



ПАРАМЕТРИ НА ВРЪЗКАТА ДОПЪЛНИТЕЛЕН ДОБИВ–НАПОИТЕЛНА НОРМА ПРИ
СЛЪНЧОГЛЕД ЗА РАЙОНА НА ПЛОВДИВ
PARAMETERS OF THE *ADDITIONAL YIELD – IRRIGATION DEPTH* RELATIONSHIP FOR
SUNFLOWER GROWN IN THE REGION OF PLOVDIV

Александър Матев*, Радост Петрова, Христофор Кирчев
Alexander Matev*, Radost Petrova, Hristofor Kirchev

Аграрен университет – Пловдив
Agricultural University – Plovdiv

*E-mail: sa6_m@abv.bg

Резюме

Целта на разработката е да се установят параметрите на връзката допълнителен добив–напоителна норма при слънчогледа за района на Пловдив. Използвани са данни от полски експеримент, проведен в района на Пловдив върху алувиално-ливадна почва. Вариантите на опита са: 1) без напояване (относителна норма 0,000); 2) напояване с 50% от оптималната поливна норма (m) (относителна норма 0,333); 3) оптимално напояване със 100%m (относителна норма 0,667); и 4) напояване с увеличена норма 150%m (максимална относителна норма 1,000). Резултатите за относителния добив и относителната норма по варианти са обработени по следните формули: (1) $y=ax^2+bx$; (2) $Y=1-(1-x)^n$. Поточни от математическа гледна точка и сравнително добре отговарящи на биологичните особености на културата са параметрите на зависимостта, получени чрез квадратното уравнение (1), което средно за петте години на опита има следния вид: $Y=2,743x-1,745x^2$, при $R^2=1$. Степенната зависимост (2) представя по-коректно зависимостта от биологична гледна точка. Уравнението $Y=1-(1-x)^{3,37}$ представлява осреднените експериментални данни при $R=0,997$. Степенният показател на формулата „n” варира от 2,34 до 4,67 (средно $n=3,37$), а $R=0,997$ (от 0,986 до 1,000).

Abstract

The aim of the present work is to establish the parameters of the relationship *additional yield – irrigation depth* for sunflower grown in the region of Plovdiv, using different equations of the following kind: /1/ $y=ax^2+bx$; /2/ $Y=1-(1-x)^n$. The source data used for the study are from a field experiment, carried out in the region of Plovdiv (Bulgaria) on alluvial-meadow soil, with the sunflower hybrid *PR-64-E-83*. Variants of the field experiment are: 1 – without irrigation; 2, 3 and 4 – with irrigation, applying 50%, 100% and 150% of the irrigation rate, determined by the optimal variant (pre-irrigation soil moisture 75% of FC for the 0 – 80 cm layer). If we accept that the relative irrigation depth is 1.000 in variant 4, then the relative irrigation depth in the other variants is as follows: var.1 – 0.000, var.2 – 0.333 and var.3 – 0.667. The results show that equation /1/ is most suitable from a mathematical point of view. The representative type of equation /1/ is: $Y=2.743x-1.745x^2$ by $R^2=1$. The variations of the calculated yields using this equation to experimental yields are from -10.2 to +6.8% ($R=0.998$). Equation /2/ is also very accurate from a mathematical point of view and at the same time corresponding well with the biology of the crop. The variations of the calculated yields using this equation to experimental yields are from -8.4 to +15.8% ($R=0.993$). The following parameters are established: $n=3.37$ (from 2.34 to 4.67) and $R=0.997$ (from 0.986 to 1.000). All established parameters of the relationship *yield – irrigation depth* in this paper are valid when moistening the 0–100 cm layer and 75% FC pre-irrigation soil moisture is maintained for the soil layer of 0 to 80 cm.

Ключови думи: слънчоглед, поливен режим, воден дефицит, добив, връзка допълнителен добив–напоителна норма, слънчоглед, напояване, поливен режим, воден дефицит, добив.

Key words: sunflower, irrigation regime, water deficit, yield, relationship “*Additional yield-irrigation depth*”.

ВЪВЕДЕНИЕ

Нарастващият недостиг на вода за напояване на земеделските култури е предпоставка за търсенето на стопански изгоден поливен режим, свързан с икономия на поливна вода, която се постига чрез допускане на воден дефицит при минимални загуби на добив. Проучването и установяването на параметрите на зависимостта допълнителен добив–напоителна норма дава възможност за установяване на биологичния ефект от напояването в зависимост от степента на водообезпеченост на растенията.

Във връзка с това Clumpeг и Solomon (1987) провеждат в Калифорнийския университет мащабно проучване на връзката добив–вода, като използват експериментални данни за различни култури, получени в 17 щата, имащи сух, полусух и влажен климат. Авторите са категорични, че параметрите на връзката трябва да се определят конкретно за всеки район и всяка култура. За по-добра представителност на зависимостта Върлев (1981) предлага да се използват относителните стойности на добива и на напоителната норма. Според Давидов (1982) връзката между допълнителния добив и напоителната норма може да се представи още коректно чрез зависимост с променлив степенен показател. С напредването на компютърните технологии през последните години тази връзка може да бъде представена и като резултат от регресионен анализ на подходящи за целта експериментални данни (Kirkova, et al., 2008; Петрова, 2010).

Целта на разработката е да се установят параметрите на връзката допълнителен добив–напоителна норма при слънчогледа посредством съществуващи формули, като въз основа на получените резултати се направи оценка за тяхната точност и приложимост.

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

За установяване на параметрите на зависимостта общ добив–напоителна норма са използвани данни за относителния допълнителен добив и относителната напоителна норма от полски експеримент, свързан с проучване на поливния режим на слънчогледа. Опитът е проведен през периода 2006–2010 г. в експерименталната база на АУ – Пловдив, върху алувиално-ливадна почва. Използван е хибридът PR-64-E-83, отглеждан при междуредово разстояние 0,7 m и гъстота на посева 55000 растения на 1 ha.

Вариантите, касаещи настоящата разработка, са: 1) без напояване; 2) напояване с 50% от поливната норма (m), реализирана при

оптималния вариант; 3) напояване със 100% m; 4) напояване със 150% m. Тъй като за установяването на параметрите на връзката добив–вода максималната относителна напоителна норма (1.000) е тази при вариант 4, при вариант 3 тя става 0,667, при вариант 2 – 0,333, а при ненапоявания вариант 1 тя е 0,000. Времето за напояване е определяно на база данните за наличната почвена влажност в слоя 0–80 cm при вариант 100%m, като при него през целия вегетационен период е поддържана предполивна влажност 75% от ППВ. Поливките при останалите варианти, давани по същото време, са правени чрез съответните корекции на поливните норми. Напояването е извършвано гравитационно, по къси затворени бразди. Опитът е залаган по блоковия метод, в 4 повторения, с големина на опитните парцели 30 m², а на реколтните – 10 m². Резултатите за добивите по варианти и повторения са обработени статистически чрез софтуерния продукт “BIOSTAT” (Пенчев, 1988).

Параметрите на зависимостта допълнителен добив–напоителна норма са установени по следните формули:

1) Уравнение от вида: $Y = ax^2 + bx$, където x е относителната напоителна норма;

2) Степенна формула на Davidov (1982) за връзката допълнителен добив–напоителна норма: $Y = 1 - (1 - x)^n$, където: x е отношението между намалената и максималната напоителна норма (M/M_0); n – степенният показател.

Параметрите на връзката между общия добив и напоителната норма са установени по метода на най-малките квадрати, като при формула 2 е използвана специализирана компютърна програма YIELD (Davidov, 1994), а при уравнение 1 – чрез Microsoft Excel – 2003.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

В метеорологично отношение експерименталните години са доста различни, особено по отношение на количеството и разпределението на вегетационните валежи. От тях зависи в много голяма степен добивът при неполивни условия, както и размерът на допълнителния добив при напояване с различни по размер поливни норми, а това дава пряко отражение върху характера на търсената зависимост. Метеорологичната характеристика на трите опитни години е направена чрез статистически анализ на дългогодишни поредици от данни за сумата на валежите и температурата на въздуха за периода V–IX. Данните са представени в таблица 1.

По отношение на валежите 2006, 2008 и



2010 г. са средни години. Като много влажна се характеризира 2007 г., но в същото време тя е изключително суха през критичните периоди от

вегетацията на слънчогледа. С обезпеченост от 69,4% 2009 г. може да бъде определена като средно суха.

Таблица 1. Обезпеченост на метеорологичните фактори за района на Пловдив (V–IX)
Table 1. Probability of meteorological factors for region of Plovdiv (V–IX)

Фактор Factor		Всички експериментални години (all experimental years)					
		Средно (average)	2006	2007	2008	2009	2010
ΣT°	°C	3181°C (за период от 93 години) (for period of 93 years)	3239	3367	3243	3326	3331
	P %		36.2	9.6	35.1	13.8	12.8
N	mm	241.9 mm (за период от 93 години) (for period of 97 years)	228.0	463.2	231.0	190.2	234.3
	P %		50.0	2.0	45.9	69.4	43.9

ΣT° – Температура на сума (temperature); N – валежи (precipitations); P% – емпирична обезпеченост (empirical probability of meteorological factors)

По отношение на температурната сума 2007, 2009 и 2010 г. са много топли. Много близки в метеорологично отношение са 2006 и 2008 г., като по този показател те се характеризират

като средно топли. При тези условия през експерименталните години са проведени от 2 до 3 поливки, реализирани през периода бутонизация–наливане на семената.

Таблица 2. Изходни данни за установяване на параметрите на връзката допълнителен добив–напоителна норма
Table 2. Source data for calculating of “Additional yield-irrigation depth” relationship

Вариант Variant	Година Year	M (mm)	$\frac{M_i}{M_0}$	Добив Yield (kg.ha ⁻¹)	ΔY (kg.ha ⁻¹)	$\frac{\Delta Y_i}{\Delta Y_0}$	Година Year	M (mm)	$\frac{M_i}{M_0}$	Добив Yield kg.ha ⁻¹	ΔY (kg.ha ⁻¹)	$\frac{\Delta Y_i}{\Delta Y_0}$
1	2	3	4	5		6	2	3	4	5		6
1	2006	0.0	0.000	1576	0	0.000	2007	0.0	0.000	1229	0	0.000
2		120.0	0.333	1985	409	0.622		62.3	0.333	1873	644	0.592
3		240.0	0.667	2303	727	1.105		124.6	0.667	2274	1045	0.961
4		360.0	1.000	2234	658	1.000		186.9	1.000	2316	1087	1.000
1	2008	0.0	0.000	2057	0	0.000	2009	0.0	0.000	1698	0	0.000
2		134.9	0.333	2680	623	0.702		115.7	0.333	2911	1213	0.836
3		268.7	0.667	3019	962	1.085		231.3	0.667	3334	1636	1.127
4		403.6	1.000	2944	887	1.000		347.0	1.000	3149	1451	1.000
1	2010	0.0	0.000	2071	0	0.000	Average	0.0	0.000	1726	0	0.000
2		123.6	0.333	3597	1526	0.763		111.3	0.333	2609	883	0.726
3		246.9	0.667	4074	2003	1.001		222.3	0.667	3001	1275	1.048
4		370.5	1.000	4072	2001	1.000		333.6	1.000	2943	1217	1.000
GD (kg.ha ⁻¹)		2006	P5%=104; P1%=140; P0.1%=186									
		2007	P5%=200; P1%=277; P0.1%=382									
		2008	P5%=246; P1%=333; P0.1%=443									
		2009	P5%=262; P1%=353; P0.1%=471									
		2010	P5%=246; P1%=332; P0.1%=442									

M – напоителна норма (irrigation depth); M_i/M₀ – относителна напоителна норма (relative irrigation depth); ΔY – допълнителен добив (additional yield); ΔY_i/ΔY₀ – относителен допълнителен добив (relative additional yield)

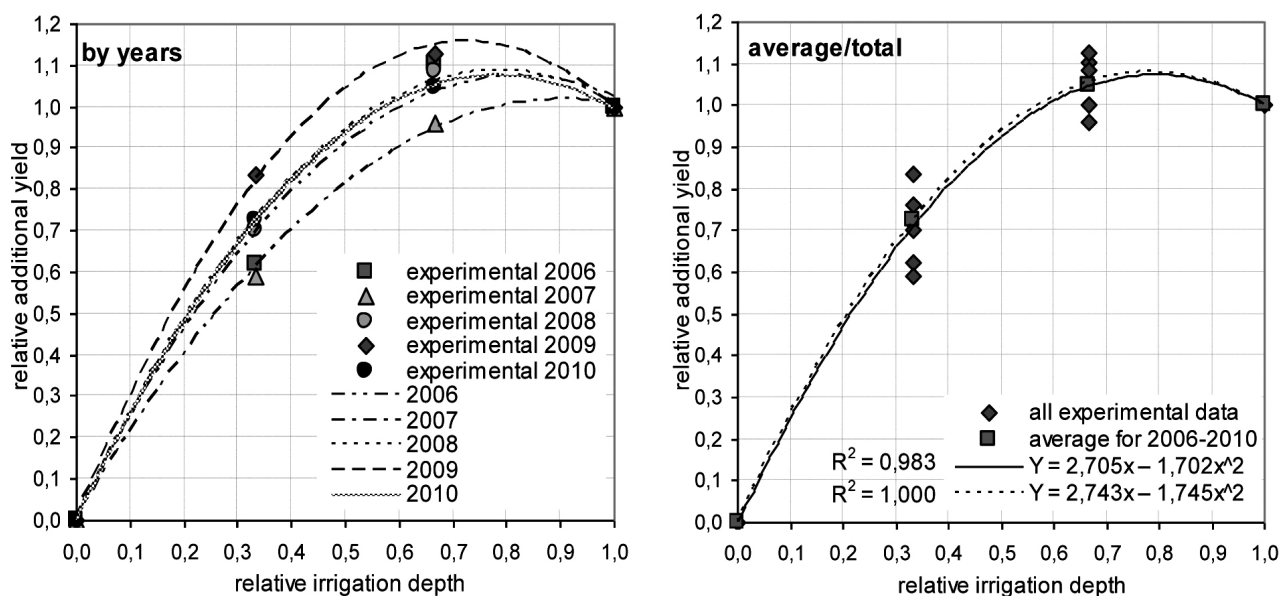
В таблица 2 са представени изходните данни за изчисляване на параметрите на зависимостта допълнителен добив–напоителна норма.

Допълнителен добив–напоителна норма по уравнението $Y=ax^2+bx$

Резултатите от приложенияя регресионен анализ на опитните данни са представени нагледно по години и средно за целия период на експеримента, както и апроксимацията на всички опитни точки, взети заедно. От математическа гледна точка този начин на изразяване на зависимостта почти винаги дава много висока точност, както е и в случая (R^2 варира в границите от 0,986 до 1,000). Невинаги обаче кривите описват достатъчно коректно изменението на общия или на допълнителния добив при нарастване или редуциране на напоителната норма. За условията на настоящия експеримент връзката, установена по това квадратно уравнение, е в общи линии ко-

ректна и от биологична гледна точка, с изключение на интервала от 0,667 до 1,000, т.е. от 100%т до 150%т. Ако се обърне внимание на данните в таблица 1, се вижда, че добивът нараства до норма 100%т или 0,667, след което търпи малки и статистически недоказани промени. Според кривите, описващи връзката по години и средно за периода, допълнителният добив би трябвало да нараства до 70–80% от максималната норма, след което намалява съществено (8-17%) при максималната норма.

Кривите, представляващи едновременно всички опитни данни и осреднените такива, почти съвпадат. Уравнението $Y = 2,743x - 1,745x^2$ апроксимира осреднените за петте години опитни точки при $R^2=1$, като кривата, представляваща изпъкнала парабола, показва, че максимален допълнителен добив се получава при реализиране на 78-79% от максималната норма, след което същият намалява с 8%.



Фиг. 1. Връзка допълнителен добив–напоителна норма по уравнението $Y= ax^2+bx$
Fig. 1. "Additional yield-irrigation depth" relationship using equation $Y= ax^2+bx$

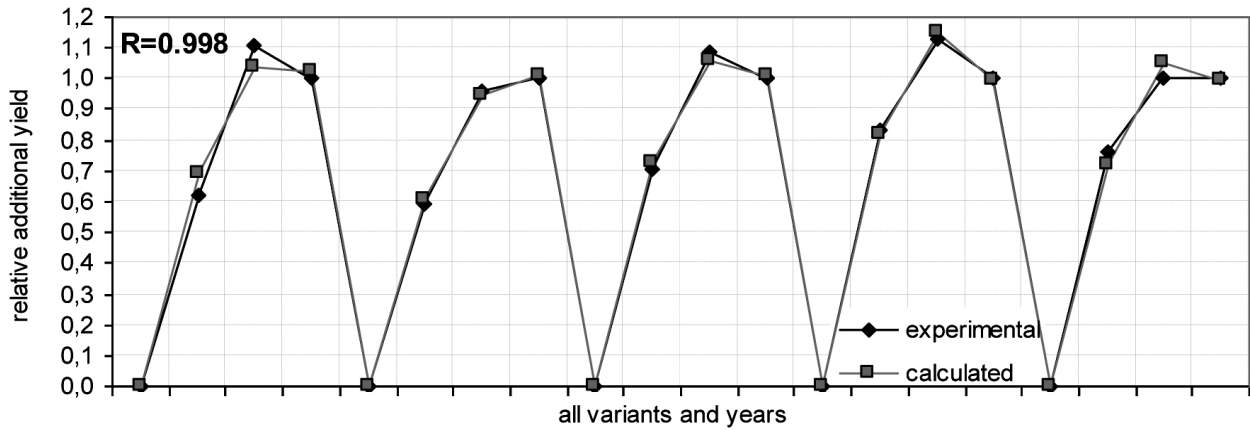
Таблица 3. Параметри на връзката допълнителен добив–напоителна норма по уравнението $Y = ax^2 + bx$
Table 3. Parameters of relationship "Additional yield-irrigation depth" for sunflower by equation $Y = ax^2 + bx$

Година/Year	Уравнение (equation)	R^2	Година/Year	Уравнение (equation)	R^2
2006	$Y = 2.606x - 1.582x^2$	0.986	2009	$Y = 3.177x - 2.184x^2$	0.999
2007	$Y = 2.240x - 2.234x^2$	0.999	2010	$Y = 2.743x - 1.745x^2$	1.000
2008	$Y = 2.762x - 1.754x^2$	0.998	средно/average	$Y = 2.743x - 1.745x^2$	1.000



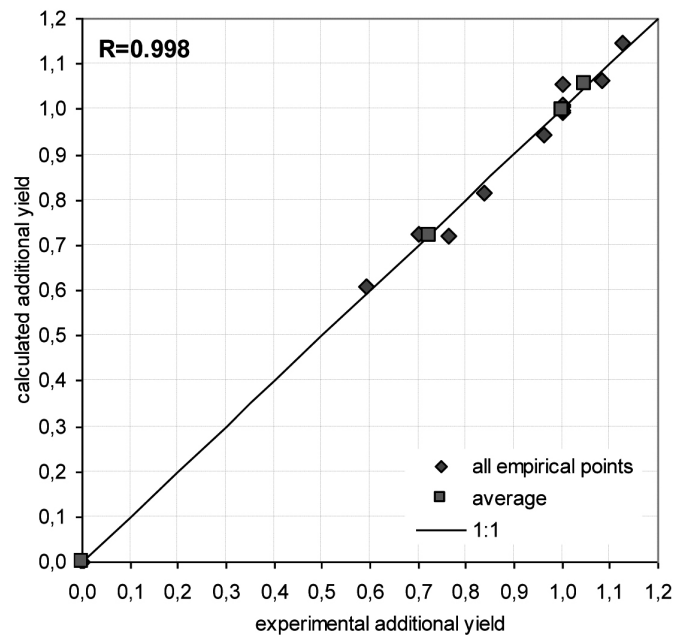
В таблица 3 са представени изведените регресионни уравнения, описващи връзката допълнителен добив–напоителна норма при слънчогледа по години и средно за експеримен-

талния период чрез съответните квадратни уравнения, а на фигурите 2 и 3 е представена връзката между опитните и изчислените допълнителни добиви при $R=0,998$.



Фиг. 2. Опитен и изчислен допълнителен добив за всички варианти и години по уравнението $Y = ax^2 + bx$

Fig. 2. Experimental and calculated additional yield for all variants and years (by equation $Y = ax^2 + bx$)



Фиг. 3. Връзка опитен–изчислен допълнителен добив по уравнението $Y = ax^2 + bx$

Fig. 3. Relationship experimental-calculated additional yield by equation $Y = ax^2 + bx$

Абсолютните и относителните отклонения на опитния спрямо изчисления допълнителен добив са представени в таблица 5.

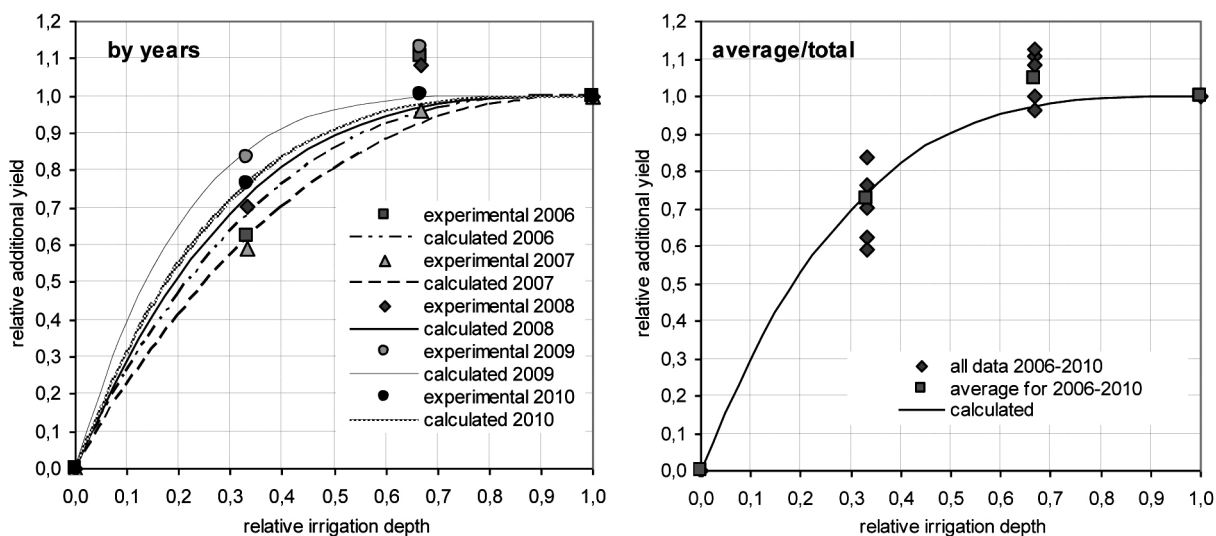
Допълнителен добив–напоителна норма по степенната зависимост: $Y=1-(1-x)^n$

Променливият степенен показател при тази формула дава възможност за съществено увеличаване на точността на апроксимация, като това се доказва и чрез настоящата разработка. На фиг. 4 са представени нагледно резултатите

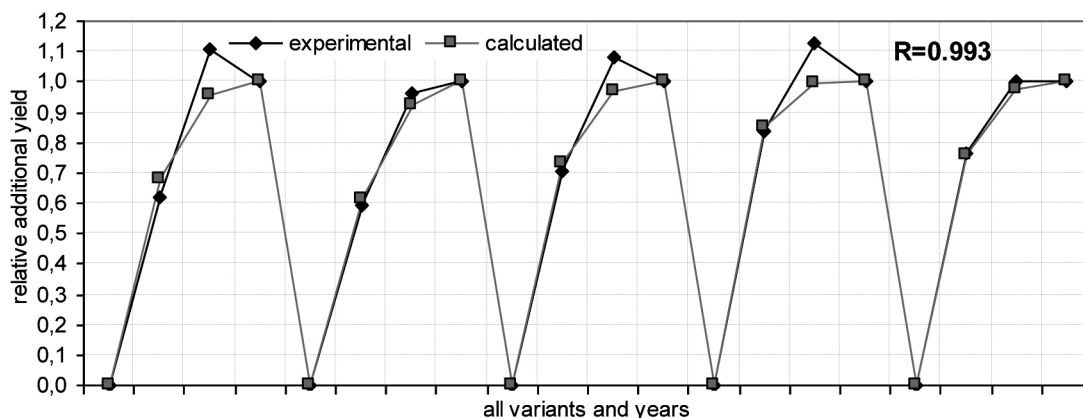
по години, средно и общо за петгодишния период, а в таблица 4 – конкретните параметри на зависимостта.

За условията на експеримента степенният показател на формулата варира от 2,34 до 4,67 (средно 3,37) при много висок коефициент на корелация ($R > 0,98$). Тези стойности на степенните показатели „n“ са в резултат на високия относителен допълнителен добив при междинните варианти (2 и 3). Кривата, апроксимираща осреднените опитни точки, е подчинена на уравнение, имащо степенен показател $n = 3,37$ и коефициент

на корелация $R = 0,997$. Според нея допълнителният добив нараства много бързо до норма 0.333. В диапазона 0,333–0,667 нарастването е умерено, като максимален допълнителен добив се достига при норма 0,7–0,8, след което същият остава относително постоянен. Като се имат предвид и резултатите от дисперсионния анализ (таблица 2), според който разликите между добивите при норма 0,667 и 1,000 не се доказват статистически, то може да се приеме, че кривата е коректна и отразява максимално точно изменението на добива с нарастване на големината на напоителната норма.



Фиг. 4. Връзка допълнителен добив–напоителна норма по уравнението $Y=1-(1-x)^n$
Fig. 4. "Additional yield-irrigation depth" relationship, using equation $Y=1-(1-x)^n$

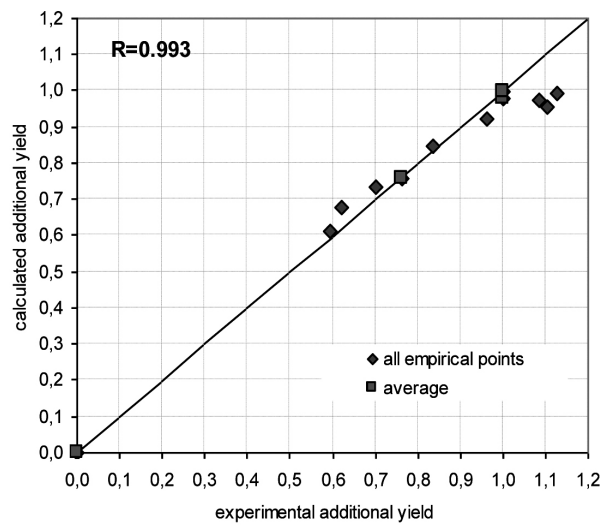


Фиг. 5. Опитен и изчислен допълнителен добив за всички варианти и години по уравнението $Y=1-(1-x)^n$

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

На фиг. 5 са нанесени опитните и изчислените добиви за всички варианти и години, а

на фиг. 6 е представена връзката между тях при $R=0,993$.



Фиг. 6. Връзка опитен–изчислен допълнителен добив по уравнението $Y=1-(1-x)^n$
 Fig. 6. Relationship “experimental-calculated yield” by equation $Y=1-(1-x)^n$

Таблица 4. Параметри на връзката допълнителен добив–напоителна норма по уравнението $Y=1-(1-x)^n$
 Table 4. Parameters of relationship “Additional yield-irrigation depth” for sunflower by equation $Y=1-(1-x)^n$

Година/Year	Уравнение (equation)	R ²	Година/Year	Уравнение (equation)	R ²
2006	$Y = 1 - (1 - x)^{2.80}$	0.986	2009	$Y = 1 - (1 - x)^{4.67}$	0.992
2007	$Y = 1 - (1 - x)^{2.34}$	0.999	2010	$Y = 1 - (1 - x)^{3.60}$	1.000
2008	$Y = 1 - (1 - x)^{3.25}$	0.993	средно/average	$Y = 1 - (1 - x)^{3.37}$	0.997

Таблица 5. Отклонения на опитните от изчислените по формулите добиви
 Table 5. Variation of the experimentally established compared with calculated yield

Вариант Variant	Година Year	Вариране на добивите според уравнението (Yield variation by used equations)								
		Уравнение 1 Equation 1		Уравнение 2 Equation 2		Година Year	Уравнение 1 Equation 1		Уравнение 2 Equation 2	
		$Y = ax^2+bx$		$Y=1-(1-x)^n$			$Y = ax^2+bx$		$Y=1-(1-x)^n$	
		± kg.ha ⁻¹	± %	± kg.ha ⁻¹	± %	± kg.ha ⁻¹	± %	± kg.ha ⁻¹	± %	
1	2006	0	0.0	0	0.0	2009	0	0.0	0	0.0
2		- 47	- 10.2	- 37	- 8.4		+ 29	+ 2.4	- 19	- 1.5
3		+ 46	+ 6.8	+ 99	+ 15.8		- 30	- 1.8	+ 194	+ 13.4
4		- 16	- 2.3	0	0.0		+ 9	+ 0.6	0	0.0
1	2007	0	0.0	0	0.0	2010	0	0.0	0	0.0
2		- 18	- 2.7	- 22	- 3.2		+ 85	+ 5.9	+ 10	+ 0.7
3		+ 18	+ 1.7	+ 41	+ 4.1		- 105	- 5.0	+ 45	+ 2.3
4		- 7	- 0.6	0	0.0		+ 4	+ 0.2	0	0.0
1	2008	0	0.0	0	0.0	Средно average	0	0.0	0	0.0
2		- 20	- 3.2	- 26	- 4.0		+ 7	+ 0.8	- 39	- 4.2
3		+ 20	+ 2.1	+ 100	+ 11.6		- 7	- 0.5	+ 84	+ 7.0
4		- 7	- 0.8	0	0.0		+ 2	+ 0.2	0	0.0
R		0.998		0.993			0.998		0.993	

В таблица 5 са нанесени абсолютните и относителните отклонения на опитните спрямо изчислените допълнителни добиви при всяка една от трите използвани формули. Налице е несъществено предимство на регресионното уравнение както по отношение на R, така и по отношение на размера на получените отклонения. Въпреки това, както бе коментирано по-горе, от биологична гледна точка предимството е на страната на степенната зависимост. За условията на експеримента отклоненията при регресионното уравнение са от -10,2 до +6,8%. При използване на степенната зависимост (2) относителните отклонения на опитните от изчислените допълнителни добиви са в диапазона от -8,4 до +15,8%. И в двата случая тези гранични стойности са отчетени за първата опитна година (2006).

Всички установени параметри на връзката допълнителен добив–напоителна норма в настоящата разработка са валидни за условията, при които е проведен експериментът и вариантите на редуциране на напоителната норма спрямо тази, изчислена за навлажняване на слоя 0–100 см и когато поливките са насрочвани при достигане на фактическа почвена влажност 75% от ППВ в почвения слой от 0 до 80 см.

ИЗВОДИ

1. За условията на експеримента връзката допълнителен добив–напоителна норма успешно и математически точно се изразява чрез уравнението $Y = 2,743x - 1,745x^2$, което осреднява експерименталните точки при $R^2=1$, а отклоненията между опитните и изчислените допълнителни добиви при използването на уравнение от вида $Y=ax^2+bx$ варират в сравнително тесни граници – от -10,2 до +6,8% при $R=0.998$.

2. По-точно от биологична гледна точка се изразява връзката между допълнителния добив и напоителната норма чрез степенна зави-

симост от вида $Y=1-(1-x)^n$, като степенният показател „n” варира от 2,34 до 4,67, а коефициентът на корелация R – от 0,986 до 1,000. Относителните отклонения на опитните спрямо изчислените добиви са в диапазона от -8,4 до +15,8% при $R=0.993$.

LITERATURE

- Vrarlev, I.*, 1981. Izsledvane na zavisimostta "vodadobiv" i izpolzuvaneto y v napoyavaneto. Mezhdunarodno selskostopansko spisanie, 3, 118-123.
- Penchev, E.*, 1988. Otsenka na produktivnostta i pokazatelite na kachestvoto na pshenitsata s matematicheski modeli. Avtoferat.
- Petrova, V.*, 2010. Otsenka na meliorativnite vazdeystvia varhu vodnia i toplinen rezhimi na posevi ot soya i pshenitsa; Disertatsia; Sofia.
- Clumpner, G., K. Solomon.*, 1987. Accuracy and geographic transferability of crop water production functions. Irrigation systems of 21st Century, 285–292.
- Davidov, D.*, 1982. On the "Yield-Water" relationship. Irrigation and Land Reclamation, 7, 18–20 (BG).
- Davidov, D., St. Gajdarova.*, 1994. Computer Programme for Calculating Crop Yields with and without Irrigation for a Series for Past Years. 17th European Regional Conference on Irrigation and Drainage ICID–CIID, Varna, Bulgaria, 1994, Vol.1, 255–260.
- Kirkova, Y. V. Tzenova, G. Stoimenov.*, 2008. Influence of the irrigation regime on the soybean productivity. http://www.balwois.com/balwois/administration/full_paper/ffp-1066.pdf BALWOIS 2008, Ohrid, Republic of Macedonia.

Статията е приета на 15.05.2013 г.
Рецензент - доц. д-р Антония Овчарова
E-mail: anovch@abv.bg