

<https://doi.org/10.61308/DOCN4798>

Анализ на зависимостта между общия добив и напоителната норма при царевицата

Александър Матев^{1*}, Катя Узунджалиева¹, Станислав Стаматов¹, Веселина Машева¹, Наталия Петровска²

¹ИРГР – Садово, ²Институт по царевицата – Кнежа, Селскостопанска академия – София,

*E-mail: sab_m@abv.bg

Резюме: Целта на разработката е да се проучи влиянието на редуцираните поливни норми върху продуктивността на царевицата (група 600 по ФАО), отглеждана за зърно в района на Пловдив, въз основа на което да бъдат установени параметрите на зависимостта „Общ добив-напоителна норма“. Опитът е проведен през периода 2004 – 2018 години в АУ – Пловдив, с късния царевичен хибрид “Кнежа-613”. Вариантите на опита са: 1) без напояване; 5) оптимално напояване (предполивна влажност на почвата 75%ППВ за слоя 0-80 cm); 2, 3 и 4) напояване със съответно 25, 50 и 75% от поливната норма при вариант 5. Зависимостта е изследвана на базата на три типа формули – регресионно уравнение, квадратна формула и степенна формула. Най-висока точност постига степенната зависимост при $n=1.3$ и $r=0.725$. Квадратната формула се препоръчва, когато данните за относителния добив са само при неполивни условия. Тези две зависимости дават достатъчно точна прогноза за добива при редукция на поливните норми с до 25%. Регресионната зависимост е също така използвана, но тя отстъпва на предходните две.

Ключови думи: царевица; поливен режим; воден стрес; добив; зависимост „Вода-добив“

Analysis of the dependence between the total yield and the irrigation rate for corn

Alexander Matev^{1*}, Katya Uzundzhalieva¹, Stanislav Stamatov¹, Veselina Masheva¹, Natalia Petrovska²

¹Institute of Plant Genetic Resources – Sadovo, ² Institute of Maize – Knezha, Agricultural academy – Sofia, Bulgaria

*E-mail: sab_m@abv.bg

Citation: Matev, A., Uzundzhalieva, K., Stamatov, S., Masheva, V., & Petrovska, N. (2024). Analysis of the dependence between the total yield and the irrigation rate for corn. *Bulgarian Journal of Crop Science*, 61(3) 47-59 (Bg).

Abstract: The purpose of this work is to study the influence of reduced irrigation rates on the productivity of corn (FAO group 600) grown for grain in the Plovdiv region and to establish the parameters of the “Total yield-irrigation rate” relationship. The experiment was carried out in the period 2004-2018 in Agricultural University – Plovdiv, with the late hybrid “Knezha-613”. The variants of the experiment are: 1) without irrigation; 5) optimal irrigation (pre-irrigation soil moisture 75% of FC for the layer 0-80 cm); 2, 3, and 4) irrigation with respectively 25, 50 and 75 % of the rate for variant 5. The relationship is determined based on three types of formulas – regression equation, quadratic formula, and power formula. The highest accuracy is achieved by power relationship at power exponent $n=1.3$ and $r=0.725$. The quadratic formula is recommended when relative yield data are only under non-irrigated conditions. These two variants of relationship give a sufficiently accurate forecast for the yield when irrigation rates are reduced by up to 25%. The regression is also usable, but it is inferior to the power and quadratic variants.

Keywords: corn; irrigation regime; water stress; yield; „Water-yield” relations

ВЪВЕДЕНИЕ

Изследванията свързани с поливния режим на селскостопанските култури в условията на воден дефицит се свеждат основно до установяване на загубите на добив, като за получаването на конкретна информация трябва да бъдат известни параметрите на зависимостта „Напоителна норма-добив“. За условията на нашата страна са проведени редица проучвания относно влиянието на постоянния воден дефицит върху продуктивността на различни хибриди царевица (Eneva, 1993; Zhivkov, 1995; Lazarov & Mehandjieva, 1980; Kirkova, 2003; Petrov, 2003; Moteva, 2005). Изнесените от авторите резултати се отнасят за различни почвено-климатични райони на страната, като липсват данни за района на Пловдив. Освен това, според специализираните литературни източници, влиянието на относително постоянния воден дефицит върху загубите на добив при намаление на поливните норми варира съществено, в зависимост от условията на годината и района на отглеждане.

Тъй като параметрите на зависимостта „Добив-напоителна норма“ имат ясно изразен локален характер, целта на разработката е те да бъдат установени при късен царевичен хибрид за района на Пловдив, като се изследват трите възможни варианта за нейното изразяване.

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

За целта на настоящата работа са използвани данни от полски експеримент, свързан с проучване поливния режим на царевицата за зърно в района на Пловдив. Опитът е проведен през периода 2004 – 2009 и 2018 години в УОП на АУ – Пловдив върху алувиално-ливадна почва, с късния царевичен хибрид „Кнежа-613“. Вариантите на опита са следните: 1) без напояване; 5) оптимално напояване (100% от изчислената поливна норма); 2, 3 и 4 – напояване със съответно 25, 50 и 75% от размера на нормата при вариант 5. През 2018

година варианти 2, 3 и 4 са напоявани с поливни норми съответно 40, 60 и 80% спрямо максималната.

Поливките са извършвани при предполивна влажност 75% от ППВ за слоя 0–80cm, при вариант 5, като размерът на поливните норми е изчисляван за допълване на почвената влажност до ППВ на същия този слой. Вариантите (2, 3 и 4), са напоявани едновременно с вариант 5 при съответната корекция на поливните норми.

Напояването е извършвано гравитачно по къси затворени бразди с дължина 6 метра. Опитът е залаган по блоковия метод в 4 повторения при големина на опитните парцелки 25 m², а на реколтните – 10 m². Сеитбата е извършвана при гъстота 6000 растения на декар и междуредово разстояние 0.7 m. Всички варианти са торени с 16 kg/da азот, внесен като подхранване преди последната междуредова обработка, под формата на амониева селитра. Като предшественик на царевицата е използвана соя.

Данните относно получените добиви са обработени статистически, по ANOVA1, като е установена доказаността на разликите между контролата и останалите варианти на опита.

Зависимостта между общия добив и напоителната норма е установена по следните три начина:

- 1) регресия от вида: $Y = ax^2 + bx + c$
- 2) квадратна формула $Y = Y_c + (1 - Y_c) \cdot (2x - x^2)$
- 3) степенна формула $Y = 1 - (1 - Y_c)(1 - x)^n$

В трите формули X е относителната напоителна норма, а Y – търсеният относителен добив. Първата формула е квадратна, а в някои случаи линейна (Ayas, 2019), като свободният член на уравнението C е относителният добив при неполивни условия. Втората формула е квадратна (Varlev, 1981, 2008; Varlev et al., 1990, 1994; Ilcheva, 2017; Matev, et al., 2018, 2018a, 2022; Petrova & Matev, 2020), като Y_c е относителният добив при неполивни условия. Третата формула е с променлив степенен показател n (Davidov, 1982, 1994, 1998, 2004, Ilcheva, 2017 Matev, et al., 2018, 2022, 2024;

Petrova & Matev, 2020; Hristova, 2022). Съществува и становище, според което зависимостта е логаритмична (Şahin et al., 2023) За установяване параметрите на зависимостта е използван методът на най-малките квадрати.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Метеорологичните условия през вегетационния период влияят съществено както върху елементите на поливния режим, така и върху размера на допълнителния добив, при напояване с редуцирани поливни норми. Относно температурната сума, 2004 година е средна, а 2007 и 2018 – топли. Останалите 4 години (2005, 2006, 2008 и 2009) са средно топли. По отношение на количеството на валежите най-влажни са 2005 и 2007 години, като тази характеристика на втората година

се дължи на големите валежни количества в началото на юни и през първата десетдневка на август, когато културата е във фаза млечно-восъчна зрялост и ефективността им е незначителна. През репродуктивният период тази опитна година е изключително суха със сума на валежите 0.7mm. Влажна е и последната експериментална година (2018). Тя се характеризира с благоприятно за царевичата количество и разпределение на валежите до края на фенофаза „Млечна зрялост“. Средни като обезпеченост и много близки като характеристика са 2004, 2006 и 2008 години, като първите две са с по-равномерно разпределение на валежите. Експерименталната 2009 година е средно суха, но със много силно изразено пролетно засушаване. Данните за обезпечеността на опитните години по отношение на вегетационните валежи и температурната сума са представени на Таблица 1.

Таблица 1. Обезпеченост на валежите и средноденонощната температура на въздуха

Table 1. Probability of the precipitations and daily air temperature

Години /Years/	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2018
ΣN	42.9	6.1	49.0	4.1	44.9	69.4	7.5
ΣT°	57.1	36.7	28.6	8.2	26.6	34.7	15.0

ΣN – сума на вегетационните валежи /amount of the seasonal precipitations/(mm)

ΣT° – сума на средноденонощната температура на въздуха /sum of the daily air temperature/ (°C)

P% – обезпеченост /probability/ (%)

Таблица 2. Параметри на поливния режим

Table 2. Irrigation regime parameters

Години Years	Брой поливки Number of irrigation applications	Варианти на напояване Irrigation variants			
		100% <i>m</i>	75% <i>m</i>	50% <i>m</i>	25% <i>m</i>
		Напоителна норма /irrigation rate/ (mm)			
2004	2	160.2	120.2	80.1	40.1
2005	1	80.0	60.0	40.4	20.0
2006	2	144.6	108.4	72.3	36.2
2007	3	270.3	202.7	135.2	67.6
2008	3	250.7	188.0	125.4	62.7
2009	4	354.3	265.7	177.2	88.6
2018*	2	130.0	104.0	72.0	52.0
средно	2.4	198.6	149.9	100.4	52.5

*вариантите са /variants/: 100, 80, 60 и 40%*m*

m – напоителна норма /irrigation rate/

Въпреки, че опитните години могат да бъдат групирани според обезпечеността на метеорологичните фактори, решаващо значение за поливния режим и неговото влияние върху добива от царевичката имат количеството разпределението на вегетационните валежи. Това се очертава ясно в Таблица 2, където са

представени елементите на поливния режим по години. Освен че при еднакви като характеристика години броят на поливките може да бъде различен, поливният период обхваща различни фенофази от вегетацията. Типичен пример за това са средносухите 2004, 2008 и 2009 години, както и влажните 2005 и 2007

Таблица 3. Добив по варианти и години и изходни данни за установяване параметрите на зависимостта „Общ добив-напоителна норма”

Table 3. Yield by variants and years and source data for determination of the parameters of the relationship “Common yield-irrigation rate”

Вариант Variant	Добив Yield kg/da	Към вариант 5 To variant 5		Добив Yield kg/da	Към вариант 5 To variant 5	
		±kg/da	relative		kg/da	relative
1	2	3	4	5	6	7
2004				2005		
1. сух (dry) 0.00	970 ^c	- 336	0.743	1210 ^a	- 143	0.894
2. 25% <i>m</i> 0.25	1031 ^c	- 275	0.789	1276 ^{ns}	- 77	0.943
3. 50% <i>m</i> 0.50	1133 ^c	- 173	0.868	1309 ^{ns}	- 44	0.967
4. 75% <i>m</i> 0.75	1205 ^a	- 101	0.923	1339 ^{ns}	- 14	0.990
5. 100% <i>m</i> 1.00	1306 st	St.	1.000	1353 st	St.	1.000
GD kg/da	P5%=78, P1%=113, P0.1%=170			P5%=139, P1%=202, P0.1%=303		
2006				2007		
1. сух (dry) 0.00	959 ^c	- 240	0.800	489 ^c	- 718	0.405
2. 25% <i>m</i> 0.25	1020 ^c	- 179	0.851	706 ^c	- 501	0.585
3. 50% <i>m</i> 0.50	1092 ^c	- 107	0.911	999 ^c	- 208	0.828
4. 75% <i>m</i> 0.75	1179 ^{ns}	- 20	0.983	1148 ^{ns}	- 59	0.951
5. 100% <i>m</i> 1.00	1199 st	St.	1.000	1207 st	St.	1.000
GD kg/da	P5%=47, P1%=69, P0.1%=103			P5%=100, P1%=140, P0.1%=197		
2008				2009		
1. сух (dry) 0.00	417 ^c	- 664	0.386	70 ^c	- 745	0.086
2. 25% <i>m</i> 0.25	619 ^c	- 463	0.572	257 ^c	- 558	0.315
3. 50% <i>m</i> 0.50	790 ^c	- 292	0.730	548 ^c	- 267	0.672
4. 75% <i>m</i> 0.75	893 ^c	- 188	0.826	700 ^a	- 115	0.859
5. 100% <i>m</i> 1.00	1081 st	St.	1.000	815 st	St.	1.000
GD kg/da	P5%=93, P1%=130, P0.1%=184			P5%=106, P1%=148, P0.1%=209		
2018				Average		
1. сух (dry) 0.00	650 ^c	- 364	0.641	680	- 459	0.597
2. 25% <i>m</i> 0.40	783 ^b	- 231	0.772	813	- 326	0.714
3. 50% <i>m</i> 0.60	839 ^a	- 175	0.827	959	- 180	0.842
4. 75% <i>m</i> 0.80	965 ^{ns}	- 49	0.952	1061	- 78	0.932
5. 100% <i>m</i> 1.00	1014 st	St.	1.000	1139	St.	1.000
GD kg/da	P5%=167, P1%=242, P0.1%=364					

m – напоителна норма /irrigation rate/

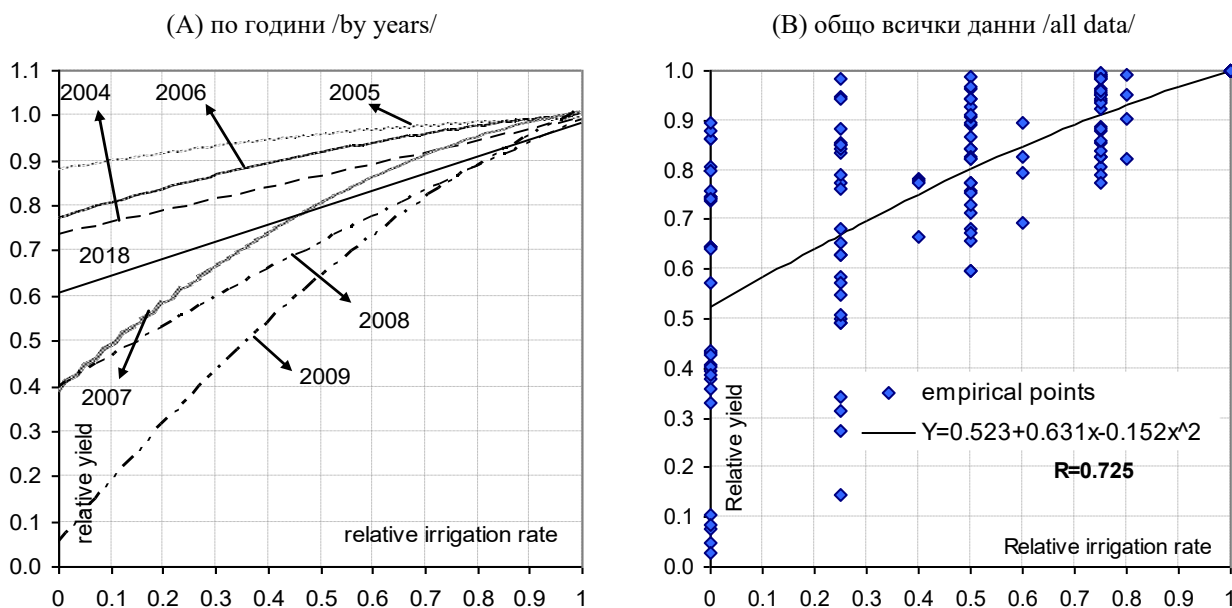
години. Така, отрицателното влияние на напояването с намалени поливни норми върху добива е различно, т.е. параметрите на зависимостта „Добив-напоителна норма” също са различни и специфични за всяка от годините. Това е видно и от Таблица 3, където са представени данните за добива по варианти и години, както и загубите на добив, следствие на допуснатия воден дефицит при вариантите 1, 2, 3 и 4. В колони 1, 4 и 7 на таблицата са нанесени изходните експериментални данни, въз основа на които се определя местоположението на всички емпирични точки в координатната система. Те са валидни и за трите типа на изразяване на зависимостта „Добив-напоителна норма”.

Регресионна зависимост „Добив-напоителна норма”

При наличие на експериментални данни за добива при неполивни условия, оптимално напояване и напояване с намалени поливни норми, параметрите на този вариант на зависимостта се установяват лесно, като в повечето случаи точността е висока от математическа гледна точка. Много често експе-

рименталните точки са разположени в координатната система така, че апроксимиращата ги крива представлява вдлъбнатата парабола. Най-често това се случва при ниска ефективност на малките поливни норми или когато те имат много слаб положителен ефект върху добива. Вдлъбнатата парабола противоречи на характера на този тип зависимост, тъй като добивът би трябвало да нараства с по-голяма стъпка от тази, с която нараства напоителната норма. Това е основния недостатък на този вариант на зависимостта и трябва да се има предвид. При такива случаи, като компромис може да се използва линейно уравнение. Вероятно трябва да се оптимизират границите, в които се коригира напоителната норма, т.е. да не се експериментира с малки поливни норми ($m < 0.5$).

На Фигура 1 е представена регресионната зависимост между общия добив и напоителната норма поотделно за всички опитни години (графика А) и общо за целия експериментален период (графика В), а параметрите са нанесени в таблица 4. За да се увеличи броят на експерименталните точки, са използвани данните за добива от всички повторения на



Фигура 1. Регресионна зависимост „Добив-напоителна норма”
Figure 1. Regression relationship “Yield-Irrigation rate”

опита. Графиките, представляващи зависимостта по години потвърждават изказаното по-горе становище, като експерименталните точки са апроксимирани посредством изпълнени параболите при $R > 0.97$. Малко по-ниски са стойностите на R през влажната 2005 година. За първата и последната опитни години връзката е представена като линейна, поради споменатите вече причини. Тя също така е коректна от математическа гледна точка, при $R > 0.92$. Както се вижда от графика А, траекториите са специфични за конкретните години, като началото съответства на изчисления относителен добив при неполивни условия. Той не винаги съвпада с опитно установения, което също може да се счита като недостатък. През по-благоприятните години, графиките започват от втората половина на ординатата ($Y = 0.6 \div 0.9$), докато през години с по-продължителни засушавания по време на периода *изметляване-млечна зрялост*, параболите започват при $Y = 0.4$, а през екстремната 2009 година – при $Y < 0.1$. Влиянието на редуцираните напоителни норми върху добива оказва влияние върху останалата част от траекторията на кривата, описваща съответния изчислен добив. Дори при едно и също начало, кривите са различни, като типичен пример са 2007 и 2008 години. Всичко това прави зависимостта много конкретна за всяка една опитна година, независимо от демонстрираната висока точност. Освен това, върху така получени при апроксимацията параметри, не може

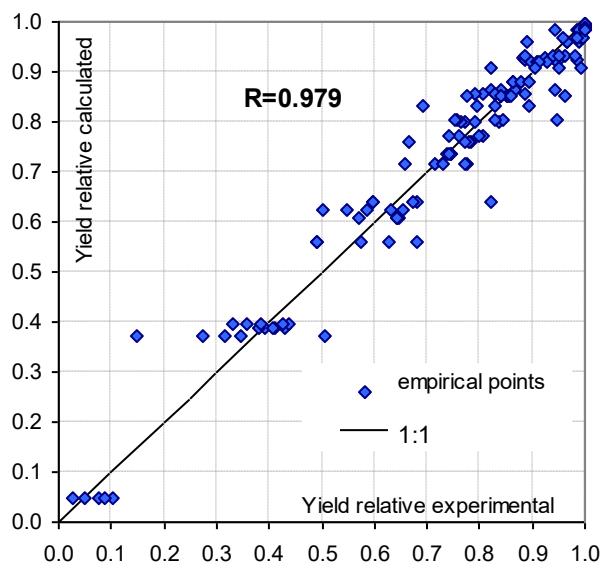
да се влияе. Това трябва да се има предвид при използването ѝ за прогнозни цели, както и решаването на оптимизационни задачи в областта на поливния режим. На графика В е представена нагледно връзката „Добив напоителна норма”, установена на база всички експериментални точки и относителен добив при неполивни условия $Y_c = 0.523$ (свободният член на уравнението). Тя представлява изпълнена парабола, която осреднява всички експериментални точки при $R = 0.725$. Тя може да се счита за представителна, като се има предвид диапазонът, в който варират емпиричните точки на даден поливен режим. Това вариране е логично, като то намалява постепенно с увеличаване размера на напоителната норма, т.е. колкото по-близо е тя до оптималната, толкова влиянието на условията на годината са по-малки. Според кривата, при норма 70%, добивът е 90% от максималния. Ако се разгледат резултатите по години (графика А) става ясно, че при тази поливна норма се формира между 82 и 97% от максималния добив.

На Фигура 2 са представени данните за относителните отклонения при изчисления добив спрямо опитния. Графика А представя данните за добива, изчислен по конкретната формула за конкретната опитна година, т.е. отчита се влиянието на специфичността на годината. Това води до постигане на висока точност, в резултат на което $R = 0.979$. Тук би следвало да се уточни, че при пълно съвпадение между опитните и изчислените добиви,

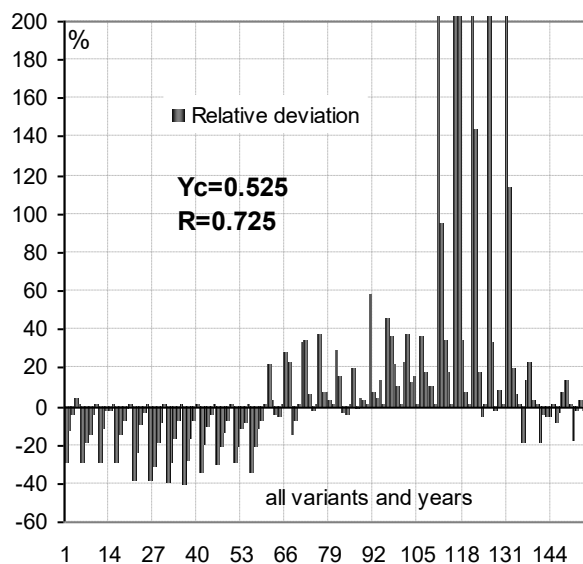
Таблица 4. Параметри на връзката “Добив – напоителна норма” – регресионна зависимост
Table 4. Parameters of the regression relationship “Yield-Irrigation rate”

Година Year	Уравнение на кривата The equation curve	Y_c	n	R^2	R
2004	$Y = 0.735 + 0.259x$	0.735	1	0.916	0.957
2005	$Y = 0.881 + 0.200x - 0.085x^2$	0.881	2	0.706	0.840
2006	$Y = 0.774 + 0.347x - 0.115x^2$	0.774	2	0.959	0.979
2007	$Y = 0.388 + 1.045x - 0.424x^2$	0.388	2	0.956	0.978
2008	$Y = 0.396 + 0.688x - 0.097x^2$	0.396	2	0.950	0.975
2009	$Y = 0.048 + 1.403x - 0.441x^2$	0.048	2	0.953	0.976
2018	$Y = 0.609 + 0.375x$	0.609	1	0.853	0.923
общо /all data/	$Y = 0.523 + 0.631x - 0.152x^2$	0.523	2	0.525	0.725

(A) На база уравненията по години
Based on the equations for each of the experimental years



(B) на база общото уравнение /всички точки/
Based on the equation for all experimental data



Фигура 2. Относителни отклонения на изчисления спрямо опитния добив
Figure 2. Relative deviation of the calculated yield compared to the experimental one

всички емпирични точки ще попаднат върху диагонала на координатната система при $R=1$.

Графика В показва относителните отклонения на изчисления по общата крива добив, спрямо експерименталния, отчетен при всеки от поливните режими за целия експериментален период, т.е. отклоненията между кривата и емпиричните точки на Фигура 1.В. Те са най-големи при неполивни условия, особено през 2009 година, когато изчисленият относителен добив е над 10 пъти по-голям от експерименталния. Ако се вземат предвид само останалите опитни години, изчисленият добив е средно с 5.9% по-нисък от експерименталния, а варирането е от -42 до $+58\%$. При поливни условия влиянието на метеорологичните условия върху добива намалява, следователно разликите между опитните и изчислените стойности също намаляват. Това се наблюдава още при най-малките поливни норми (25%m), където средното отклонение е $+2.3\%$. При напояване с $\frac{1}{2}$ от максималната поливна норма, изчисленият добив е средно с 3% по-нисък от експерименталния, като отклоненията варира в диапазона от -19 до

$+34\%$ (с изключение на 2009 година). При нарастване на напоителната норма до 75% спрямо оптималната, средната разлика между опитния и изчисления добив е само $+0.4\%$, при вариране в границите от -9 до $+18\%$. Тези стойности могат да бъдат считани за приемливи, като се има предвид, че при недостиг на вода този поливен режим може да бъде приложен успешно. Този вариант на връзката между добива и напоителната норма дава отклонение и при оптималния поливен режим, но то е пренебрежимо малко – само 0.2%

Квадратна зависимост „Добив-напоителна норма“

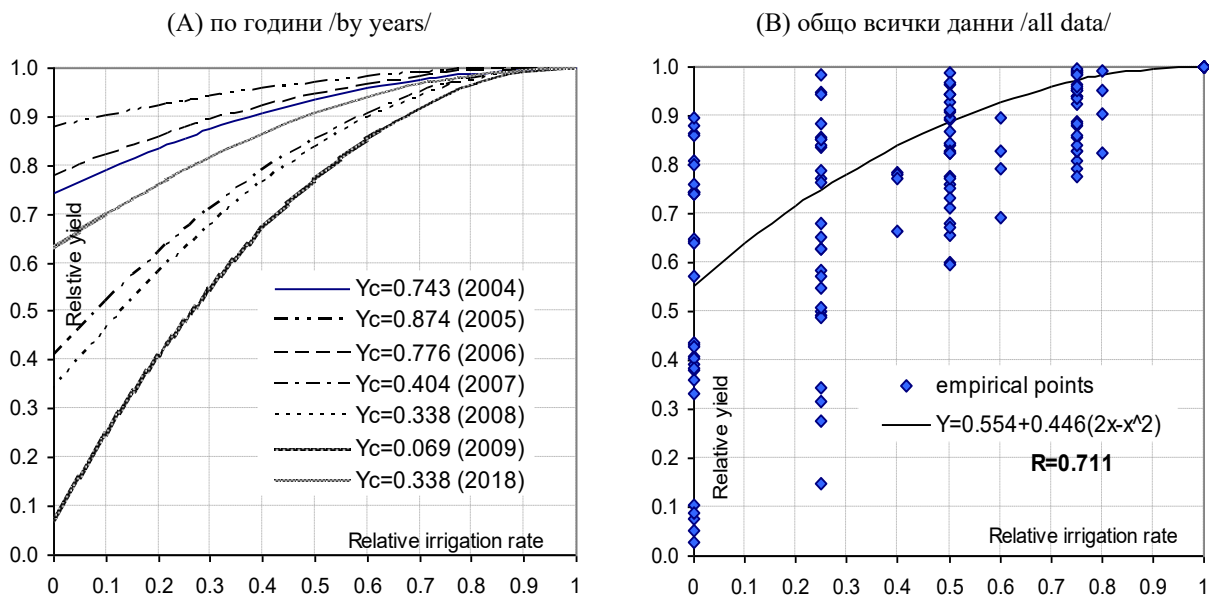
При този вариант на зависимостта се използва формулата, предложена от И. Върлев. Тя може много лесно да изчисли добива, който би се получил при различна степен на редуциране на напоителната норма, като използва единствено стойностите за действителния относителен добив при неполивни условия. Това ѝ дава предимство пред останалите методи, но тъй като при наличие на междинни експериментални точки крива-

та на уравнението не е съобразена с тяхното разположение в координатната система, често точността е по-ниска. Същата може да се повиши чрез промяна на относителния добив при неполивни условия, като така кривата апроксимира по възможно най-точния въведените опитни данни. Това не се препоръчва, тъй като се променя стойността на единствената експериментална точка, която уравнението използва.

На Фигура 3А е представена графично квадратната зависимост между добива и напоителната норма по години, а на таблица 5 – нейните параметри. Стойностите на R са високи ($R \geq 0.9$), като малко по-ниски са те за първата и последната опитни години, когато при предходния вариант зависимостта е представена като линейна. Това означава, че експерименталните точки са по-отдалечени от съответстващата им крива, в сравнение с тези – за останалите опитни години. Въпреки описаните възможни недостатъци, този вариант на зависимостта „Общ добив-напоителна норма” може да намери практическо приложение, когато е зададен относителният добив при неполивни условия.

На Фигура 3В всички емпирични точки са представени от обща крива, представляваща изпъкнала парабола. Тя ги осреднява при $R=0.711$ и $Y_c=0.554$. Според графиката, подаването на $\frac{1}{2}$ от оптималната поливна норма гарантира средно 90% от максималния добив, като по години тя осигурява между 75 и 95% от него. Реално, тези стойности на добива са завишени, което се случва много често при тази разновидност на зависимостта. Много ясно това се вижда на Фигура 4А, където върху диагонала на координатната система лежат само точките, получени при неполивни условия и при оптимално напояване. Абсолютно всички останали стойности на изчисления добив превишават опитно установените. Разликите са по-съществени при по-малките норми.

При зависимостта, определена общо на база всички експериментални точки, се наблюдава намаляване на варирането с подобряване водообезпечеността на растенията. Открояват се големите отклонения през 2009 година, като причините се прекриват с посочените при предходния вариант на зависимостта. При анализ на графиката от Фигура

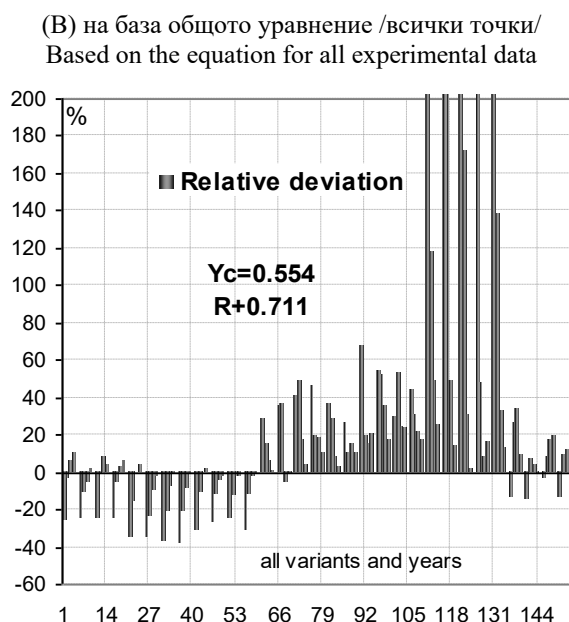
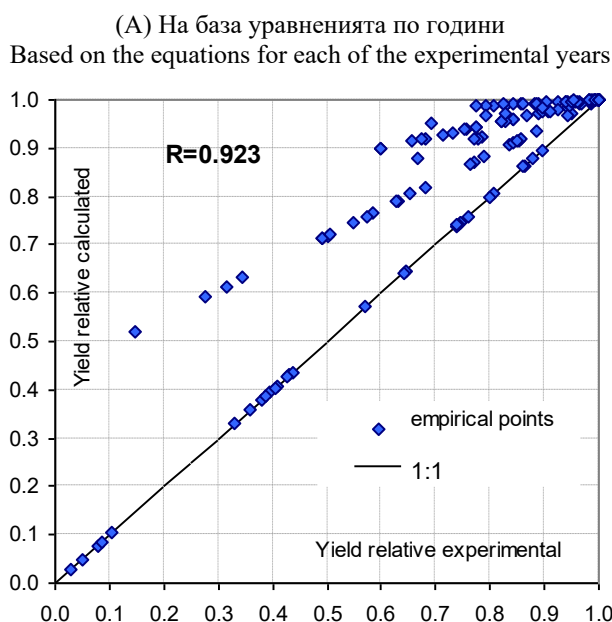


Фигура 3. Квадратна зависимост „Добив-напоителна норма”
 Figure 3. Second degree relationship “Yield-Irrigation rate”

ЗВ става ясно, че отклоненията са в двете посоки. Поради това, тук има вариране и при не напояваната царевица и то всъщност е най-голямо – между -38 и +68% (без данните за 2009 година), независимо че средната стойност е само +1.2% (Фигура 4В).

При поливни условия и с увеличаване размера на поливните норми, варирането на добива намалява, поради което експерименталните точки са съсредоточени във все по-тесен диапазон. Това се отразява и на отклонения-

та на изчисления добив спрямо действителния, като същите намаляват. При най-малките норми, те варират между -24 и +53% (средно +8.2%), а при напояване с 1/2 поливни норми, те са в диапазона от +10 до +35% (средно +7.5%). Това вариране е съществено за нуждите на практиката, което дава основание да се счита, че прогнозата, направена по този метод при малките поливни норми, не е достатъчно надеждна. При нарастване на нормите до 75% от оптимума, отклоненията



Фигура 4. Относителни отклонения на изчисления спрямо опитния добив
Figure 4. Relative deviation of the calculated yield compared to the experimental one

Таблица 5. Параметри на връзката “Добив – напоителна норма” – квадратна зависимост
Table 5. Parameters of the “Yield-Irrigation rate” relationship – quadratic

Година Year	Уравнение на кривата The equation curve	n	Yc	R
2004	$Y=0.743+0.257(2x-x^2)$	2	0.743	0.877
2005	$Y=0.874+0.126(2x-x^2)$	2	0.874	0.900
2006	$Y=0.776+0.224(2x-x^2)$	2	0.776	0.932
2007	$Y=0.404+0.596(2x-x^2)$	2	0.404	0.941
2008	$Y=0.338+0.662(2x-x^2)$	2	0.338	0.913
2009	$Y=0.069+0.931(2x-x^2)$	2	0.069	0.932
2018	$Y=0.626+0.374(2x-x^2)$	2	0.626	0.824
общо	$Y=0.554+0.446(2x-x^2)$	2	0.554	0.711

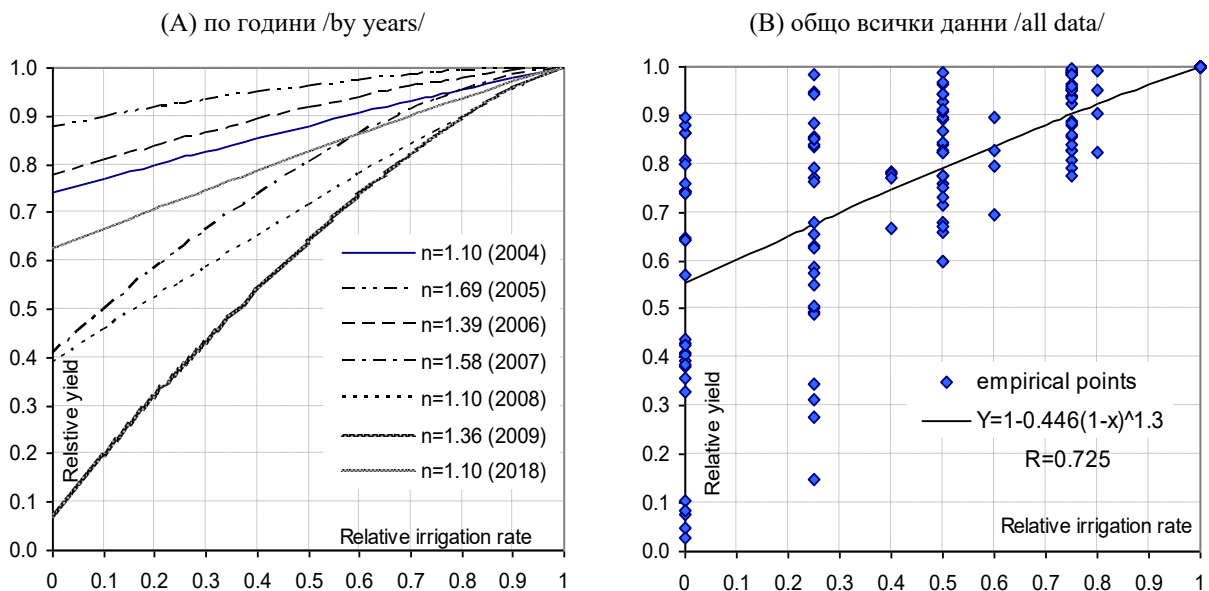
са значително по-малки, като варират между -3 и +23% (средно +5.7%). При този поливен режим прави впечатление, че отклоненията през екстремната 2009 са в приблизително същите граници. От тук може да се направи извода, че този вариант на зависимостта може да се използва успешно за прогнозиране на добива при сравнително малка редуция на поливните норми (до 20-30%). Потвърждава се изказаното по-горе становище, че при такъв поливен режим добивите са относително постоянни и близки до максималния за съответните условия. За разлика от регресионния модел, при използването на квадратната формула опитният и изчисленият добиви винаги съвпадат.

Степенна зависимост „Добив-напоителна норма”

Този вариант на зависимостта съчетава част от предимствата на предходните два варианта, като при реален относителен добив при неполивни условия, чрез променливия степенен показател се апроксимират с максимално възможната точност експерименталните точки и така се пресъздава по-реали-

тично изменението на добива, в зависимост от размера на напоителната норма.

На Фигура 5 е представена нагледно зависимостта по години (графика А) и общо за целия експериментален период (графика В), а на таблица 6 – съответните параметри. Степенният показател варира в сравнително тесни граници, като винаги е по-голям от 1 и никога не достига 2 ($n=1.1\div 1.6$). По-малки са неговите стойности, когато ефектът от по-големите поливни норми ($m>0.5$) е по-слаб, при традиционно слаба ефективност на малките норми ($m<0.5$). При тези случаи стъпката на изменението на добива е близка до съответстващото изменение на размера на напоителната норма. Поради това очертаващата зависимостта параболата е по-слабо изпъкнала, а степенният показател е по-малък. През години с изразено положително влияние на по-големите поливни норми, степенният показател е малко по-висок, а параболата е по-силно изпъкнала. Той не зависи пряко от характера на годината, но нейното влияние върху относителният добив при неполивни условия има съществено значение, т.е. влиянието е косвено. Това се вижда много ясно на първата графика (графика А).



Фигура 5. Степенна зависимост „Добив-напоителна норма”
Figure 5. Power relationship “Yield-Irrigation rate”

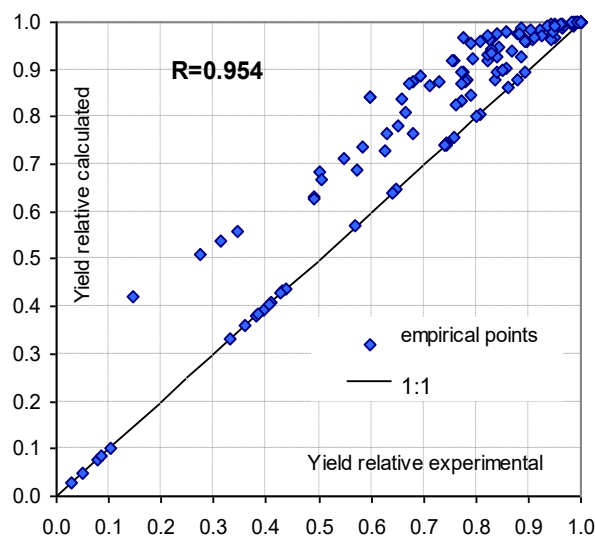
По отношение на точността, по-високият потенциал на степенната зависимост е реализиран и за условията на настоящото изследване. Отчита се повишаване на корелационния коефициент спрямо предходните два метода (Таблица 6). За всички опитни години $R > 0.9$, а при обобщените данни $R = 0.725$. Това означава, че при избор на метод за изразяване на зависимостта „Добив-напоителна норма”, приоритет трябва да се даде на степенната зависимост пред предходните две. Това становище се потвърждава и от графиките на

Фигура 6. Така, както и при предходния вариант на зависимостта, изчисленият добив е малко по-висок от експерименталния (графика А), но отклоненията са в по-тесни граници, дори при неговото определяне по параболата от Фигура 5.В. Ако се изключат екстремните разлики за 2009 година, средната разлика при всички варианти на опита е значително по-малка, в сравнение с регресията и квадратната формула (Фигура 6.В). Така например, при неполивни условия средният изчислен добив е с едва 0.08% по-висок от опитния,

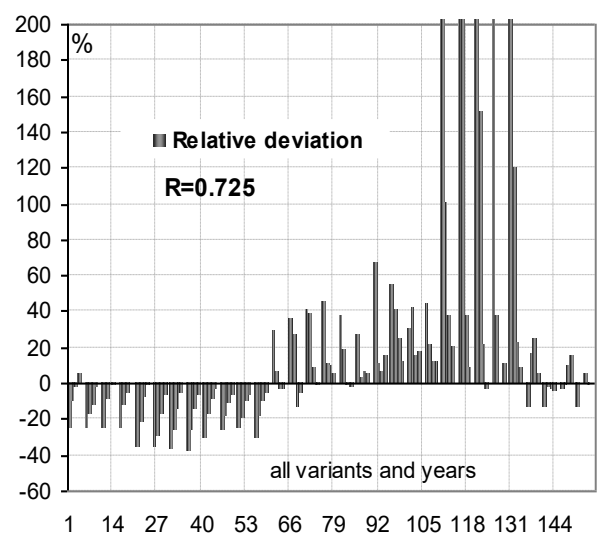
Таблица 6. Параметри на връзката “Добив – напоителна норма” – степенна зависимост
Table 6. Parameters of the “Yield-Irrigation rate” power relationship

Година Year	Уравнение на кривата The equation curve	n	Yc	R
2004	$Y=1-0.257(1-x)^{1.10}$	1.10	0.743	0.937
2005	$Y=1-0.126(1-x)^{1.69}$	1.69	0.874	0.915
2006	$Y=1-0.224(1-x)^{1.39}$	1.39	0.776	0.957
2007	$Y=1-0.596(1-x)^{1.58}$	1.58	0.404	0.957
2008	$Y=1-0.662(1-x)^{1.10}$	1.10	0.338	0.955
2009	$Y=1-0.931(1-x)^{1.36}$	1.36	0.069	0.959
2018	$Y=1-0.374(1-x)^{1.10}$	1.10	0.626	0.901
общо	$Y=1-0.446(1-x)^{1.30}$	1.30	0.554	0.725

(А) На база уравненията по години
 Based on the equations for each of the experimental years



(В) на база общото уравнение /всички точки/
 Based on the equation for all experimental data



Фигура 6. Относителни отклонения на изчисления спрямо опитния добив
Figure 6. Relative deviation of the calculated yield compared to the experimental one

като варирането е в диапазона от -38 до +68% и само в един от случаите (3.3% от всички стойности) разликата е под 10%. При поливни условия диапазонът на вариране се стеснява, като при най-малката напоителна норма (25%*m*) той е от -30 до +41% (средно 0.03%), а в 1/3 от стойностите разликата не превишава 10%. Съществени остават отклоненията с включената екстремна за царевицата 2009 година. Това обаче, се променя съществено още при норма 50%, когато данните за тази опитна година не влияят съществено върху получените резултати. Средният изчислен добив е само с 0.08% по-малък от опитния, т.е. те на практика съвпадат, а диапазонът на вариране в рамките на съвкупността от стойности е между -17 и +25%. Нараства съществено и броят на случаите (57%), при които разликата между опитния и изчисления добив не надвишава 10%.

Още по-голяма е прогнозната точност при норма 75%, където в над 83% от случаите, изчисленият добив се различава от опитния с по-малко от 10%. Варирането на отклоненията е в диапазона от -7 до +15%. Тази редукция на поливните норми в повечето случаи е осъществима и води до желан икономически резултат, независимо от възможностите за осъществяване на оптимален поливен режим. При реализирането на поливен режим с редукция на поливните норми с до 25%, изведеното уравнение $Y=1-0.446(1-x)^{1.30}$ може да даде достатъчно точна за нуждите на практиката прогноза относно възможното относително намаление на добива спрямо този – при оптимално напояване.

Така, както при квадратната формула, опитният и изчисленият добиви при оптимално напояване винаги съвпадат, т.е. при тях отклонения няма.

ИЗВОДИ

По отношение на точността, с която изразяват зависимостта „Добив-напоителна норма” приложените методи не се различават

съществено, но въпреки това, всеки от тях я представя по специфичен начин. Най-точен и в същото време най-универсален е методът, използващ степенна зависимост при $n=1.3$ и $R=0.725$. При него варирането на изчисления спрямо опитния добив е между -7 и +15%, като в 83% от случаите разликите са под 10%. Този метод е достатъчно точен за прогноза на относителния добив при редукция на поливните норми с до 25-30%.

Квадратната зависимост предлага достатъчно висока прогнозна точност при редукция на поливните норми с до 25-30%, но трябва да се има предвид, че изчисленият добив превишава опитния. Този вариант на зависимостта остава единствена възможност, когато е налице информация за относителния добив само при неполивни условия, т.е. при липса на експериментални данни за добива при различна редукция на поливните норми.

Регресионната зависимост е много точна от математическа гледна точка, при ниска ефективност на редуцираните поливни норми (особено малките – до 50%), графиката представлява вдлъбнатата парабола, което противоречи на биологичните особености на културата. Освен това, при регресионната зависимост е по-трудно да се определи общ вид на уравнение, валидно за различни като характер години.

ЛИТЕРАТУРА

- Ayas, S. (2019). Water-Yield Relationships in Deficit Irrigated Onion. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 7(9), pp. 1310-1320.
- Davidov, D. (1982). On the relationship “Yield-water”. *Hydrotechnics and land reclamation*, (7), 18-20 (Bg).
- Davidov, D. (1994). On the Grounds of the Relationship “Yield-Water”. In: *17th European Regional Conference on Irrigation and Drainage ICID-CIID, Varna*, vol.1, 251- 253.
- Davidov, D. (1998). Yields and effect of irrigation. *Bulletin of the Institute of Hydrotechnics and Land Reclamation*, vol. XXV, pp. 34-45 (Bg).
- Davidov, D. (2004). The relationship “Water-Yield” – comparison and analysis of formulas. *Agricultural machinery*, (1), pp. 28-33 (Bg).

- Eneva, St.** (1993). Yields and efficient water use of field crops. Doctoral dissertation, Agricultural Academy, Sofia (Bg).
- Hristova, N.** (2022). Regulated irrigation regime. PhD Dissertation, Plovdiv, p. 41 (Bg).
- Ilcheva, G.** (2017). Productivity and evapotranspiration of common bean grown at conditions of regulated irrigation regime. *PhD Dissertation*, p.148. (Bg).
- Kirkova J.** (2003). Efficiency of water use in different crop irrigation regimes. Habilitation thesis, Agricultural Academy, Sofia (Bg).
- Lazarov, R., & Mehandjieva, An.** (1980). Need for studies to establish a rational irrigation regime under water shortages. *Agricultural Science*, 4 (Bg).
- Matev, A., Petrova, R., Ilcheva, G., & Kuneva, V.** (2018). Common bean productivity in regulated water deficit conditions. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*, 21(6), 194-213.
- Matev, A., Koumanov, K., & Kornov, G.** (2018a). Modeling of irrigation regime influence on yield of the vine cultivars Hebros and Trakiyska Slava. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans*, 21(6), 105-114.
- Matev, A., Sabeva, M., Minev, N., & Petrova, R.** (2022). Influence of irrigation regime on the chemical composition of soybean grains. *Journal of Central European Agriculture*, 23(2), pp. 365-383.
- Matev, A., Uzundzhaliyeva, K., Petrovska, N., Masheva, V., & Andonov, B.** (2024). Relationship between Irrigation Rate and Yield for Grain Maize. *Romanian Agricultural Research*, 41, doi.org/10.59665/rar4125 First Online: January 2024. DII 2067-5720 RAR 2024-63
- Moteva, M.** (2005). Irrigation regime parameters of corn for grain under furrow irrigation on cinnamon forest soil. Doctoral dissertation, Agricultural Academy, Sofia.
- Petrov, P.** (2003). Parameters of the irrigation regime of corn for grain on carbonate chernozem in North-western Bulgaria. Doctoral dissertation, Agricultural Academy, Sofia.
- Petrova, R., & Matev, A.** (2020). Irrigation of green bean. Ychi, Plovdiv, p. 341 (Bg).
- Şahin, Y., Uçar, Y., & Şanlı, A.** (2023). Water-Yield Relationships of Potato in Mediterranean Climatic Conditions. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 11(10), pp. 1986-1993.
- Varlev, Iv.** (1981). Study of the “Water-Yield” relationship and its use in irrigation. *International Journal of Agriculture*, (3), pp. 118-123 (Bg).
- Varlev, I.** (2008). Potential, efficiency and risk in growing maize in Bulgaria. Monograph, Agricultural Academy - Sofia, ed. Pony, p.128 (Bg).
- Varlev, I., Kolev, N., & Kirkova, Y.** (1990). Irrigation Management Under Water Deficiency. Proceedings In: *14th International Congress on Irrigation and Drainage Rio de Janeiro, Brazil, 1(C)*, pp. 269-282.
- Varlev, I., Kolev, N., & Kirkova, Y.** (1994). “Yield-Water” Relationships and Their Changes During Individual Climatic Years. In: *17th European Regional Conference on Irrigation and Drainage ICID–CIID, Varna*, vol.1, 351-360.
- Zhivkov, Zh.** (1995). Cultivation of corn for grain under optimum and shortage of irrigation water. *Plant Sciences*, pp. 9-10 (Bg).

Received: February 05 2024; Approved: April 12 2024; Published: June 2024