cabbage is carried out on results obtained in our country (Dinev and Mitova, 2012, Mitova and Dinev, 2012). The change in the soil reaction in organic fertilizers fertilization and in fertigation shows that fertigation produces poor acidification. This is due to the transfer of easily soluble nitrates down нитрати по почвения профил (Koutev et al., 2017). Вариантът с оборски тор придава на почвата по-голяма буферност и при него вкисляването не е толкова забележимо, както при контролния вариант и компоста. Компостът е внесен в двойно по-ниска доза като органика и буферната му способност не се проявява.

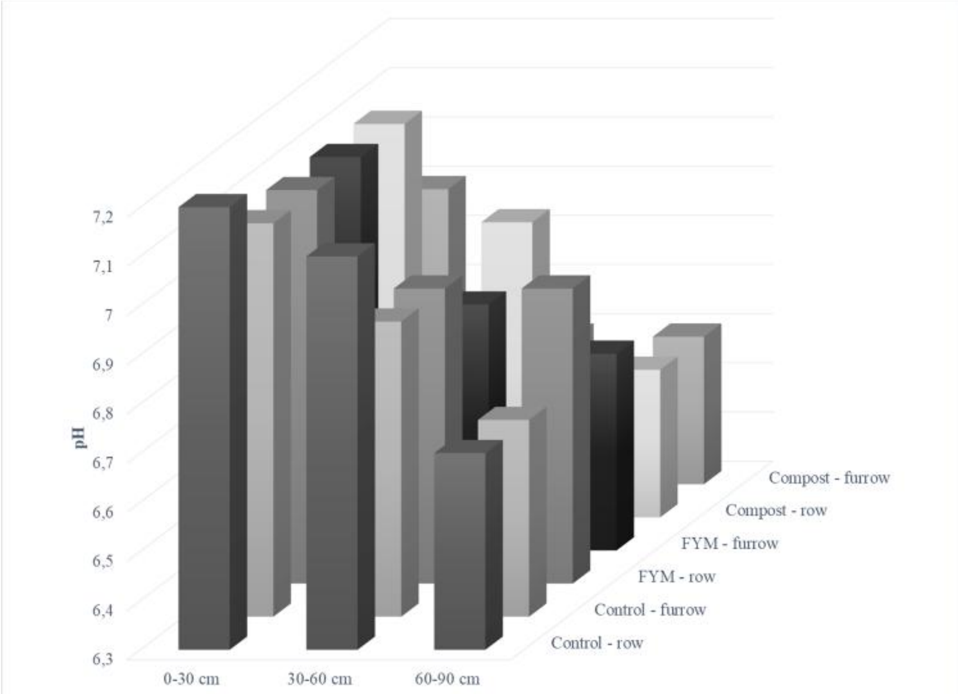
Наблюдава се вкисляване в междуредието, в страни от основния воден поток под капковата система (Koutev et al., 2017). Там е мястото, където се акумулира повечето тор. Почвената реакция намалява по почвения профил с натрупването на измити нитрати в долните слоеве (Фигура 1 и 2).

soil profile (Koutev et al., 2017). The manure treatment get soil more buffering, and acidification is not as noticeable as in control and compost. The compost is applied into a double lower dose as an organic and its buffering capacity is not manifested.

Acidification is observed in the furrows, in the sides of the main water stream and under the drip system (Koutev et al., 2017). There is the place where most of the fertilizer is stored. The soil reaction decreases on the soil profile with the accumulation of leached nitrates in the lower layers (Figures 1 and 2).



Фиг. 1. pH на почвата (в H2O) след зеле – без минерално торене
Fig. 1. Soil pH (in H2O) after cabbage – no mineral fertilization



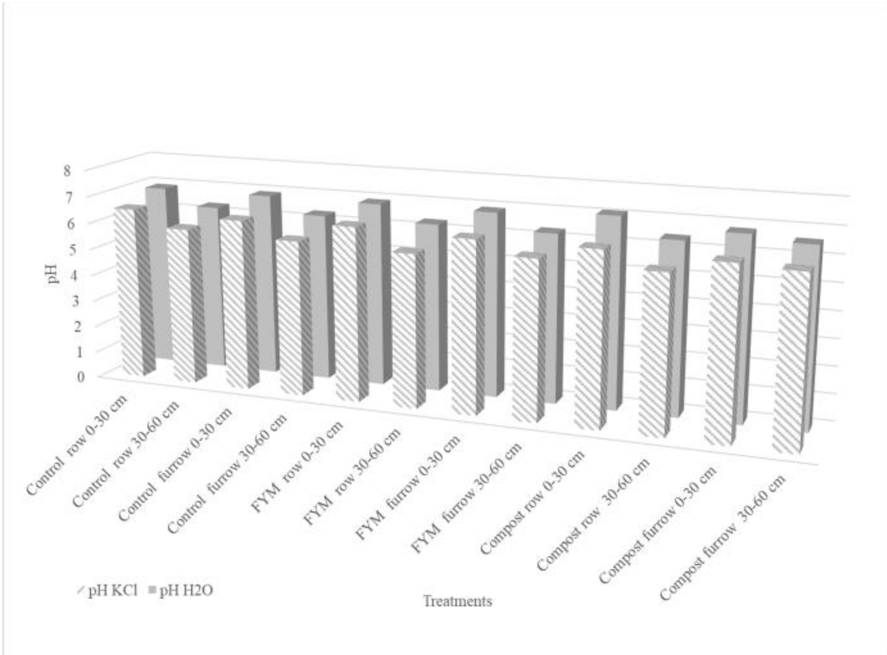
Фиг. 2. pH на почвата (в H2O) след зеле с минерално торене
Fig. 2. pH of soil (in H2O) after cabbage with mineral fertilization

Подготовката за опита с тиквички е извършена по параметрите на отглеждане с опити правени у нас (Dinev et al., 2016a; Dinev et al., 2016b)

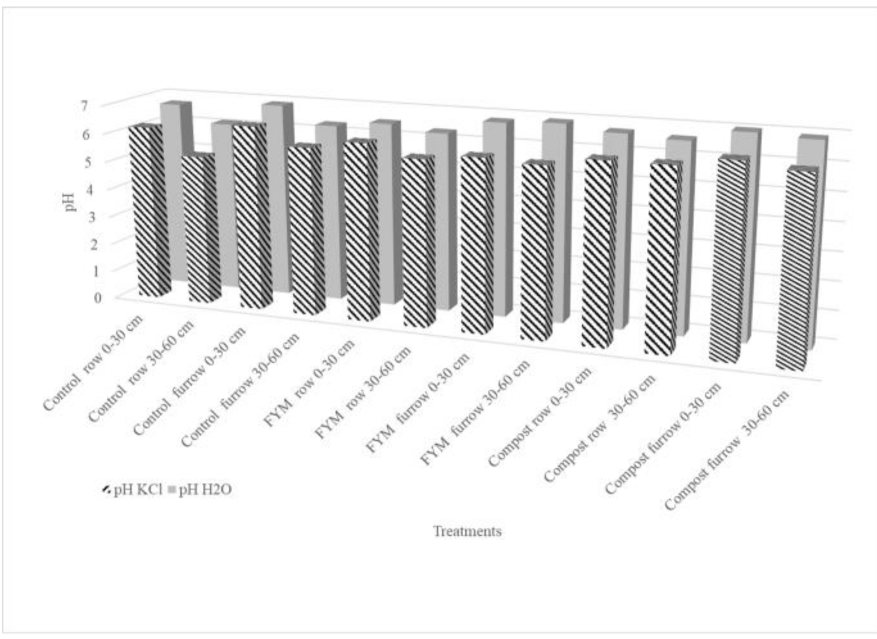
За оценка на параметрите изменящи се при фертигация в полски условия трябва да се направи връзка между влажността на почвата, pH на почвата (Фигура 3), електропроводимостта на почвата (съдържанието на соли в почвата). Както и при опита със зеле, при опита с тиквички също се наблюдава буферната способност на оборския тор (Фигура 4). През втората година на изследванията компостът също е успял да се разложи в почвата и буферната и способност е нараснала.

The preparation for the courgettes trial was carried out according to the parameters of cultivation with experiments made in our country (Dinev et al., 2016a, Dinev et al., 2016b).

In order to evaluate the parameters changing in fertigation in the field, the soil humidity, the soil pH, the electroconductivity of the soil (the salt content in the soil) must be established. As with the cabbage experiment, the courgettes trial also shows the buffer capacity of manure (Figure 4). In the second year of research, compost was also able to decompose into the soil, and it buffer capacity increased.



Фиг. 3. pH на почвата след фертигация на тиквички
Fig. 3. Soil pH (after fertigation of courgettes



Фиг. 4. pH на почвата след фертигация на тиквички на фон органично торене
Fig. 4. Soil pH after fertigatation of courgettes on organic fertilization background

При изследванията с тиквички, в горния слой на почвата е останала главно амониевата фракция на амониевата селитра, която е много слабо подвижна и на това се дължи първоначалното алкализиране на почвата при торените варианти.

При нашите изследвания не се получи силно изменение на почвената реакция. Въпреки това на места тя премина границата от pH=5.5. При по-лека почва и при по-интензивно торене почвената реакция ще слезе под тази граница, а това означава намаляване подвижността на фосфора.

Информацията за изменението на почвената реакция по време на вегетацията помага за управлението храненето с елементи, чиято подвижност зависи от почвената реакция.

In the case of courgettes studies, the ammonium fraction of the ammonium nitrate, which is very poorly mobile provokes the initial alkalinisation of the soil in fertilized treatments and remained mainly in the upper layer of the soil.

In our studies there was no strong change in the soil reaction. However, in some places it passed the limit of pH = 5.5. With lighter soil and more intense fertilization, the soil reaction will go below this limit, and this will reduce the mobility of the phosphorus.

Information on the change of soil reaction during vegetation helps the management of nutrition with elements whose mobility depends on the soil reaction.

ИЗВОДИ

1. При изследваната почва се наблюдаваше слабо вкисляване, след прилагане на амониева селитра. Почвената реакция се доближи до границата pH.5.5

2. Трябва да се внимава при използването на високи торови норми и да не се достига до нежелани стойности на почвената реакция, особено при леки и кисели почви.

3. Използването на органични торове повишава буферността на почвата и намалява опасността от вкисляване.

CONCLUSIONS

1. Low acidification of the soil reaction was observed in the studied soil due to ammonium nitrate application. It approaches the limit of pH 5.5.

2. Care should be taken when using high fertilizer rates to avoid unwanted soil reaction levels, especially in light and acidic soils.

3. Organic fertilizers application increases soil buffering and reduces the risk of acidification.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. **Bar-Yosef, B. and M. R. Sheikhoslami**, 1976. Distribution of water and ions in soils irrigated and fertilized from a trickle source. *Soil Sci Soc Am J,* 40: 575-582.
2. **Bar-Yosef, B.**, 1977. Trickle irrigation and fertigation of tomatoes in sand dunes: Water, N, and P distributions in the soil and uptake by plants. *Agron J*, 69: 486-491
3. **Borisov, P. and E. Markov**, 2006. State of the Question on Toxic Soil Acidity in Bulgaria (Bg).
4. **Dinev, N. and Iv. Mitova**, 2012. Quality of cabbage, late field production, with increasing mineral fertilization standards. Soil Science, *Agrochemistry and Ecology*, XLVI (2), 28-32 (Bg).
5. **Dinev, N., Iv. Mitova and V. Vasileva**, 2016 b. Growth indicators, yield and quality of the pumpkin in the various forms of fertilizers. Fourth National Conf. with

International Participation, 8-10.09.2016, pp. 455-464 (Bg).
6. **Dinev, N., Iv. Mitova and V. Vasileva**, 2016 a. Export of nutrients with fruit of pumpkin organic and mineral fertilizing. Fourth National Conf. with International Participation, 8-10.09.2016, pp. 465-470 (Bg).
7. **Feigin, A., J. Letey and W. M. Jarrell**, 1982. N utilization efficiency by drip irrigated celery receiving preplant or water applied N fertilizer. *Agron J,* 74:978-983.
8. **Gorbanov, St, L. Stanchev, J. Matev, T. Tomov and G. Rachovski**, 2005. Agrochemistry, DIONIS Publishing House, Sofia, ISBN 954849650 (Bg).
9. ISO 10390:2005. Soil quality, Determination of pH.
10. **Koutev, V., M. Himmelbauer, M. Venelinov and Y. Jekova**, 2017. Application of drip irrigation and ec measurements for precision farming in vegetable farms – primary results." 24th International Poster Day and Institute of Hydrology Open Day – transport of water, chemicals and energy in the soil-plant-atmosphere system. 8th November 2017, Institute of Hydrology SAS, Dúbravská cesta 9, Bratislava, Slovak Republic 24, In: Proceediings of peer-reviiewed contriibutiions. Editor: Ing. A. Čelková. pp, 147-151. ISBN 978-80-89139-40-8.
11. **Mitova, Iv. and N. Dinev**, 2012. Morphological evaluation and yield of late Polish production of head cabbage. Soil Science, *Agrochemistry and Ecology*, XLVI (4), 86-90 (Bg).
12. **Mmolawa, K., D. Or**, 2000. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. *Plant Soil,* 222: 163-190.
13. **Papadopoulos, I.**, 1985. Constant feeding of field-grown tomatoes irrigated with sulphate water. *Plant soil,* 88:231-236.
14. **Papadopoulos, I.**, 1988. N fertigation of trickle-irrigated potato. *Fert Res,* 16:157-167.
15. **Shaban, N., S. Bistrichanov, Ts. Moskova, E. Kadum, Iv. Mitova, M. Titianov and P. Bumov**, 2014. Vegetable production, Ed. House at Forestry University, Sofia, pp. 490 (Bg).